

Tarkan YENİYAYLA

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2014

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Malzeme Atama Yöntemleri ve Çoklu Depoya Sınıflandırılmış Aile  
Grubu Malzeme Atama Modeli

Tarkan YENİYAYLA

ARALIK 2014

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Malzeme Atama Yöntemleri ve Çoklu Depoya Sınıflandırılmış Aile Grubu Malzeme  
Atama Modeli

Tarkan YENİYAYLA

ARALIK 2014

## ONAY

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında** Tarkan YENİYAYLA tarafından hazırlanan **MALZEME ATAMA YÖNTEMLERİ VE ÇOKLU DEPOYA SINIFLANDIRILMIŞ AİLE GRUBU MALZEME ATAMA MODELİ** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Burak BİRGÖREN  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç.Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI  
Danışman

### Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Burak BİRGÖREN (İMZALIDIR)  
Üye : Doç.Dr.Süleyman ERSÖZ (İMZALIDIR)  
Üye (Danışman) : Doç.Dr.Mustafa YÜZÜKIRMIZI (İMZALIDIR)  
Üye : Dr.Ercan DEĞİRMENCİ (İMZALIDIR)

..../..../2014

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç.Dr.Erdem Kamil YILDIRIM  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## İTHAF SAYFASI

Sevgili Anne ve babama,  
Yetişmemde gerektiğinde kendi ihtiyaçlarından  
vazgeçen anne ve babamı saygı, hürmet ve  
rahmetle anıyorum.

Sevgili Eşime,  
Bu eğitim sürecinde iş, ev ve çocuklarımız  
Melih, Azra ve Mehtap'ın çoğu sorumluluğunu  
üstlenen fedakâr eşime sevgilerimi ve  
şükranlarımı sunarım.

## ÖZET

MALZEME ATAMA YÖNTEMLERİ VE ÇOKLU DEPOYA  
SINIFLANDIRILMIŞ AİLE GRUBU MALZEME ATAMA MODELİ

YENİYAYLA, Tarkan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI

Aralık 2014, 95 sayfa

Bu çalışmanın amacı, belirli kısıtlara göre ürünlerin hangi depoya atanacağıının tespit edilmesi maksadıyla matematiksel bir model geliştirmektir. Bu modelde problem, tamsayıli matematiksel bir problem olarak ele alınmıştır. Aile grubu malzemeleri çoklu depoya atama problemi, lojistikte en dikkat çekici konulardan biridir. Hedef, mümkün olduğu kadar depolama zamanı, maliyeti, işgücü ve envanter işlemlerini azaltmaktır. Çalışmada 89 çeşit malzemenin 10 aile grubuna ayrılarak hacim, alan, ağırlık, birlikte depolanabilme ve ihtiyaç miktarları kısıtları dâhilinde 20 depoya atanması problemi üzerinde çalışılmıştır. Aynı zamanda kısıtlarda yapılan gerçekleşmesi muhtemel çeşitli değişikliklerle test edilerek duyarlılık analizi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** aile grup ataması, belirli kısıtlar, tamsayıli matematik modeli, çoklu-depo, depolama zamanı, depolama maliyetleri, depolama işgücü, envanter, duyarlılık analizi.

## ABSTRACT

### MATERIAL ALLOCATION METHODS AND AN ALLOCATION MODEL FOR CLASSIFIED FAMILY GROUP MATERIAL INTO MULTI-WAREHOUSES

YENİYAYLA, Tarkan  
Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Industrial Engineering, Master Thesis  
Supervisor: Assoc.Prof. Mustafa YÜZÜKIRMIZI

December 2014, 95 pages

The aim of this work, is to develop a mathematical model to determine to which warehouse family group materials should be allocated within specific constraints. In this model, problem is handled as an Integer Mathematical Model. The family group materials allocation into multi-warehouses problem under study is one of the most interesting topic in Logistics. The goal is to diminish, the allocation problem of 89 materials divided into 10 family groups into 20 warehouses was studied within volume, space, weight, and requirement quantity constraints. Beside this, sensitivity analysis is also carried out by a sort of executable and most relevant changes which were made on the constraints of the model.

**Key Words:** family group materials, specific criteria, Integer Mathematical Model, multi-warehouses, warehousing time, warehousing costs, warehousing labor, inventories, sensitivity analysis.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımını esirgemeyen ve büyük destek olan, bilimsel tecrübelerini sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI'ya, Yüksek Lisans eğitimim esnasında bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Doç. Dr.Süleyman ERSÖZ'e ve Doç. Dr.A.Kürşat TÜRKER'e, desteklerinden dolayı hocam Sayın Prof. Dr. Burak BİRGÖREN'e, büyük fedakarlıklarla bana destek olan arkadaşım Dr.Ercan DEĞİRMENCİ'ye ve son olarak tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm Tefvik ALTINSOY'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Lojistiğin Tanımı .....	1
1.2. Depolamanın Tanımı.....	2
1.3. Depolamanın Tarihi Gelişimi.....	3
1.4. Lojistikte Sistemin Bir Unsuru Olarak Depolama.....	5
1.4.1. Depolamanın Yeri ve Önemi.....	5
1.4.2. Neden Depolamaya İhtiyaç Var?.....	7
1.4.3. Depolamanın Amacı.....	9
1.4.4. Depolanan Elamanların Sınıflandırılması.....	12
1.4.5. Depolama Maliyetle.....	12
1.4.6. Depolama Miktarını Etkileyen Etmenler.....	13
<b>2. DEPOLAMA SİSTEMLERİ</b> .....	18
2.1. Tanım.....	18
2.2. Depo İş Akışı.....	18
2.3. Depo Düzen Tasarımı.....	19
2.4. Depo İçi Malzeme Ataması (Yerleşimi).....	22
2.4.1. Rast Gele Depo Ataması .....	24
2.4.2. En Yakın Müsait Depo Ataması .....	24
2.4.3. Hassas Depo Ataması.....	24
2.4.4. Tam Devir(Ciro) Esasına Göre Depo Ataması.....	26
2.4.5. Sınıf Temelli Depo Ataması .....	27
2.4.6. Aile Grubu Depo Ataması.....	30
2.5. İlgili Çalışmalar.....	31



2.6. Savunma Sektöründe Depolama.....	34
2.6.1. Depolama Esasları .....	34
2.6.2. Birlikte Depolanma Kriterleri.....	34
2.6.3. Depo İçi Yerleşim Esasları.....	35
2.6.4. Emniyet Tedbirleri.....	35
2.7. Çözüm Yöntemleri ve Tam Sayılı Programlama.....	36
<b>3. MEVCUT DEPOLAMA SİSTEMLERİ .....</b>	<b>37</b>
3.1. Mevcut Depolama Düzenleri. ....	37
3.2. Uygun Olmayan Depolama Sonuçları.....	38
3.3. Uygun Depolama Şartlarının Oluşturulması.....	38
3.3.1. Yığını Oluşturan Malzeme Miktarı ve Yığın Boyutlarının Belirlenmesi.....	41
3.3.2. Giriş ve Ara Koridorlar İçin Uygun Mesafelerin Hesaplanması.....	44
3.3.3. Birim Alanına Yerleştirilecek Malzeme Miktarının Tespiti .....	45
3.3.4. Yığınların Tavana Olan Mesafesi.....	45
3.3.5. Malzemelerin Devir Saisına Göre Analiz Edilmesi ve Malzemelerin Uygun Depoya Atanması.....	46
3.3.6. Bazı Aile Malzeme Gruplarının Aynı Depo İçersinde Birlikte Depolanamaması veya Yalnız Depolanması.....	47
3.3.7. Minimum İhtiyaç Miktarı.....	47
3.3.8. Maksimum İhtiyaç Miktarı.....	48
3.3.9. Depoların Hacim Kısıdı.....	48
3.3.10. Depoların Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık Kısıdı .....	48
3.3.11. Depo Yerleşim Kısıdı-2 (Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Kısıdı).....	49
3.3.12. Depo Yerleşim Kısıdı-2 (Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Aile Malzeme Grubunun Atanması Kısıdı).....	49
<b>4. UYGUN MODELİN TASARIMI.....</b>	<b>50</b>
4.1. Birinci Aşama:Depolanacak Malzemelerin Özelliklerinin Tespiti.....	50
4.2. İkinci Aşama:Depo İçinde Uygun Aralık ve Mesafelerin Tespit Edilmesi...	51
4.3. Üçüncü Aşama: Modelin Matematiksel Olarak Formüle Edilmesi.....	51
4.3.1. Karar Değişkenleri.....	65

4.3.2. Parametreler.....	66
4.3.3. Amaç Fonksiyonu.....	66
4.3.4. Kısıtlar.....	67
4.3.5. Modelin Çözümü .....	68
4.4. Duyarlılık Analizi.....	71
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLEN ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>76</b>
5.1. Sonuç.....	76
5.2. Önerilen Çalışmalar.....	79
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>81</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>85</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
2.1. Depolama Sistemlerinin Karmaşıklığı.....	20
2.2. Depo İş Akış Şeması ve Tipik Depo Faaliyetleri.....	21
2.3. Depo Düzen Tasarımı ile ilgili Tipik Düzen Kararları .....	25
2.4. Paralel Koridor Depolaması .....	29
2.5. Karşılıklı Koridor Depolaması.....	29
2.6. Örnek Bir Depo Düzeni ( F. Guerriero ve ar. / Uygulamalı Matematik Modellemesi - Applied Mathematical Modelling, 2013).....	32
3.1. Büyük Hacimli(640m <sup>3</sup> ) Depo Düzeni.....	41
3.2. Orta Hacimli(560 m <sup>3</sup> ) Tip Depo Düzeni.....	42
3.3. Küçük Hacimli(400m <sup>3</sup> ) Depo Düzeni.....	42
4.1. Sonuçlara Ait Ekran Çıktısı.....	69

## ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	Sayfa
3.1. Birlikte Depolanabilen Aile Malzeme Grupları.....	48
4.1. Depolara Atanan Aile Malzeme Grup Miktarları.....	70
4.2. 1'inci Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.....	71
4.3. 2'inci Analiz: Depo Sayısının 19'e İndirilmesi.....	72
4.4. 3'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.....	72
4.5. 4'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.....	73

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Lojistiğin Tanımı

Günümüzde lojistik faaliyetler, tedarik zincirinin bir parçası olarak kabul edilmekte ve ilk madde ve malzeme, yarı mamul, mamul ve ilgili bilgilerin üretim noktasının başından tüketim noktasına kadar veya tüketim noktasından üretim noktasına kadar, müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, etkin ve düşük maliyetli bir şekilde akış ve depolanması süreçlerinin planlanması, uygulama ve kontrol edilmesi olarak tanımlanmaktadır[1].

Başlangıçta ulaşım ve depolama ile sınırlı olan lojistik, küreselleşme ve teknolojik ilerlemeler sonucunda talep tahmini, stok yönetimi, ulaştırma, malzeme taşıma, ambalajlama, yer seçimi ve sipariş alma faaliyetlerini de içerir duruma gelmiştir. Bu faaliyetlere, yedek parça ve servis desteği, iade mal işlemleri, hurda ve atık malların elden çıkarılması, teslim alma, etiketleme, üretim çizelgeleme ve müşteri hizmetleri de dâhil edilmektedir[2].

Lojistiğin temel unsurları şunlardır: ikmal, bakım, tedarik, üretim, satış, dağıtım, depolama. Hammadde, yarı mamul, nihai ürünü ise lojistiğin elemanları olarak kabul edebiliriz. Bu elamanların bütünü, lojistiğin bir temel bir unsuru olan depolama faaliyetine, işlemine tabi tutulmaktadırlar[2].

Lojistik faaliyetler, geriye dönük lojistik faaliyetler ve ileriye dönük lojistik faaliyetler olarak iki yönlüdür. Geriye dönük lojistik faaliyetler, tedarikçilerle işletme arasındaki satın alma faaliyetini oluşturmaktadır ve çok sayıdaki değişik tedarikçilerden satın alma, sadece tek bir tedarikçiden satın alma, karma satın alma ile sanal ve ağ yapısındaki tedarikçilerden satın alma stratejileri bulunmaktadır. İleriye dönük lojistik faaliyetler ise, işletme ile dağıtım kanalları ve tüketiciler arasındaki satış faaliyetlerini kapsamaktadır. Siparişlerin alınması, faturalama ve irsaliye hizmetleri, fiziki ulaştırma (nakliye) stratejileri, dağıtım kanalındaki araçların seçimi ve yönetimi, kredi işlemleri gibi faaliyetlerle ilgili stratejileri bulunmaktadır[3].

Şirketler, giderlerini daha çok azaltmayı, depo ve dağıtım merkezlerinin etkinliği arttırmayı amaçladıkça, depolama da daha çok ilgi çekmekte ve inceleme konusu olmaktadır. Bütün üretim, ticaret, sanayi ve yatırım faaliyet ve girişiminde bulunanların; avantaj/dezavantaj, maliyet/etkinlik açısından istenen amaçlara ulaşılması ve ulaşılan başarı seviyesinin devamlılığını sağlamak için izleyecekleri lojistik strateji ve taktiklerini devamlı olarak izlemeleri zorunlu bulunmaktadır.

## 1.2. Depolamanın Tanımı

Günlük yiyecek ihtiyacımızı bile günlük, haftalık, aylık veya mevsimsel olarak elimizin altında tutup, biriktirip saklıyoruz böylece basit bir depolama işlemi gerçekleştiriyoruz. Örneğin buzluklarımız, kilerlerimiz bunun için vardır. Bu açıdan deponun, depolamanın en basit tarifini şu şekilde yapabiliriz : “Arz ile talep arasındaki zamansal dalgalanmayı karşılamak” [4].

**Depolamayı teknik olarak** ise; belirli nokta/noktalardan gelen ürünlerin/yüklerin teslim alınıp, belirli bir süre korunup, belirli nokta/noktalara gönderilmek üzere hazırlanması olarak tanımlayabiliriz.

Depolama süresinin uzunluğu depoları farklılaştırır. Depolama süresinin uzun olduğu yerlere depo denirken, süre kısaldıkça bu yerlere dağıtım merkezi, süre daha da kısaldıkça aktarma merkezi denir. Depolama esas olarak kontrol, teslim alma, yerleştirme, sayım, toplama, kontrol ve gönderme faaliyetlerini kapsar.

Depolama stratejisinde üreticiler ürettikleri ürünleri müşterilere dağıtmadan önce onları merkezi bir depoda bekletir. Malzemelerin depoda bekleme süreleri 24 saatten fazladır. Malzemeler burada kontrol, paketleme, sipariş işleme, ambalaj gibi diğer lojistik işlemlerden geçtikten sonra, uygun atamalar vasıtasıyla talepte bulunan müşterilere dağıtılır. Yani malzemeler depolarda tutulur ve buradan müşterilere dağıtım yapılır.

Endüstri kişi başına üretkenliği saatte 1000 parça üretim imkânı sağlayarak yeni çözüm sağlayan buluşlarla ortaya çıkmaya devam etmektedir. Bilim de hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu gelişmelerin sonucunda son yıllarda depolama faaliyeti ve

işlemi ile ilgili birçok yazı ortaya çıkmış bulunmakta, yeni problemler üzerinde çalışılmakta ve yeni yöntemler geliştirilmektedir.

Depolamayı gerçekleştiren şirketler, büyük miktarda ürünü elde bulundurmamayı ve dağıtmayı yüksek bir hizmet kalitesinde, en az kayıt ve kontrolü kullanarak ve en kısa sürede teslim etmeyi amaçlarlar. Bu hedef istikametinde iki önemli husus dikkat çekmektedir: envanter yönetimi ve en uygun ürün ataması. Daha anlaşılır olması bakımından, envanter kontrolünü, hizmette müşteri memnuniyetini sağlarken depolama maliyetini azaltma; en uygun ürün atamasını ise ürünlerin elden geçirilmesi, yer değiştirmesi için ihtiyaç duyulan sürenin azaltılması mekanizması olarak tarif edebiliriz[5].

Tez dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde lojistik sistem içerisinde depolamanın yeri ve önemi üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde farklı depo ataması ve farklı depo yerleşim yöntemleri ile ilgili bilgi sunulmuştur. Üçüncü bölümde mevcut depolama sistemi incelenmiştir. Dördüncü bölümde bilgi setini geliştirmeyi ve uygun depolama tasarımı ve çoklu sınıflara ayrılmış ürünlerin atamasını modelleyen matematik bir çözüm oluşturulmaya çalışılmıştır. Beşinci bölümde ise modelin çalıştırılması sonucu ortaya çıkan çözümler irdelenmiş, kısıtlar üzerinde gerçeğe yakın değişiklikler yapılarak sonuçlar arasında analiz yapılmış ve başka bir çalışmaya temel teşkil edebilecek önerilerde bulunulmuştur.

### **1.3. Depolamanın Tarihi Gelişimi**

Depolamanın gelişimi ve geçirdiği evreleri beş döneme ayırabiliriz. Depo ve depolamanın geçmişi insanoğlu ile başlamaktadır. İlk olarak ele geçirdiği hayvanları beslemeye yani saklamaya başlamıştır. “Live Stock” yani “canlı stok” olarak kullanılan terim halen kullanılmaktadır. İlk dönem depolama yeryüzündeki ilk insanların bireysel olarak hayvan veya ilk tarım gıdalarını biriktirip saklamasıdır.

Sonraki dönemde tekerleğin, yazının, paranın keşfi ile ticaret yaygınlaşmıştır. Gelişen kıtalar arası ticaretin sonucunda Depo Tarihi açısından ikinci kilometre taşı olacak “İlk Ticari Depo” Venedik Loncası (tüccar/esnaf birliği) tarafından

Venedik limanında kurulmuştur. Bu depo, ücret karşılığı alım/satım arasındaki dönemde tacirlere depolama hizmeti sunmaya başlar.

Kıtalararası ticaretin gelişmesinin ardından liman şehirlerinde peş peşe birçok depo açılır. Açılan bu depolara malların transferi demiryolları ile yapılmaktadır. Limandan malların varacağı istasyonlara ulaşımı gerçekleştiren vagonlar geldikleri istasyonlarda alıcıların gelip almasını beklemektedirler. Çok ihtiyaç duyulan vagonlar dolu olarak bekletilmektedirler ve dolayısı ile tekrar sefere dönememektedirler. Vagonlar depolama/bekletme amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Bu problemi ortadan kaldırmak için istasyonlarda istasyon depoları oluşturulmaya başlanmıştır.

1900lü yıllarda başlayan sanayi devrimi, seri üretim, atölyelerin yerini fabrikaların alması ile ticarete yeni bir dönem başlar. Fabrikalar da satış yaptıkları bölgelerde daha küçük ölçekli depolar inşa etmeye başlar. Bu depoların inşası da depolamanın gelişimi açısından üçüncüsünü teşkil etmektedir. Diğer değişle Sanayi Devriminin sonucu fabrika depoları ve dağıtım depoları ortaya çıkmaya başlamıştır.

Karayolu taşımacılığında tam kapasite kullanımı sağlamak ve indirme bindirme faaliyetinde etkinliği arttırmak için elle işleyen forklift ve palet kullanılmaya başlanır. Bu gelişme sayesinde 1931 yılında 13.000 koli konserve yüklü bir kamyon 3 günde boşaltılırken; bu ürünler paletli olarak üretilip taşındığında boşaltma süresi 4 saate kadar düşürülmüştür.

İkinci Dünya Savaşı başladığında palet kullanımı ihtiyacı ciddi bir şekilde artar ve tüm dünyada kullanılmaya başlanır. Palet kullanımı yayıldıkça ve paletli ürün kullanımına uygun makineler, forkliftler geliştirildikçe depolamada artık yükseklik kavramı devreye girer. Dördünce dönemin başlangıcını ise işte bu Palet ve forklift kullanımı ile depolamaya yükseklik kavramının girmesi oluşturmaktadır.

Bazı uzmanlar otomatik depolarda otomatik depolama ve geri alma sistemlerinin (AS/RS :Automated Storage & Retrieval Systems) kullanılmasını depolama tarihinde beşinci dönemin kilometre taşı olduğunu iddia etmektedirler.

20. yüzyılın ortalarından itibaren endüstriyel ülkeler arasında yapılan sanayi ve teknolojik ürünlerin miktarında ciddi bir artış oluşmuştur. Yüksek maliyetle üretilen



sanayi ve teknolojik ürünlerin tedarik ihtiyacı ve miktarı arttıkça satışa sunulacak ürünlerin dağıtımın ve depolanmasının daha verimli ve etkin bir şekilde yapılmaya başlanmasıyla ikmal sürecindeki belirsizlik azalmaya başladı. Bu nedenle tedarikçiler, ikmal edecekleri ürünlerin istenilen yer ve zamanda müşteriye sunulmasını istemeye başlamışlardır. Müşteri taleplerini karşılamak maksadıyla gerçekleştirilen depolamanın zaman ve miktar olarak sınırlarının belirlenememesi sonucunda aşırı depolama durumları ortaya çıkmıştır.

Whitin (1957) bu konuda şöyle demektedir: “ Aşırı depolama, depolama birçok ticari başarısızlığa neden olduğu için Amerikan iş yaşantısının mezarlığı olarak görülmektedir. Depolamaların iş akışlarını da engellediği düşünülmektedir ve işadamlarında neredeyse çılgınlık seviyesinde aşırı depolamadan kaçınma eğilimi baş göstermiştir.” Bu kaygı neticesinde bazı firmalar, sifıra yakın depolama bulundurma, hiç depo kullanmama tercihini kullanmışlardır. Ancak bu yaklaşım çoğu zaman felaketle sonuçlanmıştır[6] .

Teknolojinin bu kadar hızlı ilerlediğini; bilgisayarlarımızın, cep telefonlarımızın bir iki yıl içinde demode hale geldiğini düşünürsek birçok sektör için bu endişenin çok haklı olduğunu görürüz. Ancak yeteri kadar ürünü depolamamak, iş akışımızı aksatabileceği, talebe cevap veremememize neden olacağı, hatta belki de müşteri gözünde itibarımızı zedeleyeceği için elde edebileceğimiz kârdan mahrum kalmamıza neden olacaktır.

Depolama maliyeti yüksek, dikkatli bir şekilde planlanma ihtiyacı olan ve bilimsel bir çalışma gerektiren işlem olduğunun anlaşılmasıyla bu planlamayı yapabilmek için birçok teknik geliştirilmiştir. Bu tekniklerin de çoğunun amacı maliyeti minimum yapacak olan depo yerleşiminin tespit edilmedir.

## **1.4. Lojistik Sistemin Bir Unsuru Olarak Depolama**

### **1.4.1. Depolamanın Yeri ve Önemi**

Depolama faaliyeti, lojistik sistemde maliyet ve zaman açısından önemli bir yere sahiptir. Depolama, ilk bakışta yalnızca üretici ve toptancı organizasyonları için

önemli görünse de üreticiden tüketiciye kadar tüm sistemi ilgilendiren bir problem durumundadır. Fabrikalar, okullar, hastaneler, ordular hatta aileler gibi.

Araştırmaya tabi tutulan firmaların lojistik giderlerinin yüzde 20'sini depolama oluşturmaktadır (Yönetim Bilimleri Dergisi, (5:2), 2007, Journal of Administrative Sciences). Bu araştırma depolamanın, lojistik sistemin önemli bir parçasını oluşturduğunu göstermektedir. Depolar, genelde imalat yeri ile tüketici arasındaki tedarik zincirini oluşturan birimlerde ürünleri saklamak veya aracılık sağlamak maksadıyla kullanılırlar. Depo terimi, genelde amaç saklamak veya aracılık söz konusu olduğunda kullanılır. Eğer saklamanın yanı sıra dağıtım da söz konusu olursa "dağıtım noktası" terimi tercih edilir. Fakat bu arada, saklama işlemi, depolama faaliyetinin büyük bir kısmını oluşturmuyorsa trans-yükleme, direk yükleme (cross-dock), platform terimleri tercih edilir. Sanatsal, profesyonel, şirket ve kişisel çeşitlerden oluşan dünyada yaklaşık 750.000 den fazla depo tesisi bulunduğu ifade edilmektedir (Lambert ve ar., 1988).

Az sayıda fakat daha büyük depolar, ekonomik amaçları gerçekleştirmek için birçok ufak deponun yerini almaktadır. Bu büyük depolarda, günlük malzeme devri büyüktür ancak kullanılabilen zaman dardır. Şirketler, müşterilerin isteklerini daha iyi bir şekilde karşılamak için çeşitli katma değer sağlayan, dağıtım merkezlerinde ve depolarda meydana gelen yerleşim sürecine göre programlanmış ve entegre aktiviteleri (kitting, etiketleme, ürün veya sipariş toplama, özel paketleme veya paletleme) kapsayan erteleme stratejisini uygulamaya başlamışlardır. Depolarda aynı zamanda diğer müşterilerden, toptancılar ve imalatçılardan aldıkları ürünleri, malzemeleri ve taşıyıcıları iyileştirme faaliyetinde bulunmaktadır. Depo içi malzeme ve ürün ataması ile ürünlerin müşteriye sevk edilmesi faaliyeti, dağıtım merkezinin ve tedarik zincirinin performansını etkiler. Siparişin depoya geldiği an ile müşteriye ulaştığı zaman arasında hem doğruluk hem de tamamiyet bakımından, zaman kaybını dikkate almadan, uygun olmayan depolama sisteminden kaynaklanan birçok hatanın oluşma ihtimali bulunmaktadır.

Depolama yöntemleri organizasyonun yapısına göre farklılık göstermesine rağmen tercih edilen tüm yöntemlerin hepsinin hedefi benzerdir. Uygun depolama yönteminin tespit edilmesinde hedef ise arzu edilen hizmet seviyesini sağlarken

organizasyonun maliyetlerini en aza indirecek yöntemi tespit etmektir. Bir organizasyon için uygun olmayan depo yer seçimi ve yerleşimi, mevcut kaynakların israf edilmesi anlamına gelmektedir. Tüm organizasyon için bu tercih edilmeyen bir durumdur.

Savunma sanayi açısından depolama stratejik öneme sahiptir. Verimlilik, etkinlik ve maliyet gibi faktörler savunma sektöründeki depolama açısından ikinci önceliğe sahiptir. Birinci öncelik ise her zaman istenen zamanda, istenen yerde ihtiyaç duyulan malzemenin ihtiyaç sahibine ivedilikle ulaştırılacak şekilde hazır bulundurulmasıdır.

#### **1.4.2. Neden Depolamaya İhtiyaç Var?**

Organizasyonun devamlı depolama ihtiyacı olur çünkü hiçbir zaman taleple mevcut kaynak eşit değildir. Hangi ürünün ne zaman ve hangi miktarda müşteriler tarafından isteneceğinin tahmini kolay değildir. Bu nedenle firma, tahmin edilemeyen müşteri taleplerini karşılamak için elinde malzeme/ürün bulundurmalıdır. Her ne kadar tam zamanlı (Just in Time) diye adlandırılan ve çok az miktarlarda depolama bulundurmaya öngören sistemler bulunsa da bu sistemlerin müşteri kaybetmeyi göze alamayan firmalar için kullanılmayacağı düşünülmektedir. Çünkü bu sistemin temeli çok yüksek koordinasyona dayanmaktadır ve sistemin herhangi bir noktasında yaşanacak olan müşteri kaybının bedeli ağır olabilir.

Uygun depolama yönteminin seçimi, genelde şu faydaları sağlayabilir[7]:

- Saklama, koruma imkânı sağlar ve depolama finansman sorunu sağlıklı bir yapıya kavuşmuş olur.
- Alım satım masrafları azalır.
- Dolayısıyla organizasyonun giderleri kontrol altında tutularak eksiklerin telafi edilme yoluna gidilebilir.
- Mal kaybı azalır. Çünkü nerede ne kadar malzeme bulunacağı önceden hesaplanmıştır ve çalınma, kaybolma durumlarında eksilen malzemeyi farketme şansı daha yüksek olacaktır.

Depolar, genelde büyük yatırım ve sermaye gerektirmektedir. O halde niçin depolar vardır? Lambert ve arkadaşlarına (1988)'e göre ise depoların **birçok görevi vardır ve bunlar aşağıda sıralanmıştır:**

- Ulaşım ekonomisini gerçekleştirmek,
- Üretim ekonomisini gerçekleştirmek,
- Kaliteli ürünlerdeki indirimleri ve gelecek alımların avantajından faydalanmak,
- Şirketin müşteri politikasını desteklemek,
- Değişen piyasa şartlarını ve piyasa belirsizliklerini karşılayabilmek,
- Üretici ve tüketici arasında oluşan zaman ve yerden kaynaklanan problemleri çözmek,
- İstenen belli seviyedeki müşteri hizmetini en az lojistik maliyetle gerçekleştirmek,
- Tedarikçi ile müşteri arasındaki tam zamanlı programları desteklemek,
- Müşteriye her siparişinde tek ürün yerine birçok ürün seçeneği sunmak,
- Elden çıkarılacak veya geri dönüşüme tabi tutulacak ürünleri geçici olarak depolamak,
- Trans-yükleme için geçici depolama bölgesi oluşturmak.
- Bazı özel durumlarda, tedarik zincirindeki bazı depolama işlevleri azaltılabilir. Fakat hemen hemen tüm tedarik zincirlerinde, her zaman ihtiyaç duyulan ve bu sebeple depolanması, transferi gereken hammaddelere, parçalara ve ürünlere gerek vardır; yani depolama şirketlerin lojistik başarılarında önemli bir işleve sahiptir.
- Savunma sektöründe depolamaya aşağıdaki nedenlerden dolayı ihtiyaç bulunmaktadır:
- Belirli noktalara önceden depolama yaparak hızlı ulaşım ve transfer imkanından faydalanmak,
- Üretim için zaman kaybedilmek istenmemesi,
- Büyük miktarda alımlar sayesinde kaliteli ürünlerin ucuza satın alınması,
- Hızlı bir ikmal sayesinde ihtiyaç sahiplerininin motivasyonun arttırmak,
- Kriz veya seferberlik durumunda ortaya çıkabilecek olumsuz şartlara karşı ön almak,

- Ülke sathında uzak mesafelere trans-yükleme için geçici depolama bölgesi oluşturmak.

### 1.4.3. Depolamanın Amacı

Organizasyonlar ellerinde her zaman müşteri taleplerini karşılayabilmek için mal bulundururlar. Dolayısıyla depolamaya ihtiyaç duyarlar çünkü mevcut ürünlerle bu ürünlere olacak talebi bire bir örtüşürmek mümkün değildir. Birçok sebepten dolayı elimizdeki kaynak miktarı ve bu kaynağa olacak olan talep sık sık değişmektedir ve bu değişkenlik elde bulundurma yani depolama ihtiyacını doğurmaktadır. Depolamaya olan ihtiyacı stokun dört faktörüyle açıklayabiliriz: zaman, süreksizlik, belirsizlik ve ekonomidir[5].

**Zaman faktörü**, üretim ve malzemenin son kullanıcıya ulaşmaya kadar geçecek olan dağıtım süresini kapsamaktadır. Üretimin planlanmasından başlamak üzere, hammaddenin çıkarılması, kullanılabilir hale gelecek şekilde işlenmesi, üretiminin yapılacağı fabrikaya getirilmesi, üretilmesi, ara depolardan geçmesi ve son olarak sarf edileceği kullanıcıya teslim edilmesi gerekmektedir. Müşterinin bu süreci beklemelerini düşünmek ya da sarfın ne olacağını tam olarak tahmin ederek üretim ve ulaşım zamanını sarfa göre ayarlamaya çalışmak imkânsızdır. Bu yüzden depolama zaruri görünmektedir.

**Süreksizlik faktörü**; üretim, dağıtım, depolama, tüketim gibi farklı işlerin birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmesini öngörmektedir. Böylece üretimi gerçekleştirecek olan birimden başlayarak tüketiciye kadar aradaki birimlerin çok fazla koordinasyona ihtiyacı olmayacaktır. Yani üretimi yapacak olan kuruluş tüketicinin ne zaman ne kadar malzeme isteyeceğini tam olarak bilmek zorunda kalmayacak veya tüketici istediği malzemeyi alabilmek için üretimin yapılmasını, malzemenin taşınmasını vs. beklemek zorunda kalmayacaktır.

**Belirsizlik faktörü**, organizasyonun planlarının dışında oluşabilecek önceden kesin olarak bilinmeyen olayların meydana gelebilmesidir. Bunların içinde en başta talebin tahmin edilenden farklı oluşması, üretimde arızadan meydana gelebilecek aksamalar, ulaşımın herhangi bir sebepten ötürü gecikmesi veya kaza gibi bir

durumdan dolayı planlanan malzemenin ulaştırılmaması akla gelmektedir. Bu gibi durumlarda elimizde stok bulunduruyor yani söz konusu malı depoluyorsak belli oranda koruma sağlamış oluruz.

**Ekonomi faktörü;** sayesinde organizasyonlar fiyat indirimlerinden faydalanabilmektedir. şu bilinen bir gerçektir ki belli bir maldan çok miktarda satın alıyorsanız büyük indirimler yapılabilirsiniz. Aynı şekilde üretim yapan kuruluşlar için de çok sayıda malzeme üretmek maliyeti düşürebilmektedir. Bu malzemelerin taşınması söz konusu olduğunda yine düşük miktarlarda malzeme taşımak pek kârlı görünmemektedir. Bu durumların hepsinin bir araya geldiğini düşünürsek organizasyonun depolama faaliyetinde bulunmak suretiyle maliyeti oldukça düşürebileceğini söyleyebiliriz.

Savunma sektöründeki depolamayı, stokun dört faktörüyle şu şekilde açıklayabiliriz:  
Zaman: Savunmada zaman en önemli faktördür. Kriz zamanını önceden tahmin etmek nerdeyse imkânsızdır. Kriz zamanını tahmin ihtimali yüksek dahi olsa kriz döneminden muharebe dönemine geçiş sürecini tahmin etmek ve bu süreçte ihtiyaç duyulan malzemeleri tedarik etmek çok zordur. Dolayısıyla askeri depolama açısından zaman faktörü muharebede olduğu gibi en önemli faktördür.

**Süreksizlik faktörü:** Malzemeye kullanıcının ne zaman ne kadar ihtiyaç duyacağını tam olarak bilmek çok zordur. Depolama sayesinde kullanıcı, istediği malzemeyi alabilmek için üretimin yapılmasını, malzemenin taşınmasını vs. beklemek zorunda kalmayacaktır.

**Belirsizlik faktörü,** organizasyonun planlarının dışında oluşabilecek önceden kesin olarak bilinemeyen olayların meydana gelebilmesidir. Kriz ve seferberliğin tahmin edilenden zamandan farklı oluşması, kriz anında kısa sürede üretimde meydana gelebilecek problemler, ulaşımın herhangi bir sebepten ötürü gecikmesi veya kaza vs. gibi bir durumdan dolayı planlanan malzemenin ulaştırılmaması akla gelmektedir. Bu kriz ve seferberlik durumlarında elimizde stok bulunduruyor yani söz konusu malzemeyi depoluyorsak belli oranda koruma sağlamış oluruz.

**Ekonomi faktörü** sayesinde, belli bir maldan çok miktarda satın alarak büyük indirimler sağlamaktadırlar. Aynı şekilde üretim yapan kuruluşlar için de çok sayıda

malzeme üretmek maliyeti düşürebilmektedir. Bu malzemelerin taşınması söz konusu olduğunda yine düşük miktarlarda malzeme taşımak pek karlı görünmemektedir. Bu durumların hepsinin bir araya geldiğini düşünürsek diğer organizasyonlar gibi savunma sektörü için de depolama faaliyetinde bulunmak suretiyle maliyeti oldukça düşürebileceğini söyleyebiliriz.

**Depolamanın amaçlarını** açıklamanın bir başka yolu da stoklama için belirlenmiş olan amaçlarla paralellik kurmak olabilir. Bu bakımdan depolama amaçlarına göre dörde ayrılabilir[5]:

- Çalışan (working) Depolama
- Emniyet (safety) depolaması
- Tahmini (anticipation) Depolama
- Decoupling depolama

**Çalışan (working) Depolama:** Sipariş etme, elde bulundurma gibi maliyetleri minimize etmek için elde bulundurulması öngörülmüş olan malzemeyi ihtiyaç duyduğumuzda almak yerine önceden ihtiyaç duyabileceğimizi düşündüğümüz kadarını aldığımız ve ortalama olarak elde bulundurduğumuz miktarın depolanmasıdır.

**Emniyet (safety) Depolaması:** Talepte ve talebi karşılamakla mükellef birimlerde ortaya çıkabilecek olan belirsizliklere karşı alınmış olan bir tedbirdir. Talebin beklenenin üzerinde oluşması veya üretim ya da dağıtım birimlerinde meydana gelebilecek talebi karşılayamama durumlarında bu depolama devreye girecektir.

**Tahmini (anticipation) Depolama:** Belirli sezonlarda oluşan aşırı talepleri, tatiller vs. gibi üretim yapılamayan ya da yapılsa bile işçi ücretleri artacağı için maliyeti artıracak zamanlarda kullanılmak üzere elde bulundurulan malların depolanmasıdır.

**Decoupling Depolama:** Organizasyondaki birimlerin birbirine bağımlılığını engellemek için kullanılan malların depolanmasıdır. Bu depolama sayesinde bir birimde gecikme olduğu zaman, girdi olarak diğer birimin çıktısını kullanan birim beklemek zorunda kalmayacak, kendi deposundaki malı kullanacaktır.

Sonuç olarak; depolamanın temel maksadı uygun miktarda hammadde, yarı mamul ve mamulü doğru yerde, doğru zamanda ve en düşük maliyetle elde bulundurmaktır.

#### **1.4.4. Depolanan Elemanların Sınıflandırılması**

Depolarda stoklanan elemanlar şunlardır[8]:

**Hammaddeler:** O ana kadar henüz işlenmemiş, kullanılabilir durumda bulunmayan maddelerdir.

**Yarı mamuller:** Malzeme işlenmeye başlanmıştır ancak bu faaliyet tamamlanmamıştır. Malzeme kullanılabilir duruma gelmemiştir. Sadece işleme esnasındaki bir sonraki aşamaya hazırlanmış durumdadır.

**Mamuller:** Malzeme üzerindeki işleme faaliyeti tamamlanmıştır. Malzeme talep olduğu takdirde tüketiciye teslim edilebilecek durumdadır.

**Hazır parçalar:** Hazır parça, üretilmesi planlanan mamulün belli bir kısmını oluşturmaktadır ve genellikle organizasyon dışından temin edilmektedir. Günümüzde hiçbir organizasyon üretimini yaptıkları mamulün tamamını kendi bünyesinde üretmemektedir. Belli parçaların yapımında bazı firmalar uzmanlaşmış olduğundan bu parçalar o firmalardan almak suretiyle daha kaliteli malın daha ucuza alınması söz konusu olabilmektedir. İşte bu şekilde dışarıdan alınan malzemeler hazır parçalar olarak adlandırılmaktadır.

**Yardımcı malzemeler:** Bu maddeler doğrudan mamul içerisinde yer almazlar ancak mamulün üretilmesi için gerekli olan malzemelerdir.

Savunma sektöründe genellikle yukarıda belirtilen elemanlardan kullanıma hazır halde bulunan mamul malzemeler depolanmaktadır.

#### **1.4.5. Depolama Maliyetleri**

Depolama maliyetleri depolama sisteminin işleyişi ile ilişkilidir ve yönetimin depolama sistemini kurarken yaptıkları veya yapmadıkları işlerden



kaynaklanmaktadır. Depolama maliyetini elde bulundurma maliyeti olarak da tanımlayabiliriz [9].

- **Depolamama Maliyeti:** Tüketici ihtiyacının karşılanamaması, ticari kuruluşlarda satış yapılamaması ve müşterinin güven kaybı nedeniyle gelecekte yapılabilecek olan satışların azalması neticesinde kâr kaybıyla sonuçlanır. Böyle bir maliyetin hiç de küçük olmadığı açıktır. Şayet bu durum sistem dahilinde oluşuyorsa (üretim, dağıtım vs. gibi kademelerde) maliyetin kapsamı biraz daha farklı olacaktır. Sistem dahilinde çalışan personel ve makineler atıl duruma gelecektir. Dolayısıyla herhangi bir iş üretmeyen personel ve makinelere o süre zarfında boşuna para ödenecektir. Ayrıca şayet ürettiğimiz malzemeleri dışarıdan bir firmaya satıyorsak ve yapmış olduğumuz anlaşma gereği belli bir teslimat tarihi belirlenmişse bu tarihte teslimat yapılamadığından belli bir cezai müeyyideyle de karşılaşabiliriz. Bu müeyyideler genellikle firmalara parasal yaptırımlar şeklinde olmaktadır.

- **Gözden geçirme maliyeti:** Yukarıda saydığımız depolama maliyetleri genel bir depolama problemiyle ilgili maliyetleri kapsamaktadır. Ancak bizim tezimizde periyodik gözden geçirme modeli temel alındığından gözden geçirme maliyeti ile ilgili bir açıklama yapmamızın uygun olacağı değerlendirilmiştir. Gözden geçirme işlemi diğer modellerin tersine sürekli yapılmayıp organizasyonun belirlemiş olduğu zaman dilimlerinde yapılmaktadır; depoda bulunan malzemenin miktarını belirlemek için insangücüne ihtiyaç duyulacaktır.

#### **1.4.6. Depolama Miktarını Etkileyen Etmenler**

Firmalarda depolanan ürünler; hammadde, yarı mamul ve mamul ürün olarak üç büyük gruba ayrıldığından, her depolama grubunun tutarını etkileyen başlıca faktörlerin ayrı ayrı belirtilmesi, depolamalara yapılacak yatırımın planlanması açısından yararlı olabilir[10].

##### **Hammadde ürünlerin depolanmasını etkileyen faktörler:**

- Gelecek dönemde üretimi planlanan mamul miktarı,

- Üretimin mevsimlik oluşu: Bazı sektörler için hammadde sadece belli mevsimlerde bulunabilmektedir. Örneğin belli tarım ürünlerini hammadde olarak kullanan firmalar bu ürünlerin yetiştiği mevsimde bütün ihtiyaçlarını temin etmek durumundadırlar.
- Üretimin kesintiye uğramaması maksadıyla depolanacak emniyet depo miktarı,
- Hammaddenin ihtiyaç duyulduğu anda makul bir fiyatla tedarik olanağı: Şayet firma ihtiyaç duyduğu zaman hammaddeyi makul fiyatlarla temin edebiliyorsa büyük miktarlarda depolama bulundurmasına gerek kalmayacaktır,
- Satıcı firmanın gösterdiği titizlik: Şayet satıcı firma malzeme teslimini zamanında ve sözleşme şartlarına uygun yapıyorsa gelen malzemenin niteliklerinin uygun olmamasından dolayı değiştirilmek zorunda kalmıyorsa emniyet depolama miktarı daha düşük seviyelerde tutulabilir.
- Hammaddenin sağlandığı kaynak sayısı: Şayet hammaddeyi sağlayan kaynak sayısı fazla ise firmalar daha az emniyet depolama eğilimine girmektedirler.
- Firmalarda dikey bütünleşmenin derecesi: Firmanın dikey bütünleşme derecesi arttıkça hammadde kaynakları üzerindeki kontrol olanakları artacağından bulunduracakları emniyet depolama miktarı da azalacaktır.
- Sipariş tutarındaki dalgalanmalar: Firmanın aldığı siparişler büyük dalgalanmalar gösteriyorsa siparişleri karşılayamama gibi bir durumla karşılaşmamak için büyük miktarda ürünü emniyet maksadıyla depolamayı tercih edebilirler.
- Üretimin kesintiye uğraması durumunda uğranılacak zararın tutarı: Firma ham madde eksikliği nedeniyle uğrayacağı üretim kesintisi durumunda mı yoksa emniyet depolaması fazla bulundurduğu durumda mı daha fazla zarar edeceğini kıyaslamalıdır.
- Hammadde fiyatlarında beklenen artışlar: Şayet hammadde fiyatlarında artış bekleniyorsa fazla miktarda alım yapılarak büyük tasarruf sağlanabilir.
- Tedarik ve depolama kontrolünde etkinlik: Depolama kayıtlarını düzgün tutan geleceğe ait ihtiyaçlarını sağlıklı tahmin eden, tedarik süresi kısa olan firmalar daha düşük depolama seviyeleriyle faaliyetlerini yürütebilirler.

- Hammaddenin dayanma süresi.
- Depoda tutma maliyeti
- Finansman olanaklarının genişliği ve maliyeti: Firmalar her zaman istedikleri kadar ürünü elde buldurmaya, depolamaya yetecek yükseklikte mali olanaklara sahip olmayabilirler. Ayrıca elde buldurmak, depolamak için harcayacakları para ile farklı bir yatırım yaparak daha büyük fayda sağlayabilirler.
- Firmanın depolama kapasitesi.

#### **Yarı mamul ürün depolamasını belirleyen etmenler:**

- İmalat sürecinin teknik niteliği ve uzunluğu: Üretim süreci uzun olan organizasyonlarda daha büyük miktarda yarı mamul ürün buldurma eğilimi vardır. Aynı zamanda imalat sürecinin niteliği de yarı mamul depolama miktarını etkilemektedir. İmalat birimleri arasında yeterli senkronizasyon yoksa yarı mamuller belli noktalarda birikecek ve atıl durumda bekleyecektir. Bu durum da firmalar açısından istenen bir durum değildir.
- İmalat safhasında yaratılan katma değer: Yaratılan katma değer arttıkça, işletmenin yarı mamul depolaması da artacaktır.
- Üretilen malın birim maliyeti: Ürettikleri malların birim maliyetleri yüksek olan firmalar diğerlerine göre daha büyük miktarda yarı mamul ürün depolamaktadır.
- Üretim faaliyetinin sürekliliği: üretim faaliyeti çeşitli nedenlerle kesintiye uğrayan firmalar daha yüksek miktarda yarı mamul ürün buldurma durumundadır.
- Üretim miktarı: Üretim miktarı arttıkça yarı mamul depolaması da artmaktadır.
- Yarı mamul girdilerin bazılarının diğer firmalardan satın alınması: Firmalar yarı işlenmiş girdilerinin bir bölümünü dışarıdan satın almak suretiyle yarı mamul ürün depolaması faaliyetini azaltabilirler.

#### **İşlenmiş (mamul) depolamasını etkileyen etmenler:**

- Satış hacmi: Satış hacmi ile mamul depolaması arasında aynı yönlü bir ilişki bulunmaktadır.

- Talebin mevsimlik oluşu: Bu tip bir durumla karşı karşıya olan firma talebin düşük olduğu dönemlerde ilerleyen aylarda talebin artacağı düşüncesiyle üretime devam edecektir. Dolayısıyla talebin az olduğu dönemde depolama miktarında artış görülecek arttığı dönemde ise depolama miktarı azalacaktır.
- Hammadde alımının mevsimlik oluşu: Bazı firmaların kullandıkları hammaddeler sadece belli mevsimlerde bulunuyor olabilir. Söz konusu maddeler özelliklerini kısa sürede yitiriyorlarsa (çoğunlukla tarım ürünleri ) satın alındıktan kısa süre sonra işlenmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla firma zorunlu olarak yüksek miktarda mamul ürün elde bulundurmaya, depolamaya tercih edebilirler.
- Piyasadaki rekabet koşulları, arz-talep dengesi: Şayet piyasa çok fazla rekabet eden firmanın bulunmadığı bir piyasa ise firmalar yüksek miktarda mamul ürün depolamaya, elde bulundurmaya tercih etmemektedirler. Ancak rekabet yüksekse yüksek talep olduğu durumlarda talebi karşılayamama gibi bir durumla karşılaşmamak için daha büyük depolama bulundurmaya tercih etmektedirler.
- Satış bölgelerinin çeşitliliği: Satış bölgeleri daha dağınık olan firmalar daha fazla mamul ürün depolama, elde bulundurma ihtiyacı hissedeceklerdir.
- Dağıtım kanallarının işleyişi: Bir firmanın dağıtım kanalları ne kadar iyi işliyorsa firmanın bulunduracağı mamul ürün depolama miktarı o kadar az olacaktır.
- Üretimin sipariş üzerine veya piyasa için yapılması: Sadece sipariş üzerine üretim yapan firmalar mamul ürün depolama, elde bulundurma ihtiyacı hissetmeyebilirler.
- Konsinyasyon suretiyle satış yapılması: Konsinyasyon olarak gönderilen mallar, satış yapıncaya kadar gönderen firmanın depolarında bulunduğundan, bu tip satış yapan firmaların mamul ürün depolama seviyeleri daha yüksektir.
- Mamulün fiziki özellikleri: Şayet mamul kısa sürede bozulmuyorsa veya tüketici tercihleri hızlı değişmiyorsa, yüksek miktarda mamul ürün depolamanın sakıncası olmayabilir.

- Üretimin çeşitliliği: Birden fazla çeşitte mamul ürün üreten bir firmanın mamul ürün depolama seviyesi, tek tip üretim yapmakta olan bir firmaya göre daha büyük olacaktır.
- Mamulün ürünün dayanma süresi.
- İşgücü yetersizliğine veya grev olasılığına karşı korunma ihtiyacı.
- Depoda tutmanın maliyeti ve firmanın finansman olanakları.
- Firmanın depolama olanakları.
- İşlenmiş mamul ürün depolamanın taşıdığı risk: Bir firma işlenmiş mamul ürün elde bulunduruyorsa doğal afetler, hırsızlık vs. gibi nedenlerle uğrayabileceği kaybı göz önünde bulundurmak durumundadır. Ayrıca tüketici tercihlerinin değişmesi ya da son kullanma tarihli mamullerin bozulması neticesinde bu depolamasının bir bölümü firmanın elinde kalabilir. Firma mamul depolama miktarını belirlerken bu duruma da dikkat etmelidir.

## 2. DEPOLAMA SİSTEMLERİ

### 2.1. Tanım

Depolama sistemini lojistik sistem içerisinde önemli faaliyet alanı ve işleve sahip; malzemenin teslim alınması, kayıt edilmesi, yerleştirilmesi, yerinde bakım, transfer, yükleme gibi alt sistemlerden oluşan bir sistem olarak tanımlayabiliriz.

Depolama sistemleri karmaşıktır ve çeşitli alt sistemlerden, faktörlerden oluşmaktadırlar. Şekil 2.1’de depolama sistemlerini oluşturan faktörler görülmektedir.

### 2.2. Depo İş Akışı

Esas depolama faaliyetleri şunlardır: teslim alma, tasnif, yığın haline getirme, transfer ve saklama, sipariş toplama/seçme, sipariş biriktirme, yükleme, gönderme, direk transfer[11].

**Teslim alma**, ürünlerin taşıyıcılardan alınmasını, kalite ve sayı bakımından herhangi bir tutarsızlık olup olmadığını ortaya çıkarmak için envanter bilgilerini güncellemeyi içerir.

**Transfer ve saklama**, gelen ürünlerin depolama alanlarına transferini, yeniden paketlemeyi ve fiziksel yer değiştirmeyi kapsamaktadır.

**Sipariş toplama/seçme**, depolama faaliyetinde en önemli işlemdir. Doğru miktarda, doğru ürünün bir grup müşteri için hazır edilmesi/ele geçirilmesi sürecini içerir. Müşteri isteklerine göre toplanan ürünlerin biriktirilmesi ve çeşitlerine ayrılması eğer siparişler gruplara göre toplanmışsa gerekli bir işlemdir. Böyle bir durumda, toplama sürecinden sonra toplanan birimlerin müşteri siparişlerine göre gruplandırılması zorundadır. Toplamadan sonra, siparişler paketlenmek ve doğru taşıyıcıya yüklenmek zorundadır.

**Direk transfer**, teslim alınan ürünler direkt olarak yükleme birimlerine veya müşteriye transfer edildiğinde söz konusudur.

Şekil 2.2’de depo içindeki iş akışı ve benzer depo faaliyetlerini gösterilmektedir.

### 2.3. Depo Düzen Tasarımı

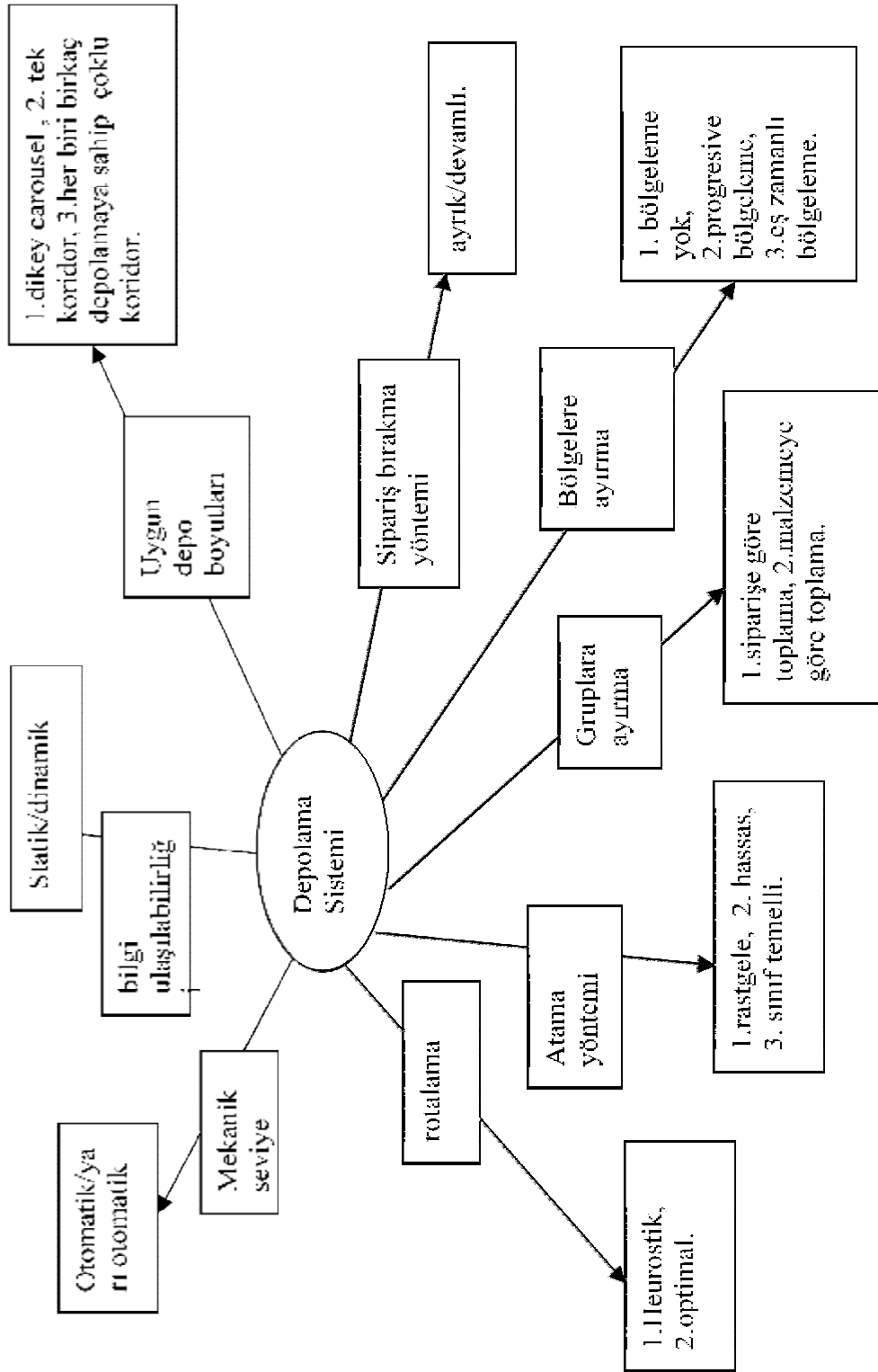
Depo düzen tasarımı **iki alt unsuru** kapsamaktadır: depo dahil depolamayla ilgili tesis ve binaların düzen tasarımı ve depo içi malzeme toplama sisteminin tasarımı.

İlk unsur genelde **tesis düzeni tasarım problemi** olarak adlandırılır ve farklı departmanların yerleşim yerleri kararı ile ilgilidir (teslim alma, toplama, depolama çeşitlerine ayırma ve yükleme). Genelde departmanların arasındaki ilişkiler göz önüne alınarak yerleşim yerleri ile ilgili karar alınır.

Ortak amaç, birçok durumda yol mesafesinin lineer bir fonksiyonu olarak tanımlanan elden geçirme maliyetini azaltmaktır (Saygılı,1991). Tompkins ve ar.(2003), etkin düzen tasarımı ile ilgili birkaç tane yayın yapmıştır. Bu hususta genel bir inceleme için ise Meller ve Gau (1996)’a başvurulabilir. Bunun yanı sıra, Hegau ve ar. (2003), bu hususta alanları ölçmek ve ürünlerin bölgelere atanması için bir model ve buluşsal bir yaklaşım oluşturmuşlardır.

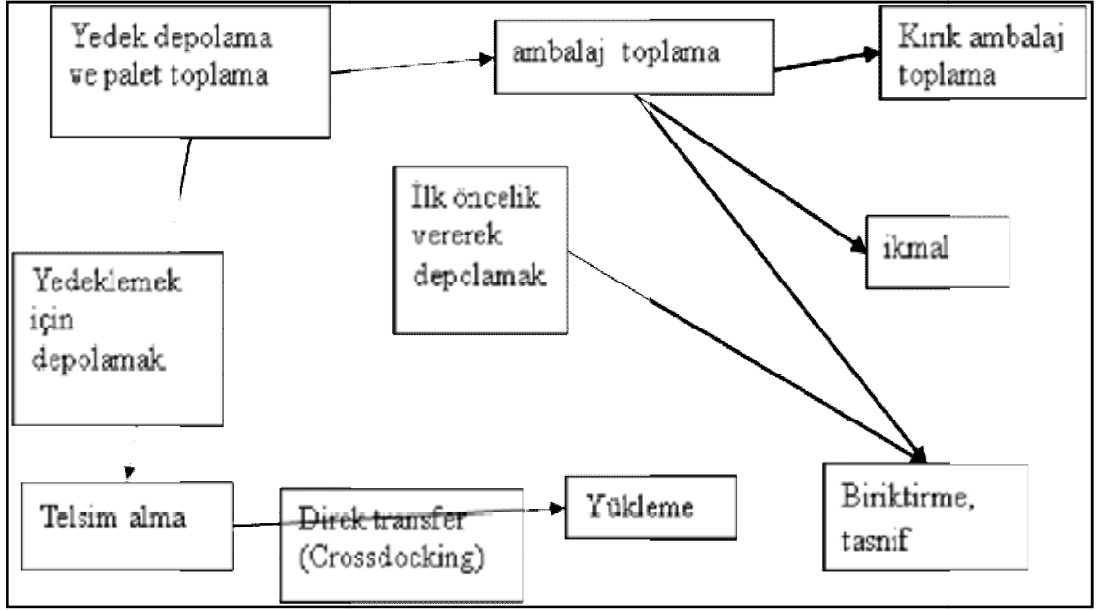
İkinci unsur ise **depo içi malzeme toplama veya koridor tasarım problemidir**. Bu problem blokların sayısının belirlenmesi ile toplama alanlarında bulunan her bir bloğun numarası, genişliği ve uzunluğu ile ilgilidir. Ortak amaç, kısıtları ve ihtiyaçları karşılayan diğer depo düzenleri içinde en iyi depo düzen tasarımını bulmaktır. Tekrar etmek gerekir ki, depo düzen tasarımında en çok bilinen ortak amaç yine yol mesafesini azaltmaktır.

Düşük miktardaki manüel depo içi malzeme toplama düzen tasarımı literatürü sınırsız değildir. Erken bir yayın olarak Bassen ve ar. (1980) birim yük hususunda bir yayın yapmışlardır. Onlar iki paralel koridor düzenini manüel taşıma ve tasarım maliyeti bakımından kıyaslamışlardır.



Şekil 2.1. Depolama Sistemlerinin Karmaşıklığı.





**Şekil 2.2.** Depo İş Akış Şeması ve Tipik Depo Faaliyetleri

Rosenbalt ve Roll (1984), benzetim ve analitik metotları kullanarak iç depo düzeni depolama stratejisinin etkileri üzerine çalışmışlardır. Rosenbalt ve Roll (1988), stokastik taleplerin etkileri ile farklı hizmet seviyelerinin depo düzeni ve depolama kapasitesi üzerine etkisini çalışmışlardır.

Rosenberg, koridor konfigürasyonunu belirlemek için nonlinear bir amaç fonksiyonu önermiştir. Ortalama yol mesafesini en aza indirmeye birinci amaç olarak kabul eden Coren ve ar., çift blok depoları dikkate alarak küp başına sipariş endeksini kullanarak COI temelli depo atamalarını, De Koster ve Le Duc (2005) sınıf-temelli depo atamalarını dikkate almışlardır.

Peterson (2002), benzetimle toplam yol süresinde/mesafesinde bulunan koridor uzunluğu ile sayısının etkisini rastgele ve hacim temelli depo atamaları üzerinde göstermiştir. Manüel sipariş toplama sistemleri ile kıyaslandığında, birim yük sistemi için düzen tasarımı problemi daha fazla dikkat çekmiştir. Otomatik depolama ve geri alma sistemi (OD/GA) ile ilgili zaman çıktı modelleri üzerine literatür incelemesi için Sarker ve Babu(1999), Johnson ve Brandeau(1996), Van der Berg (1999) ve Le Duc(2005)'a başvurulabilir.

Rastgele depo atamaları için Bozer ve White (2006) tek komutalı ve çift komutalı devirlerin en iyi olduğunu göstermişlerdir. Larson ve ar.(2007), depo alanının

kullanımını arttırmak ve hareket mesafesini azaltmak için tek tip yük depoların düzenlenmesinde ve ürünlerin bölgelere atanmasında buluşsal, bir yaklaşım kullanmışlardır. Eldemir ve ar., depolama ihtiyaçları ile ilgili tahminler yapmışlardır. Parker ve Webster (1998), bu hususta birer istisnadırlar. Onlar, hareket zamanını azaltmak maksadıyla ürün değişimi sınıfları için raf yerlerinin belirlenmesi ile ilgilenmişlerdir.

De Koster ve White (1998), geri alma zamanını azaltmayı amaçlayan belirli bir kapasiteye sahip üç boyutlu rafın boyutlarını belirlemek maksadıyla Bozer ve White'ın metodunu geliştirmişlerdir.

Depo Düzen Tasarımı ile ilgili Tipik Düzen Kararları Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

#### **2.4. Depo İçi Malzeme Ataması (Yerleşimi)**

Ürünlerin, müşterilerin isteklerini karşılamak maksadıyla siparişler alınmadan önce depolama yerlerine konmaları gerekmektedir. Depo ataması, ürünleri depolama yerlerine atmak için kullanılan bir kısım kurallar kümesinden oluşmaktadır. Böyle bir atama yapılmadan önce hangi toplama işleminin hangi depolama sistemiyle yapılacağı ile ilgili bir karar verilmelidir.

Ürünlerin depo ataması stratejisi, hemen hemen bütün depolama işlevlerini, performansını etkiler [5]. Bu yüzden, uygulamada karşılaştığımız birçok kısıt dikkate alınmıştır. Örneğin, birlikte bulunması gereken ürünler ile en fazla ihtiyaç duyulan ürünlerin ulaşılabilirliğini zaman ve mesafe yönünden azaltmak için yakın depoya atanması. Uygulamada, bir depoya atanacak ürün sayısını azaltmak için planlayıcı personel ürünleri gruplara ayırmaktadır. Ancak ürünleri gruplara ayırmak için ürünlerin ortak bazı özelliklere sahip olmasıdır. Örneğin, yağ grubu hem mısır hem de ay çiçeği yağını içermelidir. Aralarında benzerlik bulunan gruplar birbirileriyle kıyaslanabilir. Yiyecek grubu; temizlik ve kimyasal grup ile kıyaslanmaz ve birlikte depolanamaz. Büyük depolarda, bu gruplara daha fazla önem gösterilmelidir.

F. Guerriero ve ar.,2012 yılında yaptıkları bir çalışmada ürün atama problemi için matematik bir model oluşturmuşlardır. Modelde, yükseklik, genişlik ve boy ile ürün sınıfları dikkate alınarak bir çözüm geliştirilmiştir [12].

Toplama sürecini hızlandırmak için, büyük miktardaki stokları (yedek bölge), devamlı ihtiyaç duyulan/anlık stoklarından (ileri bölge) ayırmak birçok durumda etkilidir. İleri bölgenin büyüklüğü sınırlıdır. Alan ne kadar küçülürse, sipariş toplayıcının ortalama yol zamanı o kadar azalır. Her bir stok tutma biriminin ne kadarının ileri bölgede tutulacağını ve hangi bölgeye yerleştirileceğinin kararı önemlidir.

Stok tutma birim envanterini birçok bölge üzerinden bölmek, düzenli iç ikmal yedek bölgeden ileri bölgeye taşımak anlamına gelmektedir. Yapılacak seçeneklerden biri de fazladan ikmal çabalarını ekstra toplama çabaları ile dengelemektir. Stok tutma biriminin bir kısmını yedek bölgede tutmak avantajlı olabilir, örneğin talep miktarının yüksek ancak talep sıklığının az olduğu durumlarda.

Çünkü ikmal başka kısıtlar oluşturan sipariş toplamanın olmadığı zamanlar ile sınırlıdır. Bu problem ile ilgili kararlar, genellikle ileri yedek depolama problemi kararları olarak tanımlanmaktadır. Literatürde bu hususla ilgili Frazelle ve ar.(1994), Hackman ve Platzman (1990) ile Van den Berg ve ar. (1998) çeşitli çalışmaları bulunmaktadır. Bartholdi ve Hackman (2005), “Depo Bilimi” isimli kitaplarında bu hususa bir bölüm ayırmışlardır.

İleri ve yedek depolama problemi ilgili ortaya atılan yeni bir kavram, dinamik depolamadır. Dinamik depolamanın amacı, harekât mesafesini azaltmak için toplama bölgesini küçültmek ve depolama yerlerine stok tutma birimini taşımaktır. İleri bölgedeki uygun alanların sayısı, toplam stok tutma birimi sayısından daha azdır.

Bu sistemler, yüksek toplama verimliliği sağlama özelliğine sahip olduklarından gittikçe daha tanınır hale gelmektedirler. İleri karar problemleri, yığın halindeki siparişlerin gruplanması, stok tutma biriminin alanlara atanması, ikmal zamanlaması ve otomatik vinçlerin çizelgelemesi durumlarında ortaya çıkmaktadır.

Ürünleri, ileri ve yedek depolama bölgelerindeki depolama alanlarına atamak için birçok yol vardır. Sık olarak kullanılan altı depo atama yöntemi müteakip maddelerde izah edilmiştir. Bunlar rastgele atama, çok yakın açık alan ataması, hassas depo ataması, tam devir depo ataması, aile malzeme grubu ve sınıf temelli depo atamasıdır.

#### **2.4.1. Rast Gele Depo Ataması**

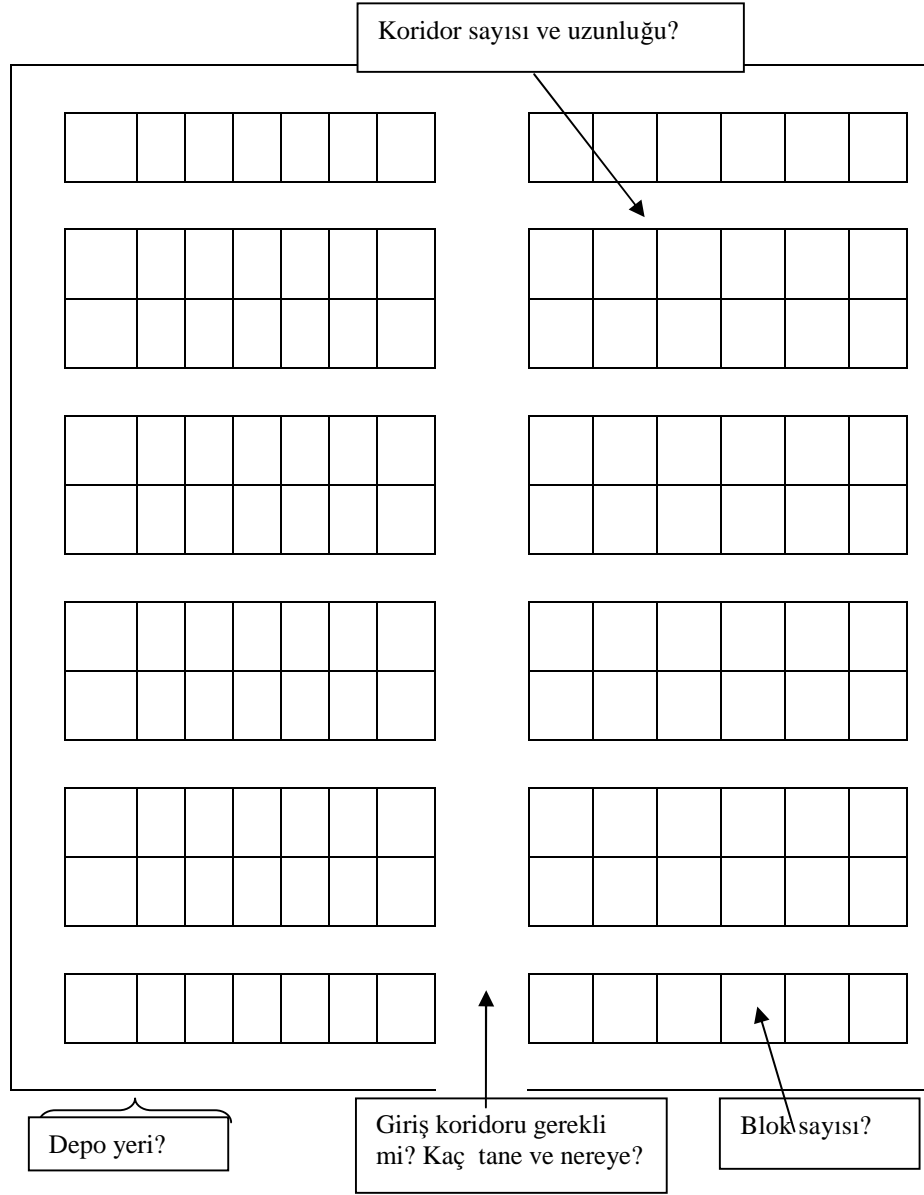
Rast gele depo ataması, gelen her palet veya benzer miktarda yükün depo içinde eşit olasılığa sahip müsait olan herhangi bir alana yerleştirilmesidir (Petersen,1997). Rast gele depo yöntemi, yol mesafesini arttırması pahasına çok daha fazla alan kullanımına sebep olmaktadır (Choe ve Sharp, 1991). Rast gele depo yöntemi sadece bilgisayar kontrollü bir ortamda çalışabilmektedir.

#### **2.4.2. En Yakın Müsait Depo Ataması**

Eğer sipariş toplayıcılar, depolama alanını kendileri seçebilirse, en yakın müsait alan depo ataması söz konusu olur. İşçiler tarafından karşılaşılan ilk boş yer, malzemeyi depolamak için kullanılacaktır. Bu uygulama, deponun ön tarafındaki rafların dolu olduğunu ve dolayısıyla geriye doğru daha çok boş alanı ortaya çıkarmaktadır (eğer fazla kapasite varsa). Hausman ve ar. (1976), eğer ürünler tamamen palet halinde taşınırsa en yakın müsait alan depo ataması ve rastgele depo atamasının benzer performansa sahip olduklarını iddia etmişlerdir.

#### **2.4.3. Hassas Depo Ataması (Yerleşimi)**

Diğer bir seçenek ise hassas depo ataması olarak adlandırılan ve her bir ürünü sabit bir alanda depolama esasına dayanan bir yöntemidir. Hassas depo atamasının, dezavantajı stokta bulunmayan ürünler için de yedek depolama alanının bulunmasıdır. Dahası, her bir ürün için yeterli alanın ayrılması gereklidir. Böylece maksimum envanter seviyesi depolanabilir.



**Şekil 2.3.** Depo Düzen Tasarımı ile ilgili Tipik Düzen Kararları

Depo alanından faydalanma diğer depo atama yöntemlerine göre azdır. Avantajı ise sipariş toplayıcının, depolama alanlarına aşına olmasıdır. Perakende depolarda, genelde ürünün depoya atanması ile depo düzeni eşleşmektedir (Koster ve Neuteboom, 2001). Bu durum depolarda işgücü tasarrufuna neden olur, çünkü ürünler mantıklı bir halde gruplandırılmıştır.

Sonuç olarak eğer ürün ağırlıkları farklıysa hassas depolama faydalı olabilir. Ağır ürünler paletlerin alt tarafında; hafif olanlar ise üst tarafta olmak zorundadır. Ürünleri ağırlıklarına göre sıralayarak ve sipariş toplayıcıları buna göre rotalayarak, iyi bir

yığın sıralaması fazladan bir çaba harcamadan elde edilir. Hassas depo ataması, rastgele depolama yöntemi ile çalışabilen büyük bir ikmal alanına sahip toplama alanlarında uygulanabilir. Bu şekilde, hassas depolamanın avantajı hala devam eder ve hassas depolama yalnızca ufak bir alana uygulandığından dezavantajları azalır.

#### **2.4.4. Tam Devir(Ciro) Esasına Göre Depo Ataması (Yerleşimi)**

Dördüncü yöntem, tam devir (ciro) depolamadır. Bu yöntemde ürünler, devir sayısına göre depolama alanına yerleştirilir. En yüksek satış miktarına sahip ürünler, en kolay alınabilecek yerlere genelde deponun yakınına yerleştirilir. Satış devri az olan ürünler, deponun biraz daha gerisindeki bir yere yerleştirilir. Bu yöntemin ilk uygulaması, küp sipariş indeksi (KSİ) kuralıdır (Heskett ,1963). Her bir ürünün küp sipariş indeksi, ürünün toplam alan ihtiyacının o ürüne olan talebi karşılamak için her bir dönem için ihtiyaç duyulan yolculuk sayısına oranını dikkate alınarak oluşturulmuştur. Algoritma, ürünleri en düşük KSİ ile en yakın depoya depolamayı, ürünleri yerleştirmeyi içermektedir. Bu hususla ilgili Kallina ve Lynn (1976), Malmborg ve Bhaskaran (1987, 1989, 1990) ve Malmborg (1995, 1996) tarafından yapılan çalışmalara müracaat edilebilir.

Tam devir yöntemi, hassas depolama ile birleştirilirse daha pratik ve kolay bir uygulama ortaya çıkmış olacaktır. Esas dezavantaj talep oranlarının ve ürün çeşidinin sık olarak değişmesidir. Her değişiklik, büyük bir miktar stokun yeniden kademelendirilmesi ile sonuçlanacak olan yeni bir ürün sipariş ihtiyacını ortaya çıkaracaktır. Her dönem için bir kez tekrar stoklamak bir çözüm olabilir. Esnekliğin ve sonuçta etkinliğin kaybedilmesi, tam devir depolama ataması kullanıldığında önemli olabilir. KSİ temelli depo atamasının veya diğer talep sıklığına bağlı depo atamalarının benimsenmesi; ürünleri sınıflandırmak ve atamak için sipariş ve depolama bilgisi gerektiğinden rastgele depo atamasından daha fazla bilgi yoğunluklu bir yaklaşıma ihtiyaç duymaktadır (Caron et al. 1998). Bazı durumlarda bu bilgi her zaman ulaşılabilir olmayabilir, örneğin ürün çeşitliliği çok hızlı değiştiği için güvenilir istatistik oluşturamayabilir ( De Koster ve ar., 1999).

#### 2.4.5. Sınıf Temelli Depo Ataması

Sınıf temelli depolama kavramı, şu ana kadar bahsedilen bazı yöntemlerden müteşekkildir. Envanter kontrolünde, klasik bir yaklaşım olan malzemeleri sınıflara ayırmak pareto analizidir. Pareto analizini, önemsiz çoğunluk ve hayati azınlık kavramları ile de özetlemek mümkündür. Ana fikir, miktar olarak bütün ürünlerin % 15 ini teşkil eden ancak devir miktarının % 85 ine denk gelen sınıf en hızlı hareket eden sınıf olacak şekilde ürünleri sınıflarına göre gruplandırmaktır.

Her sınıf daha sonra depodaki hassas yerlere atanır. Bir alan içerisinde depolama rastgeledir. Sınıflar KSİ veya toplama hacmi gibi bazı talep sıklıklarına göre belirlenir. Hızlı devir eden malzemeler genelde A-sınıfı olarak, ikinci hızlı devir eden malzeme grubu B-sınıfı olarak sınıflandırılmıştır. Bazı durumlarda daha fazla sınıflandırma, hareket zamanına bağlı olarak daha fazla kazanç sağlamasına rağmen genelde sınıflandırma üç ile sınırlandırılır.

Benzetim deneyi sonuçlarına göre Petersen ve ar. (2004), manüel sipariş toplama sisteminde hareket zamanı ile ilgili olarak tam devir depolamanın sınıf temelli depolamadan daha iyi performans ortaya koyduğunu göstermiştir. İkisi arasındaki fark, sınıf ayırma stratejisine ve kullanılan rota yöntemine bağlıdır. Ancak, hacim temelli depolamaya göre uygulaması daha kolay olduğundan sınıf temelli yöntemin uygulamasında 2'den 4'e kadar sınıf uygulanması önerilmektedir. Çünkü hacim temelli depolamaya göre uygulaması şu sebeple daha kolaydır: ilk sebep malzemelerin tam bir listesine ihtiyaç duyulmaması, ikinci sebep ise yönetim bakımından diğer hassas yöntemlere nazaran daha az bir zaman gerektirmesidir.

Ancak OD/GA bakımından, Yang (1988) ile Van den Berg ve Gademann (2000), sınıflı depolamanın diğer seçeneklere göre üstün olduğunu tespit etmişlerdir. Bu şekilde depolamanın avantajı, hızlı devir eden malzemeler depoya yakın yere depolanması ve aynı zamanda rastgele depolamanın esnekliği ile düşük depolama alan ihtiyacı avantajından da faydalanılmış olunmasıdır. Graves ve ar. (1977); alan ihtiyacı ile birlikte artan sınıf sayıları da dikkate alındığında, gelen bir yükün doğru sınıf alana yerleştirilebilmesi için boş rafların ulaşılabilir olması gerektiğini

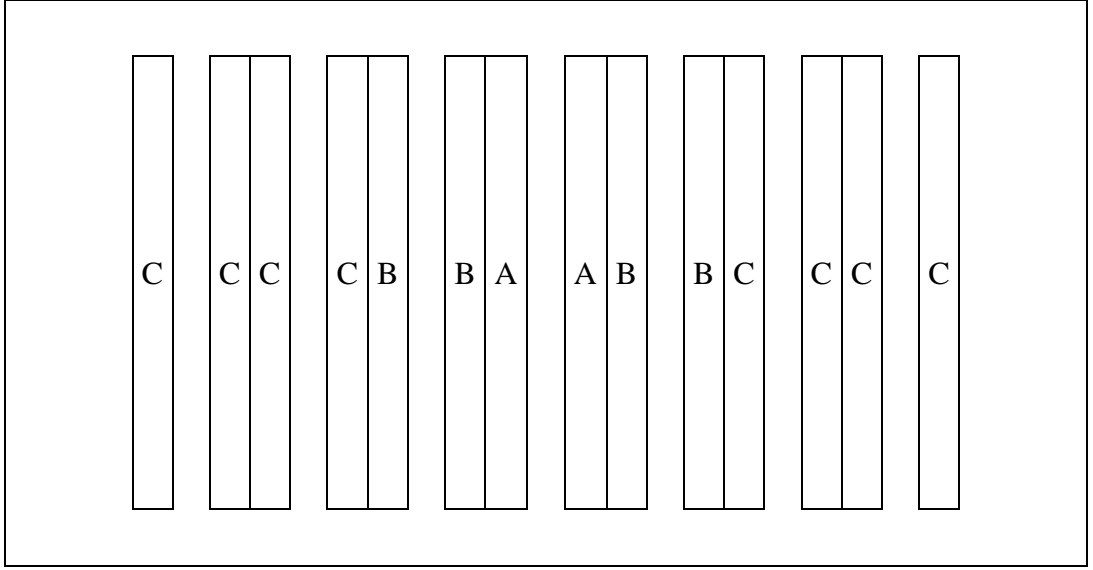
gözlemler. Benzer şekilde sınıf temelli depolama, rastgele depolamadan daha fazla rafa ihtiyaç duymaktadır.

Sınıf temelli depolamayla ilgili araştırmaların çoğu, OD/GA kapsamında icra edilmektedir. Hausman ve ar. (1976) OD/GA kullanan sınıf temelli depolama atama yöntemi ve tek komutalı devir için sınıf bölgeleri bulma problemini incelemişlerdir.

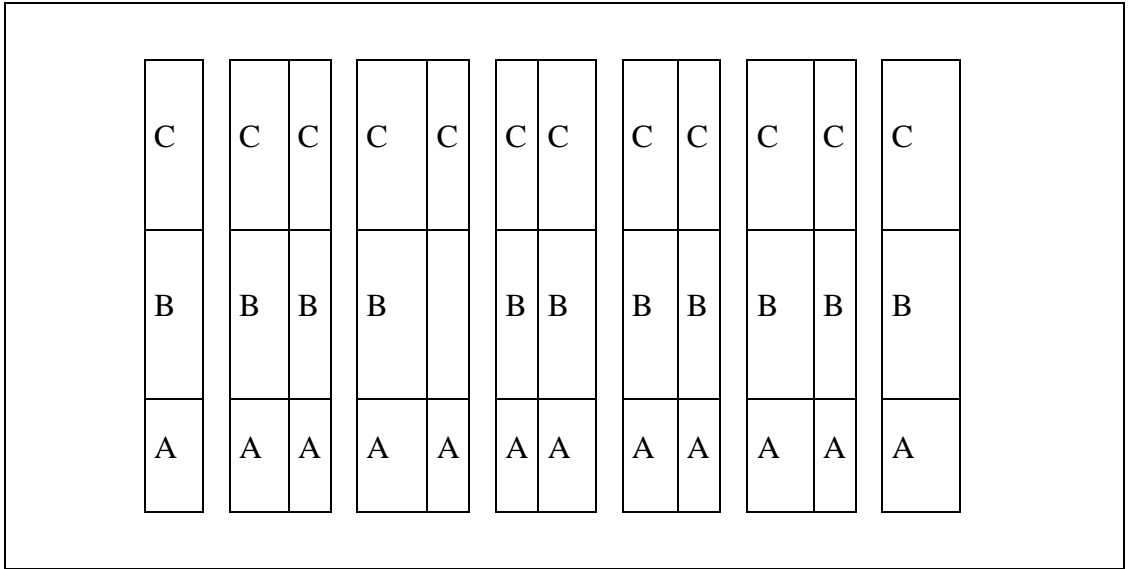
Çift komutalı devir ve sınıf temelli depolama, raf sistemi ile depolama ve geri alma makineleri için Graves ve ar. (1977), benzetim yöntemi ile L şeklindeki alanların kare zamanlı sınırlarla beraber optimal olmadığını gösterdiler. Ancak L şeklindeki sınıf atamaları genelde % 3'den fazla ise optimal olmayacaktır. Sınıf temelli atamalarla beraber çoklu komuta devirleri için Guenov ve Raeside (1992), üç bölgeli şekilleri kıyaslamışlardır. Ashayeri ve ar. (2003), tek ve çoklu depolarda hem kare zamanlı hem de kare zamanlı olmayan raflar için sınıf temelli depo tasarımı için yol zamanı hesaplama yöntemi geliştirmişleridir.

Düşük seviyeli toplayıcının malzemeyi yerinden aldığı sistemlerde A, B ve C sınıfı alanları düzenlemek için değişik alternatifler bulunmaktadır. Jarvis ve McDowell (1991), Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi her koridorda bir sınıf bulunmasını önermişleridir. Petersen (1999, 2002), Petersen ve Schmenner (1999), Petersen ve Aase (2004), Petersen ve ar. (2004) çapraz koridor depolama yöntemini içeren, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi çoklu konfigürasyonları kıyasladılar. Geri dönüş yöntemi için kapalı yol zamanı tahminini esas alarak Le-Duc and De Koster (2005c), sınıfa göre depo yerleştirmesini optimize etmişlerdir. Onlar karşı koridor depolama yönteminin optimale yakın olduğunu ileri sürdüler. Le-Duc (2005), bu sonuçları diğer rota yöntemleri için geliştirmiştir. Optimal depolama stratejisi, rota yöntemlerine bağlıdır.





**Şekil 2.4.** Sınıf Temelli Depolamanın Uygulandığı 2 Genel Yöntem: Paralel Koridor Depolaması.



**Şekil 2.5.** Sınıf Temelli Depolamanın Uygulandığı 2 Genel Yöntem: Karşılıklı Koridor Depolaması.

#### 2.4.6. Aile Grubu Depo Ataması

Bu ana kadar tartışılan atama politikalar, ürünler arasındaki ilişkileri kapsamamaktadır. Örneğin, müşteriler belirli bir ürün ile beraber başka bir ürünü de sipariş edebilirler. Bu durumda, iki ürünü birbirine yakın olarak yerleştirmek gerekli, uygun ve değişik bir yöntem olabilir. Bu uygulamanın, yöntemi; aynı alana benzer ürünlerin yerleştirildiği aile gruplandırması depo ataması olarak adlandırılabiliriz.

Açıkçası, ürünleri gruplandırma yöntemi daha önce belirtilen depo atama yöntemleri ile birleştirilebilir. Örneğin sınıf temelli depolama ile birlikte aynı zamanda gruplandırılmış parçaları kullanmak mümkündür. Ancak, ürünlerin hangi sınıfa atanacağına karar, gruptaki bütün ürünlerin özelliklerin kombinasyonlarına bağlı olmak zorundadır.

Roll ve Rosenblatt (1983), liman deposu için rastgele ve grup depolama alan ihtiyaçlarını kıyasladılar ve rastgele depolama atamasının, grup depolama ataması göre alan ihtiyacını arttığını tespit ettiler. Rosenblatt ve Roll (1984), alan ihtiyacının etkisini dikkate alarak depolama maliyetleri için bir model oluşturdular.

Aile gruplarına göre depo atamasını uygulamak için, parçalar arasında istatistiksel korelasyon bilinmeli veya en azından tahmin edilebilir olmalıdır. Literatürde iki çeşit aile gruplandırması mevcuttur.

İlk yöntem iki büyük aşama içeren **karşılıksız yöntemdir**. İlk aşamada, malzemeleri ortak talebin gücü ölçüsünde gruplara ayrılır. İkinci aşamada, mümkün oldukça malzemeler bir yığın içinde birbirine yakın olarak yerleştirilir (Wäscher 2004). Rosenwein (1994), yığınlama probleminin p-medyan problemi olarak formüle edilebildiğini göstermiştir. Yığınların yerleşimini bulmak için Lee (1992) alan ihtiyacının hesaba katılmasını (KSİ temelli strateji), Liu (1999) ise en fazla talebin olduğu malzeme çeşidinin en yakın yere yerleştirilmesini (hacim temelli strateji) önermiştir.

İkinci aile gruplandırması **temas temelli yöntem** olarak adlandırılır. Bu yöntem, malzemeleri gruplara ayırmak için temas sıklığını/frekansını kullanması dışında karşılıksız yöntemine benzerdir. Belirli bir rota çözümü kapsamında; a malzemesi ile b

malzemesi arasındaki temas sıklığı, malzemeler arasındaki sıralama, sipariş toplayıcı için hangi malzemenin öncelikle alınacağı kararının alınmasında belirleyicidir. Ancak rota kararı, malzemenin yeri ve rotası arasındaki güçlü ilişkiyi gösteren malzeme çeşitlerinin yerlerine bağlıdır.

Her iki problem için en uygun çözümü bulmak, en azından uygulamada ele alınan örneklerin miktarı açısından, gerçekçi olamayacağından temas temelli çözüm yöntemi iki problem çeşidi arasında değişmektedir.

## 2.5. İlgili Çalışmalar

Elde edilen bilgiler vasıtasıyla problemin değişik versiyonları oluşturulabilir. İlk depo yerleşimi ataması problemi, varış ve yükleme zamanı ile stok bulundurma birimi hakkında yeterli bilgiye sahip olunması şartıyla gerçekleştirilmiştir.

Problemin esas yapısı, iki parçanın aynı yere yerleştirildiği atama problemine benzemektedir. Ancak en iyi çözümü bulmak, özellikle gerçekçi ve büyük ölçekli olaylarda zaman temelli çözümü bulmak demektir. Zamanla, bazı buluşsal çözümler tanımlanmıştır. Örneğin buluşsal temelli Kalma Zamanı (Duration of Stay) yöntemi bunlardan biridir [13].

Genellikle her bir ürün için tam ve doğru varış ve yükleme ve zamanı bilgilerini elde etmek kolay değildir ve sadece ürünlerle ilgili daha genel bilgiye ulaşılabilir. Sınıf temelli depolama yöntemi, ürünlerin sınıflara ayrıldığı ve her birinin ayrı bir alana atandığı en etkili yöntemdir. Yöntemin en kritik yönü, sınıflandırma ölçütüdür [14].

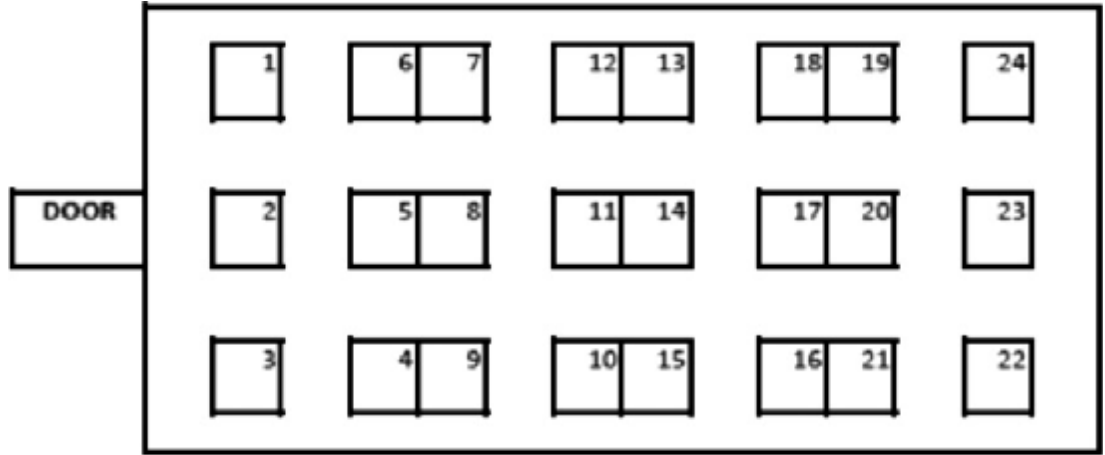
Sınıf depolamasında en çok kullanılan ölçütler şunlardır:

- Popülerlik: belirli bir sınıfın konduğu rafa yapılan ziyaret sayısı.
- Devir sayısı: belirli bir zaman içinde toplam transfer edilen/yüklenen ürün miktarı [15, 16, 17, 18].
- Hacim: belirli bir dönemde belirli bir ürünün beklenen talep miktarı ile hacminin çarpımı [16].
- Toplama yoğunluğu: bir ürünün popülerliliği ile onun hacminin oranı.

- K p sipariş endeksi: Özel bir ürünün kapladığı alan ve onun populerliliği arasındaki oran [19-25].

Bu parametreler toplama maliyetini azaltmayı garanti eder ve yüksek hesaba dayalı gayrete ihtiyaç duymaktadır. Yukarıda zikredilen parametrelerle beraber, ürün benzerliliği güçlü bir korelasyonunla yığın oluşturmaya müsaade etmektedir. Örneğin [26] nu.lı referansta ürünler arasında benzerlik ölçütlerinde kullanılan üç tane kriter kullanılmıştır: tamamlayıcılık, uyumluluk ve populerlik.

Muppani ve Adil (2005) yaptıkları çalışmada, sınıfları oluşturma ve onları raflara atama modeli uygulanmıştır [27]. Larson ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada üç adımlı buluşsal bir model önerilmiştir [28]. Heragu (2005), yaptığı çalışmada ise matematik programlama modeli vasıtasıyla aktif depolama alanlarına birlikte ürün atamasını ve alanların büyüklüğünü belirlemek için buluşsal bir yaklaşım önerilmektedir [29]. En sonunda, Onut ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada çok katmanlı depoda düzen tasarımı ve ürün atama problemini  zlemek için matematiksel bir programlama modeli önerilmektedir [30].



**şekil 2.6.**  rnek Bir Depo Düzeni ( F. Guerriero ve ar. / Uygulamalı Matematik Modellemesi- Applied Mathematical Modelling, 2013)

Bassan ve ark.(1980) tarafından yapılan çalışma, benzer ürünlerin dikkate alınarak bir deponun i düzen tasarımını boyutlandırın matematiksel bir modelin tanımlandığı ve önceki çalışmanın genişletildiği bir çalışmadır [31]. Muppani ve Adil (2005)

yaptıkları çalışmada; ürünler benzer değildir, depolama ve toplamanın da dikkate alındığı üçüncü boyutu hesaba katmışlardır [27].

Problemin karmaşıklığından özellikle gerçek uygulamalardan dolayı Kennedy ve Eberhart (1996), yaptıkları çalışmada tavsiye edilen meta buluşsal, heuristik temelli parçacık sürü optimasasyonu (Particle Swarm Optimization) dikkate almıştır [32]. Jarvis ve McDowell (1991), yaptıkları çalışmada ortalama sipariş toplama zamanını azaltmak için sipariş toplama deposundaki ürün yerleştirme stratejisini tavsiye etmişlerdir. Ayrıca, daha etkin sonuçlar elde etmek için stokastik bir model geliştirilmiştir [33].

Bu alanda, bazı önemli işlevsel kısıtları göz önüne alarak ürün atama problemini formüle etmek için geliştirilen ve önemli bir katkı sağlayan lineer matematik bir model, Sanei (2011) tarafından yapılan çalışmada gösterilmiştir [34]. Özellikle bu çalışmada, envanter yönetimini basitleştirmek ve teçhizat kullanımını arttırmak için her bir ürünün ayrı bir alana konulmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Bizim çalışmamızda ise çok katmanlı depoda düzen tasarımı ve birlikte depolanabilen benzer ürün atama problemini içerdiğinden dolayı Bassan ve ark.(1980) ile Guerriero ve ark.(2013) tarafından yapılan çalışmalarda önerilen matematiksel programlama modelleri referans alınmıştır. Örnek Bir Depo Düzeni Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Litaratür incelemesi sonucunda yapılan çalışmalar arasında Guerriero ve ark.(2013) tarafından yapılan çalışma, yaptığımız çalışmaya çok sayıda ürünü çok katmanlı depoya atama problemini içermesinden dolayı en fazla ortak özelliğe sahip olan bir çalışmadır. Guerriero ve ark.(2013) tarafından yapılan çalışmanın da amacı belirli kısıtlar dahilinde belirli sınıflara ait malzemeleri çok katmanlı depo içersine atama olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı bir çok lojistik probleme getirilmeye çalışılan çözüm önerileri ile aynıdır; mümkün olduğu kadar teslim alma zamanını, envanter sürecini, toplam lojistik maliyeti azaltmak ancak aynı zamanda hizmet kalitesini yükseltmektir. Söz konusu çalışmada, problemi temsil eden matematiksel lineer bir model geliştirilmiş

ve modelin işlevselliği gerçeğe yakın değişik örnekler üzerinde değerlendirilmiştir ve modelin parametleri ile ilgili duyarlılık analizi yapılmıştır.

Litaratür incelemesi sonucunda ayrıca lojistik fonksiyonlar içerisinde önemi vurgulanan depo tasarımı ve depo yönetimi uygulamasına ilişkin kozmetik alanda Hopbaoğlu(2009) tarafından yapılan çalışma, etkin bir depo tasarımı ile tedarik zincirinde ve lojistik süreçlerde kalite ve tasarruf sağlanabileceğine dikkat çeken bir çalışmadır.

Bu çalışma, lojistik etkinliklerin büyük bir bölümünün gerçekleştiği depolardaki operasyonları ve bu operasyonlardaki alt süreçleri detaylandırmakta ve süreçlerin birbiri ile entegre ve etkin çalışmasını mümkün kılacak depo tasarımına yönelik bir yol haritası niteliği taşımaktadır.

## **2.6. Savunma Sektöründe Depolama**

Savunma sektöründe depolama, Uluslararası Standartlar esas alınarak yapılmaktadır. Depolama ile ilgili esaslar aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir:

### **2.6.1 Depolama Esasları**

Özel maksatlı malzemeler ve patlayıcı maddelerin, özel olarak imal edilmiş ve yalnızca bu maksatla kullanılan depolarda muhafaza edilmesi tercih edilmektedirler. Ancak zorunlu hallerde, standart deponun olmadığı hallerde, olağanüstü şartlarda; asgari ısı, nem ve havalandırma gereksinimlerini sağlayan yapılar da bu maksatla kullanılabilir. Bir deponun boşaltılması durumunda depo mutlaka kontrol edilir. Depolar devamlı olarak kapalı, kilitli ve mühürlü tutulur. Depolama faaliyetleri uzman personel tarafından yapılır.

### **2.6.2 Birlikte Depolanma Kriterleri**

Özel maksatlı malzemeler, patlayıcı maddeler birlikte depolandıklarında tehlike ortaya çıkarmayacak şekilde depolanmaya dikkat edilir. Özel maksatlı malzemeler,

ve patlayıcı maddelerin teknik özellikleri birlikte depolanma kriterlerini belirlemektedir. Her cins malzemenin ayrı ayrı depolanması istenen bir durumdur ve en güvenilir yoldur. Ancak bu yöntem çok fazla miktarda depo ihtiyacını ortaya çıkarır dolayısıyla uygulanması çok zor bir yöntemdir.

### **2.6.3. Depo İçi Yerleşim Esasları**

Malzemenin ağırlığı, hacmi; yığınların yüksekliği, yığınların ağırlığı, yığınların hacmi, ana ve ara koridorların mesafeleri; depolanan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle birbiriyle depolanabilme durumları gibi kıstaslar göz önünde bulundurularak depolama işlemi yapılır.

- Malzemeler, orijinal kutularda tutulur.
- Malzemeler, üretildikleri parti grupları esas alınarak depolanır.
- Farklı parti gruplarının üst üste yerleştirilmesi durumunda grupları birbirinden ayırmak için araya çeşitli malzeme ve işaretler konur.
- Yeteri kadar ana ve ara koridor kullanılmalıdır.
- İstiflerin üzerine bilgi kartları takılır.

### **2.6.4. Emniyet Tedbirleri**

- Çalışma esnasında sigara kullanılmamalıdır.
- Depoların hemen önünde muhtemel küçük yangınlara ilk aşamada müdahale yapmak maksadıyla kum ve su bulundurulmalıdır.
- Yüksek gerilim hattı geçen yerlere depo yapılmamalıdır.
- Depo/depoların çevresi tel örgülerle çevrilmelidir.
- Deponun dışında ve içersinde ilgili ikaz levhaları ve talimatları bulundurulmalıdır.

## 2.7. Çözüm Yöntemleri ve Tam Sayılı Programlama (Integer Programming)

Tam sayılı programlama (TP), değişkenlerin tamsayı değerler alma zorunluluğunun olduğu bir doğrusal programlama türüdür. Bazı değişkenlerin tamsayı değerlerinin doğal sayı alabildiği problemlere karışık tamsayı programlama denir. Çoğu gerçek hayat problemleri, değişkenlerin tamsayı olması durumunda mantıklı olabilmektedir. Doğrusal programlama bölünme özelliğinden dolayı bu ihtiyacı karşılamaz. TP, ile ilgili bir çok çalışma olmasına rağmen etkin bir çözüm yolu halen geliştirilememiştir.

Doğrusal programlamanın bölünme özelliğinin kalktığı (değişkenlerin 0, 1, 2,... gibi değerler aldığı) tamsayı programlama uygulamalar yaygındır. Bir diğer çok önemli uygulama da karar durumlarının (evet-hayır) modellendiği tamsayı programlamadır:

Bu modellere ikili (binary) veya 0-1 tamsayı programlama denir.

Değişkenler: Eğer karar  $j$  olumlu (evet) ise  $x_j = 1$ ;

Eğer karar  $j$  olumsuz (hayır) ise  $x_j = 0$  şeklindedir.

Tam sayılı programlama tekniği, doğrusal programlamanın bir uzantısı olup doğrusal programlamada meydana gelebilecek gerçekçi olmayan sonuçları ortadan kaldırmayı amaçlar. Bazı doğrusal programlama modellerinde sonuçların tam sayı çıkmaması problemin gerçek hayattaki problemlere uygunluğunu bozmaktadır. Örneğin bir üretim probleminde masa ve sandalye üretimi yapılacaksa sonuçların kesirli çıkması gerçekçi olmamaktadır. Sonuçların tam sayıya yuvarlatılması bazı kısıtları bozabileceği için çözüm olmamaktadır. Tam sayılı programlama tekniği, kısıtları bozmadan sonucun tam sayı olmasını sağlamaktadır.

Bir doğrusal programlama problemi çözüldüğünde uygun bir tamsayı (integer) çözümü bulunmuşsa sorun yoktur. Ancak sonuçların tamsayı çıkmaması durumunda ve çözümün tamsayı olması isteniyorsa probleme yeni bir kısıt ekleyerek işleme devam etmek mümkündür. Eklenen bu yeni kısıt (kesme) orijinal kısıtlar altında mümkün olabilecek tüm tamsayı çözümleri içeren yeni bir çözüm bölgesi meydana getirir ancak ilk çözümde bulunan tam sayı olmayan çözümü içermez.



### 3. MEVCUT DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Savunma ihtiyacı kapsamına giren her türlü özel veya genel maksatla kullanılan, teçhizat ve malzemeler için yapılan harcamaların büyüklüğü ve gerekliliği bilinen bir gerçektir. Bizim çalışmamızın temel maksadı da üretimi ileri teknoloji gerektiren, maliyeti yüksek, özel bir iklim ve bakım sistemine sahip çeşitli malzemelerin depolara atanmasında kullanılabilen uygun çoklu matematiksel depo atama modelini oluşturmaktır.

#### 3.1. Mevcut Depolama Düzenleri

Malzeme depolarında miktar ve çeşitliliği çok fazla miktarda olan malzeme depolanmaktadır. Genel olarak bazı depolarda tespit edilen yanlış uygulamalardan en çok dikkat çekici olanlar şunlardır:

- Malzemeler, tavana 5-10 cm. yaklaşacak yükseklikte depolanmıştır.
- Yığınlar (bloklar), depolama alanı ihtiyacına göre oluşturulmaktadır; hacim ve ağırlık şartları dikkate alınmamaktadır.
- Bazı depolarda girişten itibaren veya yığınlar (blok) arasındaki ara koridorlarda uygun genişlikte boşluk bırakılmamakta, hatta bazı ara koridorlar malzemeyle kapatılmış bulunmaktadır.
- Aynı depo içinde farklı sınıflara, gruplara ait malzemeler bulunmaktadır.
- Birim alana konabilecek en fazla malzeme miktarı kuralı göz ardı edilmektedir.
- Malzemelerin depolara atanmasında malzemeler arasında herhangi bir sıralama veya sınıflandırma yoktur.
- Bazı malzemelerin aynı depoda beraber bulunması kimyasal, fiziksel ve sağlığa uygunluk bakımından istenmeyen sonuçlara ve sağlık problemlerine sebep olabilir; bu nedenle bazı malzemelerin aynı depoya konmaması gerekmektedir.
- Depoların birbirlerine olan mesafesi değişiklik göstermektedir.
- Depolama, en son gelen malzeme en yakın boş olan yere yerleştirilmesi esasına göre yapılmaktadır.

### **3.2. Uygun Olmayan Depolama Sonuçları**

Uygun olmayan depo ataması ve depo yerleşimi sonucunda;

- Gerçek depo ihtiyacının hesaplanmasında zorluklarla karşılanmaktadır.
- Depolama kapasitesi etkin ve verimli şekilde kullanılamamaktadır.
- Plansız olarak tedarik edilen malzemelerin depolanmasında zaman ve işgücü kaybı oluşmaktadır.
- Depo ataması ve depo yerleşimi sezgisel olarak yapıldığından daha fazla bir planlama ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.
- Envanter kontrol ve takibi zorlaşmakta; mükerrer malzeme siparişleri meydana gelmektedir.
- Uygun olmayan depolama koşullarından dolayı malzemelerin depo içinde bakımı yapılamamakta ve kullanılmaz hale gelebilmektedir.
- Depolar arasında veya müşteriye malzemeler istenen zamanda transfer edilememektedir.
- İhtiyaç fazlası malzemeler depolanmaktadır.
- Birim alana konması gereken maksimum malzeme miktarına dikkat edilmemesi zeminde kaymalara neden olabilmektedir.
- Transfer, bakım ve sayım faaliyetleri doğrulukla yapılamamaktadır. Etkin yapılamayan ve tekrarlanan sayım, bakım ve zamanında yapılmayan transfer faaliyetleri zaman ve işgücü kaybına, malzeme ikmal etkinliğinin azalmasına neden olabilmektedir.

Sonuç olarak depolanan malzemenin özelliğine ve müşterinin ihtiyacına göre istenen malzemenin; istenen yerde, istenen zamanda ve istenen miktarda bulunması hayati öneme haiz olabilir. Meydana gelen gecikmelerin istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olabileceği değerlendirilmektedir.

### **3.3. Uygun Depolama Şartlarının Oluşturulması**

Malzeme çeşitliliğinin artmasıyla birlikte artan depo/alan ihtiyacı gelen bir yükün doğru malzeme grubu alanında yerleştirilebilmesi için uygun olan boş depolama alanının mevcut olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle; etkin depo atama yöntemi

kritik bir öneme sahiptir. Ortak amaç, kısıtları ve ihtiyaçları karşılayan diğer depo atmaları içinde en iyi depo atama yöntemini bulmaktır [11].

**Depo atama yöntemi olarak; belirli kısıtlar dâhilinde** aile grubu temelli depolama atama yönetimi esas alınmıştır. Ana fikrimiz, öncelikle atamaya tabi tutulacak malzemeleri, aile gruplarına göre (malzeme grubu) sınıflandırmaktır. Malzemelerin çeşitliliği ve benzerlikleri aile gruplandırmasını hem gerekli hale getirmekte hem de malzemelerin ikmali bakımından işletmene ve müşterilere kolaylıklar sağlamaktadır. Çünkü müşterilerin belirli bir ürün ile beraber benzer bir ürün için de istekte bulunma eğilimleri değişiklik göstermemektedir. Bu durumda, benzer ürünleri birbirine yakın olarak yerleştirmek uygun bir yöntem olabilir. Bu yöntem diğer bir depo atama yöntemi ile birleştirilebilir. Modelde tam devir (ciro) esaslı depo ataması ile birlikte aynı zamanda aile grubu atama yöntemi birlikte kullanılmıştır.

Aynı aile grubuna ait birer adet malzemedan oluşan grup, aile malzeme grubu olarak tanımlanmıştır. Çalışmamızın bundan sonraki bölümlerinde aile malzeme grubu tanımı kullanılmaktadır. Aile malzeme gruplarının oluşturulmasını müteakiben ikinci öncelikli olarak yapılması gereken aile grupları arasında depo atamasında öncelik sağlayacak olan sıralamanın yapılmasıdır. Söz konusu sıralama; her aile malzeme grubunu birer grup olarak kabul ederek aile malzeme gruplarının kendi aralarında sıralaması/sınıflandırması şeklinde yapılmıştır. Bu sıralama tam devir (ciro) esaslı depo ataması yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntemde ürünler, devir sayısına göre depolama alanına yerleştirilir. En yüksek satış miktarına sahip ürünler, en kolay alınabilecek yerlere genelde deponun girişine yerleştirilir. Satış devri az olan ürünler, deponun biraz daha gerisindeki bir yere yerleştirilir.

Dolayısıyla çalışmamızda malzemelerin sınıflandırılmasında ve depolara atanmasında başvurduğumuz yöntem, aile grubu ile tam devir esaslı depo ataması yönteminin birlikte uygulandığı karma bir yöntemdir. Ayrıca model, atama önceliği olan aile malzeme grubunun atanmasından sonra ortaya çıkabilecek boş depolama alanına ikinci sıradaki aile malzeme grubunun atanmasına imkân sağlamaktadır. Öncelik sırasına göre her aile malzeme grubu daha sonra en yakın depoya atanır. Depo içindeki atamalar ise ilgili aile malzeme gruplarını oluşturan malzemelerin

önce grup içersinde sonra diğer malzeme gruplarıyla kıyaslanması sonucu oluşan tam devir esaslı depo ataması yöntemine göre aynı model esas alınarak yapılabilir.

Modelimizde ise tam devir esaslı depo atamasına göre sınıflandırmaya tabi tutulan aile malzeme grupları, depo/aile malzeme grubu ikilisinin arasındaki ilişkiye göre oluşturulan matriste belirtilen depolama katsayılarına göre depolara atanmaktadır. Malzemelerin depolara atanmasından sonra, depo içersinde çok katmanlı olarak atanması ve yığın (blok) haline getirilmesi modelimizde kullandığımız esaslar dâhilinde ayrı bir çalışma kapsamında yapılabilir.

Bu yöntemle depolamanın avantajları şunlardır:

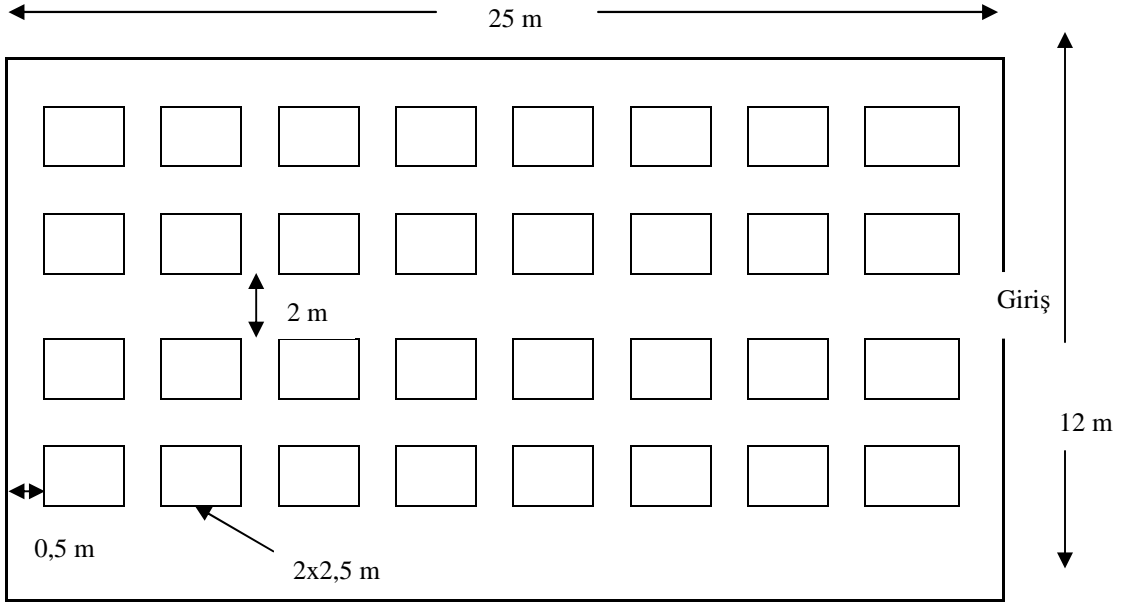
- Her malzeme cinsi için ayrı sınıflandırma yapılması, hareket zamanına bağlı olarak zaman tasarrufu sağlamaktadır.
- Hızlı devir eden malzemeler depoya yakın yere depolanabilir.

Bu bölümde, çalışmamızda ele alınan problemin çözümüne yönelik ihtiyaç duyulan kısıtların detaylı olarak tanımı yapılmış ve uygun çözüm şekli ortaya konmaya çalışılmıştır. Müteakip maddelerde belirtilen ve birbiriyle uyumlu olan kısıtlar dikkate alınarak depo ataması gerçekleştirilecektir. Çoklu malzeme gruplarının ortak özellikleri ve devir sayıları ile depolar arasındaki mesafeler dikkate alınarak aile malzeme grupları oluşturulmuş; idare binasına en yakın depodan en uzak depoya doğru çoklu sayıda depoya atanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma, çok katmanlı depo tasarımı, sınıflandırılmış aile grupları arasında uygun kısıtların dikkate alındığı [29] nu.lı referansta belirtilen modelin geliştirilmiş bir şekli olarak kabul edilebilir. Şekil 2.3'de gösterilen depo düzeni, çalışmamıza uygun ve uygulanabilir olarak geliştirilmiş ve Şekil 3.1, 3.2 ve 3. 3'de gösterilmiştir. Depolara atanması ve yerleştirmesi amaçlanan 89 kalem malzeme temel ortak kimyasal, fiziksel ve ikame özellikleri dikkate alınarak 10 farklı aile malzeme grubuna ayrılmıştır. Modelde her malzeme için minimum ve maksimum ihtiyaç miktarlarını belirleyen kısıtlar bulunmaktadır. Modelde depo sayısı 20 olarak kabul edilmiştir.

Depolama katsayısı, aile malzeme grubu devir katsayısı ve en yakın depo ölçütüne göre oluşturulan matris sonucunda meydana gelmiştir. Amaç en fazla fayda sağlayan

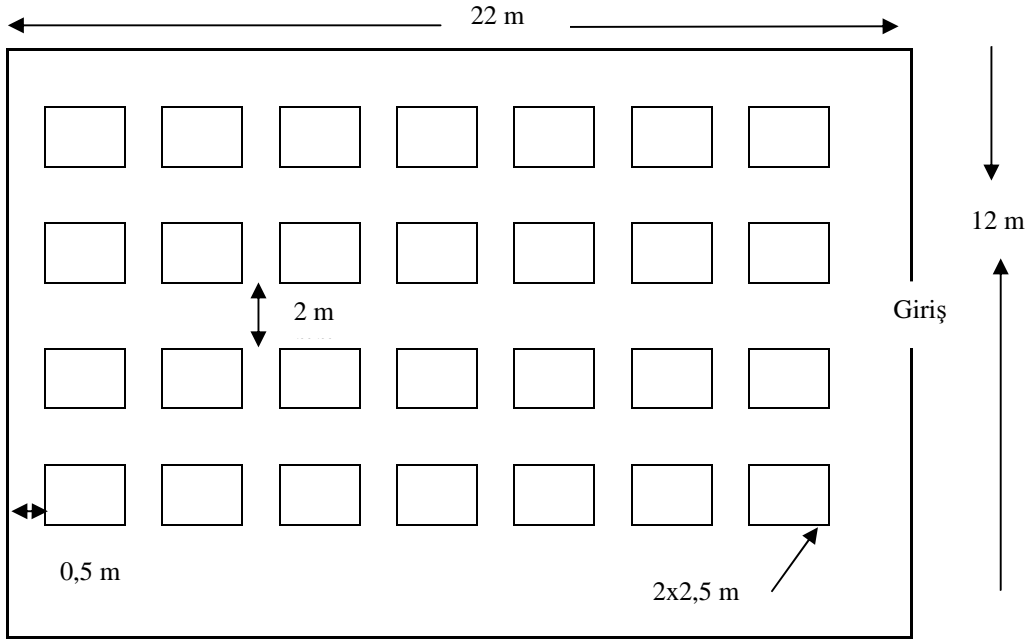
aile grup malzemesini, belirlenmiş kıstaslar dâhilinde en uygun depoya atanmasını sağlamaktır.



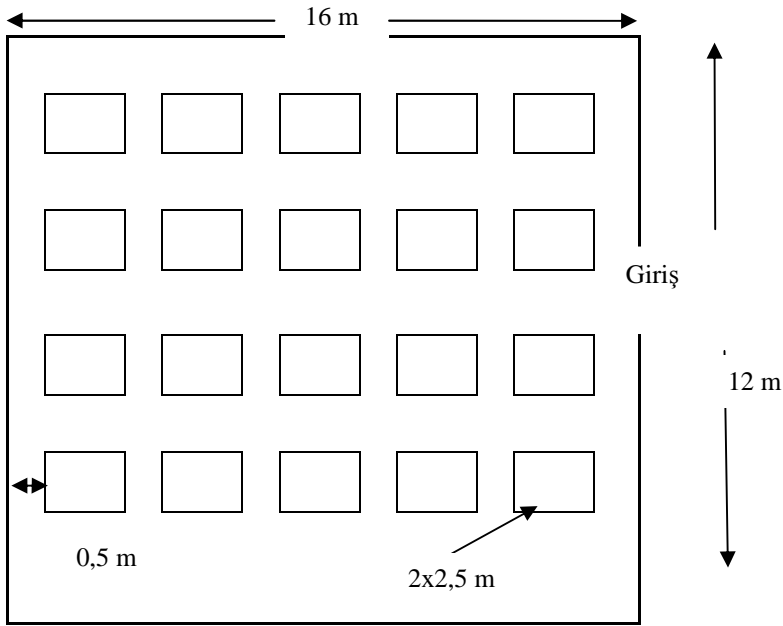
**Şekil 3.1** Büyük Hacimli (640 m<sup>3</sup>) Depo Düzeni

### 3.3.1. Yığın Oluşturan Malzeme Miktarı ve Yığın Boyutlarının Belirlenmesi

Yığınların oluşturulması; depo içi malzeme toplama tasarımı ve uygun sayıda ve genişlikte koridorların belirlenmesi problemi ile yakından ilgilidir. Yığınların tasarımı için yığın sayısının belirlenmesi, her bir depolama alanındaki yığın numarası, genişliği ve uzunluğunun belirlenmesi gereklidir.



**Şekil 3.2** Orta Hacimli (560 m<sup>3</sup>) Tip Depo Düzeni



**Şekil 3.3.** Küçük Hacimli (400m<sup>3</sup>) Depo Düzeni

Malzemelerin yığın bütünlüğünün olmaması veya bozulması; malzemenin bulunduğu yerin tespitinde zorluklara sebep olmaktadır. Malzemenin bulunduğu yerin tespiti tahmin edilmeye çalışılmakta, bulunduğu yerin tespiti ve kayıt altına alınması daha fazla zaman ve işgücü harcanmasına neden olmaktadır. Hatta mükerrer siparişlerin

yapılması durumu ortaya çıkmaktadır. Mükerrer siparişler ise işletmenin kârının azalmasına veya zarar etmesine yol açabilir.

Yığın bütünlüğünün sağlanması aşağıda belirtilen faydaların ortaya çıkmasını sağlamaktadır:

- Malzemelere ulaşılabilirliği hızlandırmaktadır.
- Birim alana yerleştirilebilecek maksimum malzeme miktarının hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır.
- Yığının maksimum yüksekliğinin hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır.
- Envanter kontrolünü ve takibini etkinleştirmekte ve verimliliğini arttırmaktadır.

Deponun tavan yüksekliği, giriş ve ara koridorlar dikkate alındığında yığınların ebatlarının en fazla; 2 m. X 2,5 m. X 4 m. den oluşması gerekmektedir. 4 m., yığının yüksekliğini teşkil etmektedir. M<sup>2</sup>ye en fazla 2 ton, bir yığına (5 m<sup>2</sup> ye) ise en fazla 10 ton malzeme konabilir.

Depo yerleşiminin sadeleştirilmesi ve depolama alanlarının maksimum kullanımını sağlamak amacıyla geçmiş dönemlerde yapılan siparişlerin minimum miktarından az olmamak kaydıyla her kalem malzemedен en az bir yığına konacak miktar kadar seçilmesini tercih edilmiştir. Örnek: 1nci aile malzeme grubu için depo ataması en az 400 kutu olmalıdır. Çünkü 1nci grupta bulunan malzemeler içinde '11' koduna sahip malzemenin en az bir yığın oluşturabilmesi için en az grup 400 kutu olmalıdır. Grupta bulunan diğer malzemelerden ise en az bir veya daha fazla yığın oluşturulabilmektedir.

Çalışmamızda yığınların sayısı, yığınların hacmi, yığınlardaki maksimum ağırlık, depoların hacimleri ile depoların taşıyabileceği maksimum ağırlıkları; yığınların arasındaki mesafeler ile yığınların boyutları dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkarılmış ve modelde 'depoların hacim' ve 'depoların taşıyabileceği maksimum ağırlık' kısıdı olarak kullanılmıştır.

Malzemenin depoya giriş çıkışını hızlandırmak amacıyla aynı yığında tek cins malzeme olması arzu edilen bir durumdur. Ancak depo sayınındaki kısıtlama

nedeniyle ve aynı aile malzeme grubuna ait malzemelerin birbirini ikame imkânı sağlamasından dolayı aynı aile malzeme grubuna ait malzemeler, aynı yığına konması arzu edilmektedir.

### **3.3.2. Giriş ve Ara Koridorlar İçin Uygun Mesafelerin Hesaplanması**

Depoların içinde malzeme atama ve yerleşimlerinin rastgele yapılması, giriş ve ara koridor mesafelerine uyulmaması işçi veya vinç, forklift vb. alet ve makinelerin kullanılmaması sonucunu doğurmaktadır.

Özellikle malzeme teminlerinin partiler halinde ve tahmin edilemeyen zamanlarda yapılması depoların her zaman yeni malzemeler için müsait çalışma ortamına sahip olması gerekliliğini göstermektedir.

Depo içersinde giriş ve ara koridorlar için ihtiyaç duyulan uygun mesafelerin bulundurulmaması; depolama alanına olan ihtiyacı arttırmaktadır. Depolama ihtiyacının karşılanmaması durumunda; uygun olmayan şartlarda depolama, malzemelerin kullanılamaz duruma gelme tehlikesini ortaya çıkarmaktadır.

Depolar içersinde işçilerin, forkliftin ve diğer taşıma ve kaldırma teçhizatının kullanılabilmesi için giriş koridorun en az 2 m., yığınlar arası dikey ve paralel ara koridorların ise en az 1 m. genişliğinde olması gerekmektedir.

Giriş ve ara koridorlar için uygun mesafelerin hesaplanması ve uygulanması aşağıda belirtilen faydaların ortaya çıkmasını sağlamaktadır:

- Depo içinde malzeme atama ve yerleştirmelerinin sadece manüel değil makine ve teçhizat kullanılmasına yani otomatik depolamaya imkân vermektedir.
- Otomatik depolama işgücüne olan ihtiyacı azaltmakta, zamandan tasarruf edilmesini sağlamaktadır.
- Gerçek depo ihtiyacının veya boş depolama kapasitesinin hesaplanmasında kolaylık sağlamaktadır.



- Koridorların boş bulunması, kullanılmaması malzemelerin ezilmesi veya kırılması ihtimalini ortadan kaldırır.
- Depo içinde çalışan kişiler için uygun bir alan, etkin ve verimli bir çalışma ortamı oluşturmaktadır.

Çalışmamızda yığınların sayısı, depoların hacimleri ile depoların taşıyabileceği maksimum ağırlıkları; koridorlar arasındaki mesafeler de dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkarılmış ve modelde ‘depoların hacim’ ve ‘depoların taşıyabileceği maksimum ağırlık’ kısıdı olarak kullanılmıştır.

### **3.3.3. Birim Alanına Yerleştirilecek Malzeme Miktarının Tespiti**

Birim alana atanan malzeme miktarının tespiti kısıdı, hem deponun zemini hem de malzemeler açısından önemlidir. Hem deponun taban alanına uygulanan toplam baccıncı kontrol altında tutarak zeminde kaymalara, çatlamalara ve bozulmalara; hem de malzemelerin birbirlerine baskı uygulayarak malzemelerin veya ambalajlarının ezilmelerine, yırtılmalarına, kırılmalarına mani olmak için birim alana konabilecek maksimum ağırlık şartına uyulması gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen risklerin meydana gelmemesi için m<sup>2</sup>ye en fazla 2 ton, bir yığına (5 m<sup>2</sup> ye) 10 ton malzeme konabilir.

Çalışmamızda birim alanına yerleştirilecek malzeme miktarının tespiti edilmiş ve modelde ‘depoların taşıyabileceği maksimum ağırlık’ şeklinde ifade edilen kısıdın esasını teşkil etmiştir.

### **3.3.4. Yığınların Tavana Olan Mesafesi**

Maksimum yığın yükseklikleri hesaplanırken malzemelerin tavana 50 cm. den fazla olmayacak şekilde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Depoların modelde kısıt olarak kullanılan hacimleri hesaplanırken bu husus dikkate alınmıştır.

Aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı söz konusu kıstasın uygulanması zaruridir:

- Tavanda meydana gelen rutubet ve kirlerden malzemelerin zarar görüp bozulmalarını engeller.
- Tavan ile malzemelerin sürtünüp malzeme veya ambalajların yırtılmasına, ezilmesine, hasar görmesi engellenmiş olur.
- Aydınlatma, yangın ve klima sistemleri için tavanda ihtiyaç duyulan müsait alana ihtiyaç vardır.
- Tavan ile malzeme arasında boşluk olması tavanın kontrol edilmesini, ihtiyaç halinde bakımını ve onarımını kolaylaştırır.

Çalışmamızda depoların yükseklikleri; yığınların tavana 50 cm.den fazla yaklaşılmasına izin vermemektedir.

### **3.3.5. Malzemelerin Devir Sayısına Göre Analiz Edilmesi ve Malzemelerin Uygun Depoya Atanması**

Malzemelerin arasındaki sıralamaya veya sınıflandırmaya esas teşkil edecek olan ölçütün işletmenin politikalarını ve depolama atama ve yerleştirme kararlarını doğrudan etkilemektedir. Seçilecek olan ölçüt belirlenmesi, işletme için en zor kararlardan biridir. Amaç, birçok durumda elden geçirme maliyetini oluşturan faktörlerden biri olan yol mesafesinin azaltmaktır [11].

Hangi malzemenin hangi depoya atanacağını tespit edilmesi açısından malzeme aile grupları arasında sıralama yapılmıştır. Aile malzeme grubunun yıllık devir sayısı ve depoların idari binaya olan mesafelerine göre ‘depolama katsayısı’ oluşturulmuştur. Oluşturulan depolama katsayıları EK 1’de sunulmuştur.

Malzemenin hangi depoya atanacağını tespitinde malzemenin özelliği kadar deponun özelliği de dikkate alınabilir. Ancak bizim teşkil edeceğimiz modelde sadece malzemelerin özellikleri ve depoların idari binaya olan uzaklıkları dikkate alınmıştır; deponun özellikleri göz ardı edilmiştir. En çok tercih edilen, devir hızı yüksek olan malzemelerin yönetim binasına en yakın olan depoya atanması esas alınmıştır.

Malzemelerin uygun depoya atanması aşağıda sıralanan faydaları sağlar:

- En fazla fayda sağlayan veya en fazla devir eden malzemenin en yakın depoya atanması zaman tasarrufu sağlar.
- Yol mesafesinde azalma meydana getirir.
- İşgücü ihtiyacını azaltır.

Amaç fonksiyonu, depolama katsayısı dikkate alınarak modelde maksimum fayda sağlayan malzeme atanması esasına göre formülle edilmiştir.

### **3.3.6. Bazı Aile Malzeme Gruplarının Aynı Depo İçerisinde Birlikte Depolanamaması veya Yalnız Depolanması**

Bazı aile malzeme gruplarının aynı depoda birlikte bulunması aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı tercih edilmemektedir:

- Bazı malzemelerin aynı depo içerisinde yangın, patlama vb. kimyasal reaksiyonların oluşması riskini taşımaktadır.
- Bazı malzemelerin evsaflarının, özelliklerinin kaybolması ve sağlık yönünden kullanılamaz hale gelme tehlikesi söz konusudur.
- Hijyen bakımından negatif sonuçlara, kirlenmelere sebep olabilir.
- 8 ve 9 nu.lı aile malzeme grupları sadece 10 nu.lı aile malzeme grubu ile birlikte depolanmaktadır. Çizelge 3.1’de belirtilen esaslara göre ifade edilmiştir.

### **3.3.7. Minimum İhtiyaç Miktarı:**

Geçmiş dönemlerde yapılan siparişlerin minimum miktarından az olmamak kaydıyla konteynir hacimleri (2\*2,5\*2 m) dikkate alınarak ve aile malzeme gruplarını oluşturan malzemeler arasında en az bir yığın oluşturabilecek miktardaki malzeme sayısı, her aile malzeme grubu için minimum ihtiyaç miktarı olarak belirlenmiştir.

### 3.3.8. Maksimum İhtiyaç Miktarı:

Geçmiş dönemlerde yapılan siparişlerin maksimum miktarından fazla olmamak kaydıyla depoların sayısı, hacmi vb. kısıtlar da göz önüne alınarak malzeme gruplarını oluşturan malzemeler arasında en az bir yığın oluşturabilecek miktardaki malzeme sayısının katları halinde belirlenen miktar, her aile malzeme grubu için elde bulundurulabilecek maksimum stok seviyesi olarak kabul edilmiştir.

**Çizelge 3.1. Birlikte Depolanabilen Aile Malzeme Grupları**

Aile Malz.Gr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
3	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
4	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
5	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
6	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
7	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
8	X	X	X	X	X	X	X	+	X	+
9	X	X	X	X	X	X	X	X	+	+
10	X	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Açıklama: +: Birlikte depolanabilen

X : Birlikte depolanamayan

### 3.3.9. Depoların Hacim Kısıdı:

Malzemelerin yığın halinde gruplandırılması, yığınların tavana 50 cm.den fazla yaklaştırılmaması, giriş ve ara koridorlar için uygun mesafelerin sağlanması neticesinde depolar için hacim sınırlaması ortaya çıkarılmıştır.

### 3.3.10. Depoların Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık Kısıdı:

Madde 2.3'de belirtilen risklerin meydana gelmemesi için m<sup>2</sup>'ye en fazla 2 ton, bir yığına (5 m<sup>2</sup> ye) 10 ton malzeme konabilir. Malzemelerin yığın halinde

gruplandırılması, birim alanına yerleştirilecek malzeme miktarının tespiti ve giriş ve ara koridorlar için uygun mesafelerin hesaplanması neticesinde her cins depo için maksimum ağırlık sınırlamasını ortaya çıkarılmıştır.

**3.3.11. Depo Yerleşim Kısıdı-1 (Herhangi Bir Aile Malzeme Grubunun En Fazla 3 Farklı Depoya Farklı Atanması Kısıdı):**

Her bir aile malzeme grubunun mutlaka bir depoya atanmasını ancak söz konusu atamanın en fazla 3 farklı depoya olmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.

**3.3.12. Depo Yerleşim Kısıdı-2( Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Aile Malzeme Grubunun Atanması Kısıdı):**

Deponun açılması halinde her bir depoya mutlaka bir veya en fazla üç aile malzeme grubunun atanmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.

## 4. UYGUN MODELİN TASARIMI

### 4.1. Birinci Aşama: Depolanacak Malzemelerin Özelliklerinin Tespiti

Modelde 10 farklı aile malzeme grubundan oluşan 89 çeşit malzemenin atanması ve yerleştirilmesi tasarlanmıştır. Gruplar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 rakamlarıyla sembolize edilmiştir. 1'inci aile malzeme grubu 6, 2'nci aile malzeme grubu 8, 3'üncü aile malzeme grubu 10, 4'üncü aile malzeme grubu 13, 5'inci aile malzeme grubu 12, 6'ıncı aile malzeme grubu 11, 7'inci aile malzeme grubu 10, 8'inci aile malzeme grubu 5, 9'uncu aile malzeme grubu 1 ve 10'uncu aile malzeme grubu ise 13 kalem malzemedan oluşmaktadır. Aile malzeme grubu içindeki malzemeler, grup numaraları ve grup içersindeki malzeme numaraları kullanılarak kodlandırılmıştır. Örneğin 1. Aile grubunu oluşturan malzemeler; 11, 12, 13...olarak kodlandırılmıştır. Malzeme kutuları orijinaldir ve üst üste konacak şekilde kuşaklıdır.

Her bir malzemenin bir kutu (ambalaj) içindeki âdeti, kutunun boyutları, kutunun ağırlığı tespit edilmiştir. Daha sonra ise kutuların alanı, hacmi, birim alana ve her yığına konabilecek kutu adetleri hesaplanmıştır.

Modelimizdeki amaç fonksiyonu, belli sayıdaki depo içersine aile gruplarına ve tam devir (ciro) esaslı depo atamasına göre aile malzeme gruplarını en yakın depoya atanmasını ve depoların maksimum kullanımını hedeflemektedir. Bu maksatla, oluşturulan depolama katsayısı matrisi Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Malzemelerin kodu, modelde kullanılan formül kodu, kutusunun ağırlığı, bir kutu içindeki miktar (adet), kutularının boyutları, bir adedinin ağırlığı (kg), kutunun taban alanı ve kutunun hacmine ait Adedi Bilgiler Çizelge 4.2'de 'de sunulmuştur.

Aynı malzemedan oluşan yığınların (2X2,5X4) m<sup>2</sup>'ye en fazla 2 ton ağılık konması ve yükseklik kısıdına göre ( $\leq 4$  m) üst üste konabilecek malzeme kutularından oluşan katman sayısı, ilk sırasındaki ürün sayısı ve malzeme kutularından oluşan katman sayısına göre yığındaki toplam malzeme kutu sayısı, yığının ağırlığı, yığının hacmi, en az yığın sayısı, en çok yığın sayısı, yığınların toplam ağırlığı Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Aynı aile malzeme grubuna ait birer adet malzemenin oluşturduğu aile malzeme grubu hacmi, aile malzeme grubu ağırlığı, minimum ihtiyaç miktarı, maksimum ihtiyaç miktarı, minimum ihtiyaç miktarının hacmi ve ağırlığı, maksimum ihtiyaç miktarının hacmi ve ağırlığı Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

#### **4.2. İkinci Aşama: Depo İçinde Uygun Aralık ve Mesafelerin Tespit Edilmesi**

Çalışmamızdaki depo düzeninde tek bir giriş, bir esas koridor (2 m), yığınlar arasında dikey olarak tasarlanmış koridorlar (1 m.) ve yığınlar arasında ana koridora paralel ara koridorlar (1 m.) ile yığınların duvara yakınlığını belirleyen uygun aralıklar (50 cm.) tasarlanmıştır. Üçüncü boyut olan yükseklik de problemimizde dikkate alınmış; yığınların tavana yaklaşabileceği en yakın mesafe (50 cm.) de modele dahil edilmiştir.

#### **4.3. Üçüncü Aşama: Modelin Matematiksel Olarak Formüle Edilmesi**

Amaç; en fazla fayda sağlayan aile gruplarına ve tam devir (ciro) esasına göre belirlenmiş malzeme gruplarını, belirlenmiş kıstaslar dâhilinde en uygun depoya atanmasını sağlamaktır. Her bir aile malzeme grubu için kullanılan **depolama katsayısı**, aile gruplarının tam devir (ciro) esasına göre sınıflandırması sonucu belirlenen devir katsayısı ile en yakın depo ölçütüne göre oluşturulan matris sonucunda meydana gelmiştir.

Model eniyileme maksadıyla kurulan bir maksimum problemdir. En fazla fayda sağlayan malzeme grubu öncelikle ilk, en yakın depoya atanacaktır. Amaç fonksiyonunun değeri, bir depoya malzeme atanıp atanmaması 0/1 ikilisi, atandığı durumda ise atanma miktarı ve depo/malzeme grubundan oluşan matriste belirtilen depolama katsayısının çarpımlarının toplamından oluşmaktadır.

Kat sayı	Aile Malz. Gr.	Malzeme Grupları		Depolar																			
		Depolama Katsayısı																					
		Devir Katsayısı	Depo Nu.	640					560					400					640				
10	1.	10	Depo1	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
9	2.	9,5	Depo2	90	85,5	81	76,5	72	67,5	63	58,5	54	49,5	45	40,5	36	31,5	27	22,5	18	13,5	9	4,5
8	3.	9	Depo3	80	76	72	68	64	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4
7	4.	8,5	Depo4	70	66,5	63	59,5	56	52,5	49	45,5	42	38,5	35	31,5	28	24,5	21	17,5	14	10,5	7	3,5
6	5.	8	Depo5	60	57	54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3
5	6.	7,5	Depo6	50	47,5	45	42,5	40	37,5	35	32,5	30	27,5	25	22,5	20	17,5	15	12,5	10	7,5	5	2,5
4	7.	7	Depo7	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
3	8.	6,5	Depo8	30	28,5	27	25,5	24	22,5	21	19,5	18	16,5	15	13,5	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5
2	9.	6	Depo9	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	10.	5,5	Depo10	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5



**Çizelge 4.2.** Malzemelere Ait Adedi Bilgiler

S.NU.	GRUP	KODU	FORMÜL KODU	KUTU AĞ. (KG.)	BİR KUTU İÇİNDEKİ MIKTAR (ADET)	BİR ADETİN AĞIRLIK (KG)	EBATLARI(CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)
							YÜKSEKLİK	EN	BOY		
1	1-A	11	X1	25	1	25	12	20	50	0,1	0,012
2		12	X2	27	1	27	15	15	20	0,03	0,0045
3		13	X3	33	1	33	20	20	25	0,05	0,01
4		14	X4	27	1	27	20	20	40	0,08	0,016
5		15	X5	29	1	29	24	24	50	0,12	0,0288
6		16	X6	41	1	41	20	50	50	0,25	0,05
7	2-B	21	X7	29	16	1,8125	24	32	38	0,1216	0,029184
8		22	X8	25	16	1,5625	24	32	38	0,1216	0,029184
9		23	X9	18	24	0,75	24	32	38	0,1216	0,029184
10		24	X10	24	240	0,1	46	50	50	0,25	0,115
11		25	X11	28	200	0,14	46	50	50	0,25	0,115
12		26	X12	26	50	0,52	20	48	50	0,24	0,048
13		27	X13	10	5000	0,002	20	26	44	0,1144	0,02288
14		28	X14	11	5000	0,0022	20	25	50	0,125	0,025
15	3C	31	X15	60	25	2,4	30	50	50	0,25	0,075
16		32	X16	54	2	27	22	32	108	0,3456	0,076032
17		33	X17	60	2	30	20	32	117	0,3744	0,07488
18		34	X18	57	2	28,5	18	50	120	0,6	0,108
19		35	X19	61	2	30,5	22	36	116	0,4176	0,091872
20		36	X20	52	2	26	22	36	116	0,4176	0,091872
21		37	X21	59	2	29,5	28	50	120	0,6	0,168
22		38	X22	332	200	1,66	30	34	68	0,2312	0,06936
23		39	X23	142	20	7,1	104	110	128	1,408	1,46432
24		310	X24	25	4	6,25	36	36	74	0,2664	0,095904
25	4-D	41	X25	362	6	60,33333333	44	66	100	0,66	0,2904
26		42	X26	115	2	57,5	20	46	90	0,414	0,0828
27		43	X27	364,8	8	45,6	34	64	78	0,4992	0,169728
28		45	X28	396,7	8	49,5875	36	74	94	0,6956	0,250416
29		46	X29	386	8	48,25	36	74	96	0,7104	0,255744
30		47	X30	399	8	49,875	36	74	96	0,7104	0,255744

Çizelge 4.2. (Devam)

S.NU.	GRUP	KODU	FORMÜL KODU	KUTU AĞ. (KG.)	BİR KUTU İÇİNDEKİ MIKTAR (ADET)	BİR ADETİN AĞIRLIK (KG)	EBATLARI(CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)
							YÜKSEKLİK	EN	BOY		
31	4-D	48	X31	389,4	8	48,675	36	74	96	0,7104	0,255744
32		49	X32	399	8	49,875	36	74	96	0,7104	0,255744
33		410	X33	405,7	8	50,7125	36	74	96	0,7104	0,255744
34		411	X34	401	6	66,83333333	70	84	146	1,2264	0,85848
35		412	X35	571	6	95,16666667	50	72	100	0,72	0,36
36		413	X36	599	6	99,83333333	58	80	122	0,976	0,56608
37		414	X37	577	6	96,16666667	58	80	116	0,928	0,53824
38	5-E	51	X38	55	4	13,75	20	32	114	0,3648	0,07296
39		52	X39	60	25	2,4	36	42	52	0,2184	0,078624
40		53	X40	60	25	2,4	36	42	52	0,2184	0,078624
41		54	X41	50	16	3,125	20	32	56	0,1792	0,03584
42		55	X42	55	2	27,5	20	30	94	0,282	0,0564
43		56	X43	55	2	27,5	20	30	94	0,282	0,0564
44		57	X44	37	4	9,25	24	26	62	0,1612	0,038688
45		58	X45	53	2	26,5	22	32	96	0,3072	0,067584
46		59	X46	28	6	4,666666667	26	46	80	0,368	0,09568
47		510	X47	33	6	5,5	26	46	80	0,368	0,09568
48		511	X48	37	6	6,166666667	24	42	80	0,336	0,08064
49		512	X49	57	3	19	24	22	160	0,352	0,08448
50	6-F	61	X50	60	2	30	20	34	110	0,374	0,0748
51		62	X51	21	20	1,05	22	34	44	0,1496	0,032912
52		63	X52	28	40	0,7	30	40	55	0,22	0,066
53		64	X53	28	40	0,7	30	40	55	0,22	0,066
54		65	X54	48	40	1,2	22	52	64	0,3328	0,073216
55		66	X55	26	80	0,325	20	40	46	0,184	0,0368
56		67	X56	40	40	1	28	38	58	0,2204	0,061712
57		68	X57	40	40	1	28	38	58	0,2204	0,061712
58		69	X58	24	30	0,8	28	28	48	0,1344	0,037632
59		610	X59	223	30	7,433333333	20	34	48	0,1632	0,03264
60	7-G	611	X60	42	40	1,05	28	28	48	0,1344	0,037632

Çizelge 4.2. (Devam)

S.NU.	GRUP	KODU	FORMÜL KODU	KUTU AĞ. (KG.)	BİR KUTU İÇİNDEKİ MIKTAR (ADET)	BİR ADETİN AĞIRLIK (KG)	EBATLARI(CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)
							YÜKSEKLİK	EN	BOY		
61	7-G	71	X61	55,3	2	27,65	20	30	94	0,282	0,0564
62		72	X62	56,3	2	28,15	20	30	94	0,282	0,0564
63		73	X63	365, 2	8	45,65	34	68	80	0,544	0,18496
64		74	X64	25,9	3	8,633333333	18	36	76	0,2736	0,049248
65		75	X65	25,9	3	8,633333333	18	36	76	0,2736	0,049248
66		76	X66	58	4	14,5	24	32	96	0,3072	0,073728
67		77	X67	51	4	12,75	24	32	96	0,3072	0,073728
68		78	X68	52	2	26	20	32	98	0,3136	0,06272
69		79	X69	23	60	0,383333333	22	48	54	0,2592	0,057024
70		710	X70	39	40	0,975	28	38	58	0,2204	0,061712
71	8-H	81	X71	55,3	2	27,65	30	32	96	0,3072	0,09216
72		82	X72	382, 3	8	47,7875	34	68	82	0,5576	0,189584
73		83	X73	37,9	2	18,95	18	30	82	0,246	0,04428
74		84	X74	36,8	2	18,4	24	32	96	0,3072	0,073728
75		85	X75	24	3	8	36	42	74	0,3108	0,111888
76	9-J	91	X76	12	10	1,2	10	50	100	0,5	0,05
77	10-S	101	X77	22,5	2500	0,009	20	32	36	0,1152	0,02304
78		102	X78	20	800	0,025	22	26	66	0,1716	0,037752
79		103	X79	10	536	0,018656716	20	30	46	0,138	0,0276
80		104	X80	23	150	0,153333333	28	28	38	0,1064	0,029792
81		105	X81	17	125	0,136	28	28	40	0,112	0,03136
82		106	X82	22	200	0,11	28	32	54	0,1728	0,048384
83		107	X83	37	60	0,616666667	26	32	70	0,224	0,05824
84		108	X84	50	1500	0,033333333	22	26	36	0,0936	0,020592
85		109	X85	38	1040	0,036538462	28	34	38	0,1292	0,036176
86		1010	X86	52	1500	0,034666667	24	38	48	0,1824	0,043776
87		1011	X87	38	3125	0,01216	20	30	46	0,138	0,0276
88		1012	X88	44	3125	0,01408	20	30	50	0,15	0,03
89		1013	X89	43	1800	0,023888889	26	26	32	0,0832	0,021632

**Çizelge 4.3. Yığın Adedi Bilgileri**

S.NU.	GRUP	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	BİR YIĞINDAKİ KATMAN (2X2,5X4 M) SAYISI (ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI)			BİR YIĞINA (2*2,5*4 M) KONABİLEN KUTU SAYISI			YIĞIN AĞIRLIĞI (TON)	
		KUTU AĞ.(KG.)	YÜKSEKLİK	EN		BOY	M <sup>2</sup> YE 2 TON KISITINA GÖRE	YÜKSEKLİK KISITIN A GÖRE	SONUÇ (TAMSAYI )	YIĞININ BİRİNCİ SIRASINDAKİ KUTU SAYISI			SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)
										GERÇEK DEĞER	SONUÇ (TAMSAYI YUVARLAMA)		
1	1	25	12	20	50	0,1	8	33,33	8	50	50	400	10
2		27	15	15	20	0,03	2,22	26,66	2	166,66	166	332	8,96
3		33	20	20	25	0,05	3,03	20	3	100	100	300	9,9
4		27	20	20	40	0,08	5,92	20	5	62,5	62	310	8,37
5		29	24	24	50	0,12	8,27	16,66	8	41,66	41	328	9,51
6		41	20	50	50	0,25	12,19	20	12	20	20	240	9,84
7	2	29	24	32	38	0,12	8,38	16,66	8	41,11	41	328	9,51
8		25	24	32	38	0,1216	9,728	16,66	9	41,11	41	369	9,22
9		18	24	32	38	0,12	13,51	16,66	13	41,11	41	533	9,59
10		24	46	50	50	0,25	20,83	8,69	8	20	20	160	3,84
11		28	46	50	50	0,25	17,85	8,69	8	20	20	160	4,48
12		26	20	48	50	0,24	18,46	20	18	20,83	20	360	9,36
13		10	20	26	44	0,1144	22,88	20	20	43,70	43	860	8,6
14		11	20	25	50	0,125	22,72	20	20	40	40	800	8,8
15	3	60	30	50	50	0,25	8,33	13,33	8	20	20	160	9,6
16		54	22	32	108	0,3456	12,8	18,18	12	14,4	14	168	9,072
17		60	20	32	117	0,37	12,48	20	12	13,35	13	156	9,36
18		57	18	50	120	0,6	21,05	22,22	21	8,33	8	168	9,57
19		61	22	36	116	0,417	13,69	18,18	13	11,97	11	143	8,72
20		52	22	36	116	0,417	16,06	18,18	16	11,97	11	176	9,15
21		59	28	50	120	0,60	20,34	14,29	14,00	8,33	8	112	6,61
22		332	30	34	68	0,23	1,39	13,33	1,00	21,63	21	21	6,97
23		142	104	110	128	1,41	19,83	3,85	3,00	3,55	3	9	1,28
24		25	36	36	74	0,27	21,31	11,11	11,00	18,77	18	198	4,95
25	4	362	44	66	100	0,66	3,65	9,09	3,00	7,58	7	21	7,60
26		115	20	46	90	0,41	7,20	20,00	7,00	12,08	12	84	9,66
27		365	34	64	78	0,50	2,74	11,76	2,00	10,02	10	20	7,30
28		397	36	74	94	0,70	3,51	11,11	3,00	7,19	7	21	8,33
29		386	36	74	96	0,71	3,68	11,11	3,00	7,04	7	21	8,11
30		399	36	74	96	0,71	3,56	11,11	3,00	7,04	7	21	8,38

**Çizelge 4.3. (Devam)**

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ.(KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	BİR YIĞINDAKİ KATMAN (2X2,5X4 M) SAYISI (ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI)			BİR YIĞINA (2*2,5*4 M) KONABİLEN KUTU SAYISI			YIĞIN AĞIRLIĞI (TON)
			YÜKSEKLİK	EN	BOY		M <sup>2</sup> YE 2 TON KISITINA GÖRE	YÜKSEKLİK KISITIN A GÖRE	SONUÇ (TAMSAYI )	YIĞININ BİRİNCİ SIRASINDAKİ KUTU SAYISI		SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)	
										GERÇEK DEĞER	SONUÇ (TAMSAYI YUVARLAMA)		
31	4	389	36	74	96	0,71	3,65	11,11	3,00	7,04	7	21	8,18
32		399	36	74	96	0,71	3,56	11,11	3,00	7,04	7	21	8,38
33		406	36	74	96	0,71	3,50	11,11	3,00	7,04	7	21	8,52
34		401	70	84	146	1,23	6,12	5,71	5,00	4,08	4	20	8,02
35		571	50	72	100	0,72	2,52	8,00	2,00	6,94	6	12	6,85
36		599	58	80	122	0,98	3,26	6,90	3,00	5,12	5	15	8,99
37		577	58	80	116	0,93	3,22	6,90	3,00	5,39	5	15	8,66
38	5	55	20	32	114	0,36	13,27	20,00	3,00	13,71	13	39	2,15
39		60	36	42	52	0,22	7,28	11,11	7	22,89	22	154	9,24
40		60	36	42	52	0,22	7,28	11,11	7	22,89	22	154	9,24
41		50	20	32	56	0,18	7,17	20	7	27,90	27	189	9,45
42		55	20	30	94	0,28	10,25	20	10	17,73	17	170	9,35
43		55	20	30	94	0,28	10,25	20	10	17,73	17	170	9,35
44		37	24	26	62	0,16	8,71	16,67	8	31,02	31	248	9,18
45		53	22	32	96	0,31	11,59	18,18	11,00	16,28	16	176	9,33
46		28	26	46	80	0,37	26,29	15,38	15	13,59	13	195	5,00
46		28	26	46	80	0,37	26,29	15,38	15	13,59	13	195	5,00
47		33	26	46	80	0,37	22,30	15,38	10	13,59	13	195	6,44
48		37	24	42	80	0,34	18,16	16,67	16	14,88	14	224	8,29
49		57	24	22	160	0,35	12,35	16,67	12	14,20	14	168	9,58
50	6	60	20	34	110	0,37	12,47	20,00	12	13,37	13	156	9,36
51		21	22	34	44	0,15	14,25	18,18	14	33,42	33	462	9,70
52		28	30	40	55	0,22	15,71	13,33	13	22,73	22	286	8,01
53		28	30	40	55	0,22	15,71	13,33	13	22,73	22	286	8,01
54		48	22	52	64	0,33	13,87	18,18	13	15,02	15	195	9,36
55		26	20	40	46	0,18	14,15	20,00	14	27,17	27	378	9,83
56		40	28	38	58	0,22	11,02	14,29	11	22,69	22	242	9,68
57		40	28	38	58	0,22	11,02	14,29	11	22,69	22	242	9,68
58		24	28	28	48	0,13	11,20	14,29	11	37,20	37	407	9,77
59		223	20	34	48	0,16	1,46	20,00	1	30,64	30	30	6,69
60		42	28	28	48	0,13	6,40	14,29	6	37,20	37	222	9,32

**Çizelge 4.3. (Devam)**

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ.(KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	BİR YIĞINDAKİ KATMAN (2X2,5X4 M) SAYISI (ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI)			BİR YIĞINA (2*2,5*4 M) KONABİLEN KUTU SAYISI			YIĞIN AĞIRLIĞI (TON)
			YÜKSEKLİK	EN	BOY		M <sup>2</sup> YE 2 TON KISITINA GÖRE	YÜKSEKLİK KISITIN A GÖRE	SONUÇ (TAMSAYI )	YIĞININ BİRİNCİ SIRASINDAKİ KUTU SAYISI		SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)	
										GERÇEK DEĞER	SONUÇ (TAMSAYI YUVARLAMA)		
61	7	55	20	30	94	0,28	10,20	20,00	10	17,73	17	170	9,40
62		56	20	30	94	0,28	10,02	20,00	10	17,73	17	170	9,57
63		365	34	68	80	0,54	2,98	11,76	2	9,19	9	18	6,57
64		26	18	36	76	0,27	21,13	22,22	21,00	18,27	18	378	9,79
65		6	18	36	76	0,27	21,13	22,22	21	18,27	18	378	9,79
66		58	24	32	96	0,31	10,59	16,67	10	16,28	16	160	9,28
67		51	24	32	96	0,31	12,05	16,67	12	16,28	16	192	9,79
68		52	20	32	98	0,31	12,06	20,00	12	15,94	15	180	9,36
69		23	22	48	54	0,26	22,54	18,18	18	19,29	19	342	7,87
70		39	28	38	58	0,22	11,30	14,29	11	22,69	22	242	9,44
71	8	55	30	32	96	0,31	11,11	13,33	11	16,28	16	176	9,73
72		382	34	68	82	0,56	2,92	11,76	2,00	8,97	8	16	6,12
73		38	18	30	82	0,25	12,98	22,22	12	20,33	20	240	9,10
74		37	24	32	96	0,31	16,70	16,67	16	16,28	16	256	9,42
75		24	36	42	74	0,31	25,90	11,11	11	16,09	16	176	4,22
76	9	12	10	50	100	0,50	83,33	40,00	40	10,00	10	400	4,80
77	10	23	20	32	36	0,12	10,24	20,00	10	43,40	43	430	9,68
78		20	22	26	66	0,17	17,16	18,18	17	29,14	29	493	9,86
79		10	20	30	46	0,14	27,60	20,00	20	36,23	36	720	7,20
80		23	28	28	38	0,11	9,25	14,29	9	46,99	46	414	9,52
81		17	28	28	40	0,11	13,18	14,29	13	44,64	44	572	9,72
82		22	28	32	54	0,17	15,71	14,29	14	28,94	28	392	8,62
83		37	26	32	70	0,22	12,11	15,38	12	22,32	22	264	9,77
84		50	22	26	36	0,09	3,74	18,18	3	53,42	53	159	7,95
85		38	28	34	38	0,13	6,80	14,29	6	38,70	38	228	8,66
86		52	24	38	48	0,18	7,02	16,67	7	27,41	27	189	9,83
87		38	20	30	46	0,14	7,26	20,00	7	36,23	36	252	9,58
88		44	20	30	50	0,15	6,82	20,00	6	33,33	33	198	8,71
89		43	26	26	32	0,08	3,87	15,38	3	60,10	60	180	7,74

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MİN. İHTİYAÇ MİKTARI(MİNİM)	MİNİM HACMİ	MİNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKS. İHTİYAÇ MİKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	SONUÇ(TAMSAYI KISITI)	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
1	1	25	12	20	50	0,1	0,012	8	33,3	8	50	50	400	0,121	182,000	400,000	48,520	72800,000	1600,000	194,080	291200,000
2		27	15	15	20	0,03	0,005	2,22	26,67	2	167	166	332								
3		33	20	20	25	0,05	0,01	3,03	20	3	100	100	300								
4		27	20	20	40	0,08	0,016	5,92	20	5	62,5	62	310								
5		29	24	24	50	0,12	0,029	8,27	16,67	8	41,7	41	328								
6		41	20	50	50	0,25	0,05	12,1	20	12	20	20	240								
7	2	29	24	32	38	0,12	0,029	8,38	16,67	8	41,1	41	328	0,388	160,000	860,000	334,052	137600,000	3440,000	1336,206	550400,000
8		25	24	32	38	0,12	0,029	9,728	16,67	9	41,1	41	369								
9		18	24	32	38	0,12	0,029	13,511	16,67	13	41,1	41	533								
10		24	46	50	50	0,25	0,115	20,833	8,70	8	20	20	160								
11		28	46	50	50	0,25	0,115	17,8	8,70	8	20	20	160								
12		26	20	48	50	0,24	0,048	18,4	20	18	20,8	20	360								
13		10	20	26	44	0,11	0,023	22,8	20	20	43,7	43	860								
14		11	20	25	50	0,13	0,025	22,727	20	20	40	40	800								
15	3	60	30	50	50	0,25	0,075	8,3333	13,33	8	20	20	160	2,35	902	168	388,90	151536	672	1555,84	606144
16		54	22	32	108	0,35	0,076	12,8	18,18	12	14,5	14	168								
17		60	20	32	117	0,37	0,075	12,48	20,00	12	13,4	13	156								

Çizelge 4.4. Aile Malzeme Gruplarına Ait Bilgiler

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMI	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MİN.İHTİYAÇ MİKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKSİMUM İHTİYAÇ MİKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
18	3	57	18	50	120	0,6	0,108	21,053	22,22	21	8,33	8	168	2,35	902	168	388,90	151536	672	1555,84	606144
19		61	22	36	116	0,42	0,092	13,692	18,18	13	12	11	143								
20		52	22	36	116	0,42	0,092	16,062	18,18	16	12	11	176								
21		59	28	50	120	0,6	0,168	20,339	14,29	14	8,33	8	112								
22		332	30	34	68	0,23	0,069	1,3928	13,33	1	21,6	21	21								
23		142	104	110	128	1,41	1,464	19,831	3,85	3	3,55	3	9								
24		25	36	36	74	0,27	0,096	21,312	11,11	11	18,8	18	198								
25		362	44	66	100	0,66	0,29	3,6464	9,09	3	7,58	7	21								
26	4	115	20	46	90	0,41	0,083	7,2	20,00	7	12,1	12	84	4,395	5365,600	84,000	369,169	450710,400	420,000	1845,843	2253552,000
27		365	34	64	78	0,5	0,17	2,7368	11,76	2	10	10	20								
28		397	36	74	94	0,7	0,25	3,5069	11,11	3	7,19	7	21								
29		386	36	74	96	0,71	0,256	3,6808	11,11	3	7,04	7	21								
30		399	36	74	96	0,71	0,256	3,5609	11,11	3	7,04	7	21								
31		389	36	74	96	0,71	0,256	3,6487	11,11	3	7,04	7	21								



S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MIN.İHTİYAÇ MIKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKSİMUM İHTİYAÇ MIKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	SONUÇ( TAMSAYI KISITI)	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
32	4	399	36	74	96	0,71	0,256	3,5609	11,11	3	7,04	7	21	4,395	5365,600	84,000	369,169	450710,400	420,000	1845,843	2253552,000
33		406	36	74	96	0,71	0,256	3,5021	11,11	3	7,04	7	21								
34		401	70	84	146	1,23	0,858	6,1167	5,71	5	4,08	4	20								
35		571	50	72	100	0,72	0,36	2,5219	8,00	2	6,94	6	12								
36		599	58	80	122	0,98	0,566	3,2588	6,90	3	5,12	5	15								
37		577	58	80	116	0,93	0,538	3,2166	6,90	3	5,39	5	15								
38		5	55	20	32	114	0,36	0,073	13,265	20,00	3	13,7	13								
39	60		36	42	52	0,22	0,079	7,28	11,11	7	22,9	22	154								
40	60		36	42	52	0,22	0,079	7,28	11,11	7	22,9	22	154								
41	50		20	32	56	0,18	0,036	7,168	20,00	7	27,9	27	189								
42	55		20	30	94	0,28	0,056	10,255	20,00	10	17,7	17	170								
43	55		20	30	94	0,28	0,056	10,255	20,00	10	17,7	17	170								
45	53		22	32	96	0,31	0,068	11,592	18,18	11	16,3	16	176								
46	28		26	46	80	0,37	0,096	26,286	15,38	15	13,6	13	195								
47	33		26	46	80	0,37	0,096	22,303	15,38	15	13,6	13	195								
48	37		24	42	80	0,34	0,081	18,162	16,67	16	14,9	14	224								
45	53		22	32	96	0,31	0,068	11,592	18,18	11	16,3	16	176								

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MIN.İHTİYAÇ MIKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKS.İHTİYAÇ MIKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
46	5	28	26	46	80	0,37	0,096	26,286	15,38	15	13,6	13	195	0,842	580	248	208,717	143840	992	834,867	575360
47		33	26	46	80	0,37	0,096	22,303	15,38	15	13,6	13	195								
48		37	24	42	80	0,34	0,081	18,162	16,67	16	14,9	14	224								
49		57	24	22	160	0,35	0,084	12,351	16,67	12	14,2	14	168								
50	6	60	20	34	110	0,37	0,075	12,467	20,00	12	13,4	13	156	0,581056	580	462	268,447872	267960	1848	1073,791488	1071840
51		21	22	34	44	0,15	0,033	14,248	18,18	14	33,4	33	462								
52		28	30	40	55	0,22	0,066	15,714	13,33	13	22,7	22	286								
53		28	30	40	55	0,22	0,066	15,714	13,33	13	22,7	22	286								
54		48	22	52	64	0,33	0,073	13,867	18,18	13	15	15	195								
55		26	20	40	46	0,18	0,037	14,154	20,00	14	27,2	27	378								
56		40	28	38	58	0,22	0,062	11,02	14,29	11	22,7	22	242								
57		40	28	38	58	0,22	0,062	11,02	14,29	11	22,7	22	242								
58		24	28	28	48	0,13	0,038	11,2	14,29	11	37,2	37	407								
59		223	20	34	48	0,16	0,033	1,4637	20,00	1	30,6	30	30								
60		42	28	28	48	0,13	0,038	6,4	14,29	6	37,2	37	222								

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MİN.İHTİYAÇ MİKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKS.İHTİYAÇ MİKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	DEĞER	SONUÇ(TAMSAYI KISITI)								
61	7	55,3	20	30	94	0,28	0,056	10,199	20,00	10	17,7	17	170	0,725	751,600	378,000	274,114	284104,800	1512,000	1096,454	1136419,200
62		56,3	20	30	94	0,28	0,056	10,018	20,00	10	17,7	17	170								
63		365	34	68	80	0,54	0,185	2,9792	11,76	2	9,19	9	18								
64		25,9	18	36	76	0,27	0,049	21,127	22,22	21	18,3	18	378								
65		25,9	18	36	76	0,27	0,049	21,127	22,22	21	18,3	18	378								
66		58	24	32	96	0,31	0,074	10,593	16,67	10	16,3	16	160								
67		51	24	32	96	0,31	0,074	12,047	16,67	12	16,3	16	192								
68		52	20	32	98	0,31	0,063	12,062	20,00	12	15,9	15	180								
69		23	22	48	54	0,26	0,057	22,539	18,18	18	19,3	19	342								
70		39	28	38	58	0,22	0,062	11,303	14,29	11	22,7	22	242								
71	8	55,3	30	32	96	0,31	0,092	11,11	13,33	11	16,3	16	176	0,512	536,3	240	122,794	128712	960	491,174	514848
72		382	34	68	82	0,56	0,19	2,9171	11,76	2	8,97	8	16								
73		37,9	18	30	82	0,25	0,044	12,982	22,22	12	20,3	20	240								
74		36,8	24	32	96	0,31	0,074	16,696	16,67	16	16,3	16	256								
75		24	36	42	74	0,31	0,112	25,9	11,11	11	16,1	16	176								
76	9	12	10	50	100	0,5	0,05	83,333	40,00	40	10	10	400	0,05	12	400	20	4800	1600	130	19200

Çizelge 4.4. (Devam)

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MİN.İHTİYAÇ MİKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKS.İHTİYAÇ MİKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	DEĞER	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
77	10	22,5	20	32	36	0,12	0,023	10,24	20,00	10	43,4	43	430	0,436	416,5	720	313,88	299880	2880	1255,519	1199520
78		20	22	26	66	0,17	0,038	17,16	18,18	17	29,1	29	493								
79		10	20	30	46	0,14	0,028	27,6	20,00	20	36,2	36	720								
80		23	28	28	38	0,11	0,03	9,2522	14,29	9	47	46	414								
81		17	28	28	40	0,11	0,031	13,176	14,29	13	44,6	44	572								
82		22	28	32	54	0,17	0,048	15,709	14,29	14	28,9	28	392								
83		37	26	32	70	0,22	0,058	12,108	15,38	12	22,3	22	264								
84		50	22	26	36	0,09	0,021	3,744	18,18	3	53,4	53	159								
85		38	28	34	38	0,13	0,036	6,8	14,29	6	38,7	38	228								
86		52	24	38	48	0,18	0,044	7,0154	16,67	7	27,4	27	189								
87		38	20	30	46	0,14	0,028	7,2632	20,00	7	36,2	36	252								
88		44	20	30	50	0,15	0,03	6,8182	20,00	6	33,3	33	198								
89		43	26	26	32	0,08	0,022	3,8698	15,38	3	60,1	60	180								

Çizelge 4.4. (Devam)

Çalışmamızdaki modelde 3 farklı karar değişkeni kullanılmıştır. Birinci karar değişkenimiz “bir depoya herhangi bir aile malzeme grubunun atanıp atanmaması”, ikinci karar değişkenimiz “deponun açılıp açılmayacağı” durumu ile “ depoya atanan aile malzeme grubu miktarı”dır.

Modelde kullandığımız parametreler; Depolar dizi (string) olarak, aile gruplarına ve tam devir(ciro) esasına göre belirlenmiş malzeme grupları tamsayı (integer) olarak, depo hacimleri tamsayı (integer) olarak, depolama katsayıları float olarak, deponun taşıyabileceği maksimum ağırlık tamsayı (integer) olarak, aile malzeme grubu ağırlığı float olarak, aile malzeme grubu hacmi float olarak, minimum ihtiyaç miktarı tamsayı (integer) olarak, maksimum ihtiyaç miktarı tamsayı (integer) olarak modelde ifade edilmiştir. Model EK 1’de sunulmuştur.

Çalışmamızda kullandığımız modelin karar değişkenleri, parametreleri ve kısıtları ile matematiksel olarak formüle edilmiş hali aşağıda belirtilmiştir:

#### 4.3.1. Karar Değişkenleri

**$X_{sw}$**  : w’nci depoya s’inci aile malzeme grubunun atanıp atanmamasını ifade etmek maksadıyla oluşturulan ikili (binary,0/1 ) bir karar değişkenidir.

$X_{sw} = 0$  : w’nci depoya s’inci aile malzeme grubunun atanmaması,

$X_{sw} = 1$  : w’nci depoya s’inci aile malzeme grubunun atanması durumunda.

**$Y_{sw}$**  : w’nci depoya atanan s’inci aile malzeme grubu miktarını ifade etmek maksadıyla oluşturulan tamsayı (integer) bir karar değişkenidir.

**$O_w$**  : w’nci deponun açılıp açılmayacağını ifade etmek maksadıyla oluşturulan ikili (binary,0/1 ) bir karar değişkenidir.

$O_w = 1$  : w’nci deponun açılması durumunda,

$O_w = 0$  : w’nci deponun açılmaması durumunda.

#### 4.3.2. Parametreler:

**Depolar:** 20 adet depo modelde dizi (string) olarak 'w' harfiyle simgelenmiştir.

**Aile Malzeme Grupları:** 10 adet aile malzeme grubu tamsayı (integer) 's' harfiyle simgelenmiştir.

**Depo Hacimleri:** Depoların hacimleri modelde tamsayı (integer) olarak depohacmi(w) olarak ifade edilmiştir.

**Depolama Katsayısı:** Her bir aile malzeme grubu ve her bir deponun karşılıklı eşleştirilmesi oluşturulan depolama katsayısı ikili matris şeklinde oluşturulmuş ve modelde float olarak depolamakatsayısı(s)(w) olarak ifade edilmiştir.

**Deponun Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık:** Her bir deponun taşıyabileceği maksimum ağırlı modelde tamsayı (integer) olarak deponunabilecigimaxagirlik(w) olarak ifade edilmiştir.

**Aile Malzeme Grubu Ağırlığı(mga):** Her bir malzeme grubunun ağırlığı modelde float olarak ailemalzemegrubuagirligi[s] olarak ifade edilmiştir.

**Aile Malzeme Grubu Hacmi:** Her bir malzeme grubunun hacmi modelde float olarak ailemalzemegrubuhacmi[s] olarak ifade edilmiştir.

**Minimum İhtiyaç Miktarı:** Her bir malzeme grubunun minimum ihtiyaç miktarı modelde tamsayı(integer) olarak mnim[s] olarak ifade edilmiştir.

**Elde Bulundurulabilecek Maksimum İhtiyaç Miktarı:** Her bir malzeme grubunun elde bulundurulabilecek maksimum ihtiyaç miktarı modelde tamsayı (integer) olarak mim[s] olarak ifade edilmiştir.

#### 4.3.3. Amaç Fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu kısıtlar dâhilinde en fazla miktarda depolama katsayısı en yüksek malzeme grubunun en yakın depoya ve atanmasını sağlamaktadır.

$$MaxZ = \sum_{s=1}^{10} \sum_{w=1}^{20} Y_{sw} * C_{sw}; \quad (4.1)$$

#### 4.3.4. Kısıtlar:

**Depo Yerleşim Kısıdı-1** (Herhangi Bir Malzeme Grubunun En Fazla 3 Farklı Depoya Farklı Atanması Kısıdı): Her bir malzeme grubunun mutlaka bir depoya atanmasını ancak söz konusu atamanın en fazla 3 farklı depoya olmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.

$$\sum_{w=1}^{20} X_{sw} \leq 3, s; \quad (4.2)$$

**Depo Yerleşim Kısıdı-2** (Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Malzeme Grubunun Atanması Kısıdı) Deponun açılması halinde her bir depoya mutlaka en fazla bir malzeme grubunun atanmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.

$$\sum_{s=1}^{10} X_{sw} \leq 3, w; \quad (4.3)$$

**Deponun Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık Kısıdı:** Deponun açılması halinde her bir depoya atanan toplam aile malzeme grubu ağırlığının taşıyabileceği maksimum ağırlığı sınırını aşmamasını sağlayan kısıttır [13].

$$\sum_s^{10} Y_{sw} * ailemalzemegrubuagirligi[s] \leq deponunlabilecegi \max \ agirlik[s], w; \quad (4.4)$$

**Depo Hacim Kısıdı:** Deponun açılması halinde her bir depoya atanan toplam aile malzeme grubu hacminin, deponun alabileceği maksimum hacim sınırını aşmamasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_s^{10} Y_{sw} * malzemegrubuhacmi[s] \leq depohacmi[s], w; \quad (4.5)$$

**Minimum İhtiyaç Miktarı(mnim):** Elde bulundurulması istenen her bir malzeme grubunun minimum ihtiyaç miktarı depolara atanmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_s^{10} Y_{sw} \geq mnim[s], [w]; \quad (4.6)$$

**Aile malzeme grubu Elde Bulundurulabilecek Maksimum İhtiyaç Miktarı Kısıdı(mim):** Elde bulundurulması istenen her bir malzeme grubunun en fazla maksimum ihtiyaç miktarı kadar depolara atanmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_{s=1}^{10} Y_{sw} \leq mim[s], [w] \quad (4.7)$$

**Depoda Yalnız Depolanacak Aile Malzeme Grubu Kısıdı:** 1 no.lu malzeme gruplarının herhangi bir depoya atanması durumunda yalnız olarak atanmalarını sağlayan kısıttır.

$$X_{1w} + X_{1/sw} = 1, ; \quad (4.8)$$

**Depoda Birlikte Depolanmayacak Malzeme Grupları Kısıdı:** Bazı malzeme gruplarının herhangi bir depoya atanması durumunda, birlikte depolanmaması gereken diğer bazı malzeme grupları ile birlikte aynı depoya atanmasını engelleyen kısıtlardır. 8 ve 9 nu.lu malzeme grupları sadece 10 nu.lu aile malzeme grubu ile birlikte depolanmaktadır; diğerleri ile birlikte depolanmamaktadır.

$$X_{2w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.9)$$

$$X_{3w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.10)$$

$$X_{4w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.11)$$

$$X_{5w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.12)$$

$$X_{6w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.13)$$

$$X_{7w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.14)$$

**Big M Kısıdı:** Depolara atanan malzeme miktarının toplanmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_{s=1}^{10} \sum_{w=1}^{20} Y_{sw} \leq 10.000 * X_{sw}; \quad (4.15)$$

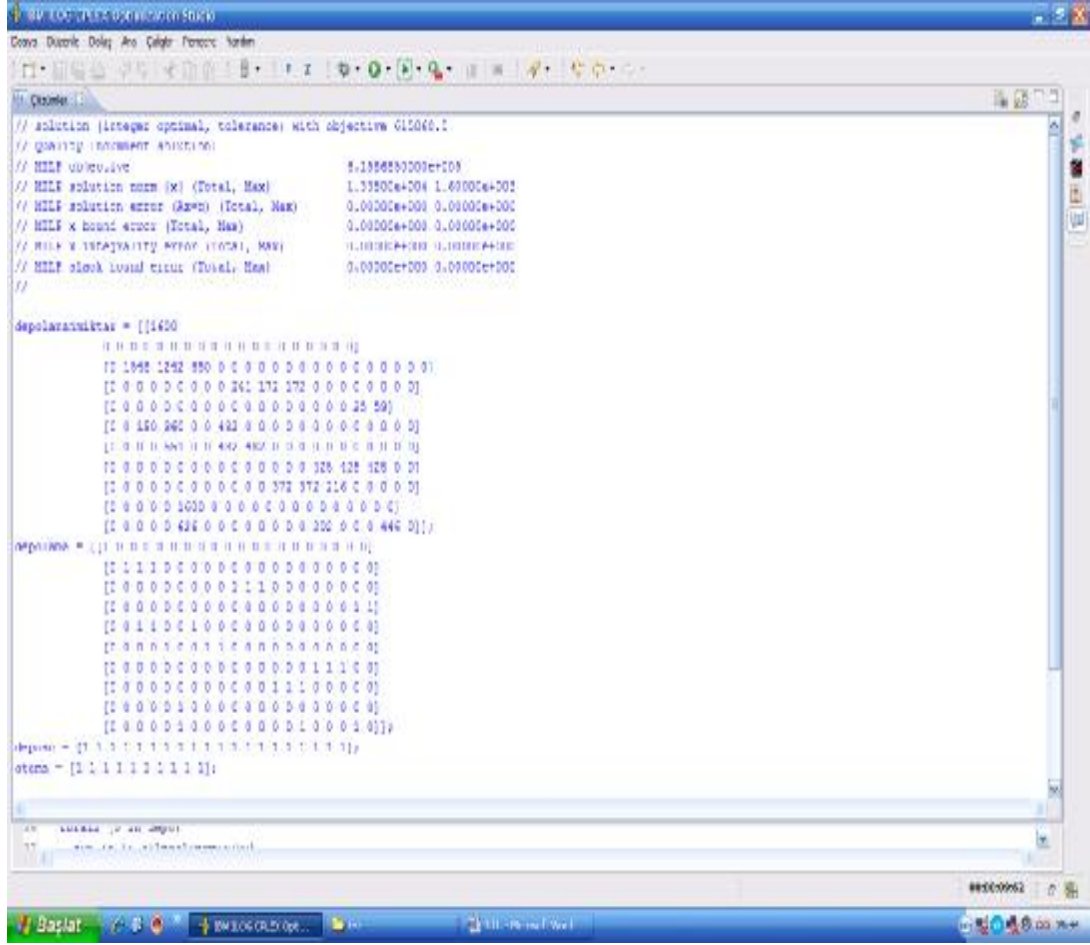
**Bir Depoya en Fazla Aynı Cins Malzeme Grubundan 20 Adet Atanması:** Depolara atanan malzeme miktarının alt sınırını belirleyen kısıttır; depoya atama olması durumunda az 20 aile malzeme grubu atanmalıdır.

$$\sum_{s=1}^{10} \sum_{w=1}^{20} Y_{sw} \geq 20 * X_{sw}; \quad (4.16)$$

#### 4.3.5. Modelin Çözümü

Modelin; çözümlenmesinde eniyileme programı olan OPL kullanılmıştır. Sonuçlara ait ekran çıktısı Şekil 4.1'de görülmektedir.





Şekil 4.1 Optimal Tamsayı Çözüm Ekranı.

Şekil 4.1’deki çözüm çıktısı incelendiğinde;

- Bütün depolara atama yapıldığı, atıl kalan herhangi bir depo bulunmadığı,
- Bütün aile malzeme gruplarının depolara atamalarının yapıldığı (Çizelge 4.1’de),
- Bütün aile malzeme gruplarının en az minimum ihtiyaç miktarı kadar veya daha fazla atamasının yapıldığı,
- Sonuçların modelde ifade edilen bütün kısıtları karşıladığı,
- Depolama katsayısına göre 1, 2, 5 ve 6’ncı aile malzeme gruplarının ilk depolara atandığı,
- Ancak kısıtların sonucu olarak 3 no.lu aile malzeme grubunun 10, 11 ve 12’nci depoya ve 4’üncü aile malzeme gruplarının ise 19 ve 20’nci depoya atandığı,

- En fazla miktarda atamanın 2 no.lu aile malzeme grubundan olduğu, no. lu aile malzeme grubunun, minimum ihtiyaç miktarı kadar atandığı,
- 1, 2, 5, 8 ve 9 no.lu aile malzeme grubunun, maksimum ihtiyaç miktarı kadar atandığı,
- Herhangi bir depoya en fazla 2 farklı malzeme grubunun atandığı,
- Herhangi bir malzeme grubunun en fazla 3 farklı depoya atandığı, söz konusu malzeme gruplarının 2, 3, 5, 6, 7,8 ve 10 no.lu aile malzeme grubu olduğu,
- Depolama katsayısı ile atanan miktarlar arasında doğrusal bir ilişki olmadığı, duruma örnek olarak yine 4 ve 3 nu. lu aile malzeme gruplarının verebileceği tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Depolara Atanan Aile Malzeme Grup Miktarları.

Aile Malz.Gr. Depolar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Depo1	1600	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Depo2	–	1548	–	–	–	–	–	–	–	–
Depo3	–	1242	–	–	150	–	–	–	–	–
Depo4	–	650	–	–	360	–	–	–	–	–
Depo5	–	–	–	–	–	551	–	–	–	–
Depo6	–	–	–	–	–	–	–	–	1600	626
Depo7	–	–	–	–	482	–	–	–	–	–
Depo8	–	–	–	–	–	482	–	–	–	–
Depo9	–	–	–	–	–	482	–	–	–	–
Depo10	–	–	241	–	–	–	–	–	–	–
Depo11	–	–	172	–	–	–	–	–	–	–
Depo12	–	–	172	–	–	–	–	–	–	–
Depo13	–	–	–	–	–	–	–	372	–	–
Depo14	–	–	–	–	–	–	–	372	–	–
Depo15	–	–	–	–	–	–	–	216	–	202
Depo16	–	–	–	–	–	–	425	–	–	–
Depo17	–	–	–	–	–	–	425	–	–	–
Depo18	–	–	–	–	–	–	425	–	–	–
Depo19	–	–	–	25	–	–	–	–	–	446
Depo20	–	–	–	59	–	–	–	–	–	–

#### 4.4. Duyarlılık Analizi

Modelimizde çeşitli kısıtlar üzerinde yapılan değişikliklerin optimal çözüme olan etkisinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Eğer orijinal modelin parametrelerinde bazı değişiklikler meydana gelirse optimal çözüm değişecek midir? Bu maksatla depo sayısı, depo hacmi, depo yerleşim ve depoya atanacak en az aile grubu malzeme miktarları kısıtlarında 11 farklı değişiklik yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Modelimizde 20 adet olan depo sayısı 15 olarak değiştirilmiş ve model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 2’de gösterilmiştir. Çözümde 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir(Çizelge 4.2.).

Daha sonra depo sayısı sırayla 16, 17, 18 ve 19 olarak değiştirilerek model çalıştırılmış ancak her durumda da 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir. 19 adet depoya ait çözüm EK 3’de gösterilmiştir. Mevcut kısıtlarda herhangi bir değişiklik olmaması halinde depo sayılarında herhangi değişikliğin yapılamayacağı yani depolarda azaltmanın/ tasarrufun söz konusu olmayacağı değerlendirilmiştir(Çizelge 4.3.).

**Çizelge 4.2.** 1’inci Analiz: Depo Sayısının 15’e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonksiyonun Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen
<b>Optimal Çözüm</b>	10 büyük, 5 orta, 5 küçük tip	7,585440	-	-
<b>Depo Sayısı</b>	15	6,073545	4 no.lu malz.	-
<b>Fark</b>	-5	<b>1,511895</b>	-1	-

**Çizelge 4.3.** 2'inci Analiz: Depo Sayısının 19'e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonksiyonunun Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen
<b>Optimal Çözüm</b>	9 büyük, 5 orta , 5 küçük	7,585440	-	-
<b>Depo Sayısı</b>	19	<b>6,158090</b>	4 no.lu mal.	-
<b>Fark</b>	-1	<b>1,427350</b>	-1	-

Modelimizde bulunan 10 adet büyük tip deponun (BTD) (640 m3) hepsi; orta tip olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 4'de gösterilmiştir. Çözümde 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.).

**Çizelge 4.4.** 3'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonk.Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen
<b>Optimal Çözüm</b>	10 büyük, 5 orta, 5 küçük tip	7,585440	-	-
<b>BTD, OTD'ya Dönüştürülmesi</b>	<b>15 orta tip</b> , 5 küçük tip	<b>5,978200</b>	4 no.lu malz.	-
<b>Fark</b>	Tip değişimi	<b>1,607240</b>	-	-

Daha sonra modeldeki 10 adet büyük tip deponun (640 m3) sadece ilk 5 adeti; orta tip olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 5'de gösterilmiştir ancak her durumda da amaç fonksiyonunda bir azalmanın olduğu, 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı ve 8 ile 10 nu.lı aile malzeme gruplarının atanan miktarlarında bir miktar azalma olduğu tespit edilmiştir. Mevcut kısıtlarda herhangi bir değişiklik olmaması halinde depo hacimlerinde herhangi değişikliğin yapılamayacağı yani depo hacimlerinde tasarrufun söz konusu olmayacağı değerlendirilmiştir(Çizelge 4.5.). Depo sayısı kısıtında yapılan değişikliklerin amaç fonksiyonu ve malzeme grupları değişkenleri üzerindeki etkileri Çizelge 4.2., Çizelge 4.3., Çizelge 4.4., ve Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5.** 4'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonk. Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen Grup
<b>Optimal Çözüm</b>	10 büyük, 5 orta, 5 küçük tip	7,585440	-	-
<b>5 BTD, OTD'ya Dönüştürülmesi</b>	<b>5 büyük, 10 orta, 5 küçük</b>	<b>5,972009</b>	4 no.lu malz.	8 ve 10 no
Fark	Tip değişimi	<b>1,613431</b>	-1	2 no.lu

Modelimizde bulunan 5 adet orta tip (560 m<sup>3</sup>) deponun hepsi; büyük tip (640 m<sup>3</sup>) olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır. Amaç fonksiyonunda bir artış olduğu; 3, 5, 7 nu.lı aile malzeme grupları miktarlarında azalma, 4, 6 ve 10 aile malzeme grupları miktarlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Depo hacimlerinin arttırılmasının amaç fonksiyonunu arttıracığı değerlendirilmiştir.

Modelimizde her depoda en fazla 3 çeşit aile grubu malzeme bulunması kısıdı bulunmaktadır. Söz konusu kısıd;  $\leq 5$  olarak değiştirilmiş ve model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 6'da gösterilmiştir. Çözümde bazı aile grubu malzeme atama miktarının ve amaç fonksiyonunda bir artış olduğu arttığı ancak 4 nu.lı malzeme grubunun atanmasının yapılmadığı tespit edilmiştir. Yerleşim kısıdının arttırılmasının çözümü olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir.

Modelimizde her hangi bir aile grubu malzemenin atanması durumunda en az 20 adet atanmasını sağlayan kısıdı bulunmaktadır. Söz konusu kısıdın  $\geq 10$  olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözümün değişmediği tespit edilmiştir. Söz konusu kısıdın  $\geq 40$  olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözümde amaç fonksiyonunda kısmi bir azalmanın olduğu; 4 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının arttığı, 10 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir. Söz konusu değişikliğe ait çözüm ekranı EK 7'de gösterilmiştir.

Matematiksel programlama problemlerinde kullanılan katsayıların zamanla değişme ihtimali her zaman mevcuttur. Gerçek hayatta katsayılar daima belirli ve sabit değildir. Burada katsayıların değişim aralıkları bulunmaya çalışılmaktadır ve bu

isleme duyarlılık analizleri denir (Halaç, 1983; Lawrence ve Pasternak, 2002). Problem çözümü ile elde edilen sonuçları analiz etmek çözümün anlamını belirlemekle baslar (Render vd., 2003). Yöneticiler bu nedenle çoğu kez matematiksel programlama problemlerinin bileşenlerinde meydana gelebilecek değişmelerin optimum çözüme etkisini bilmek isterler. Çünkü yöneticiler sadece problemin optimal çözümü ile ilgilenmemelidirler. Ulaşılan optimal çözüm, problemin katsayıları sabit kaldığı sürece geçerlidir. Halbuki yönetici, yeni bir faaliyetin eklenmesi halinde daha önce elde ettiği optimal çözümün optimallıktan çıkarak değişeceğini bilir. Ayrıca söz konusu değişmelerin optimal çözümü ne ölçüde değiştireceğini bilmek isterler (Öztürk, 2002) ve bu amaçla duyarlılık analizleri model parametreleri üzerinde yapılmaktadır (Taylor, 2002). Bu sayede, girdilerden herhangi birinde değişiklik meydana gelirse problemin optimal çözümünün nasıl etkileneceği sorusuna cevap bulunmuş olur (Levin vd., 1992; Heizer ve Render, 2006). Örnek olarak, bir şirket daha fazla para kazanabilmek amacıyla ekstra işçilik saati için ne kadar para ödemeye razı olacağını bulmak için duyarlılık analizlerinden yararlanır (Winston, 2004). Kısıtların sağ taraflarının değişimi, amaç fonksiyon katsayılarının değişimi, soruna yeni bir değişkenin eklenmesi, teknoloji katsayılarının değişimi ve soruna yeni bir kısıtın eklenmesi duyarlılık analizleri ile incelenir (Tütek ve Gümüşoğlu, 2000).

Modelimizdeki problem, tamsayılı programlama ile çözülmüştür. Bu nedenle duyarlılık analizi yapılamamaktadır. Duyarlılık analizi yapılamadığından tamsayılı programlama, doğrusal programlamaya dönüştürülmüş ve dönüşüm parametreleri Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Karar Değişkenlerinin Doğrusal Programlamaya Uygun Hale Getirilmesi.

<b>T P KARAR DEĞİŞKENİ</b>	<b>DP KARAR DEĞİŞKENİ</b>
dvar boolean depoac[depo];	dvar float depoac[depo] in 0..1;
dvarboolean atama[ailemalzemegrubu]	dvar float atama[ailemalzemegrubu] in 0..1 ;
dvarboolean depolama[ailemalzemegrubu][depo]	dvar float depolama[ailemalzemegrubu][depo] in 0..1;
dvarint+ depolananmiktar[ailemalzemegrubu][depo]	dvarint+ depolananmiktar[ailemalzemegrubu][depo]

Dönüşüm kapsamında tamsayılar doğrusal sayılara, ikili tamsayılar (binary) ise 0-1 arasındaki doğrusal sayılara dönüştürülmüştür.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Savunma ihtiyacı kapsamına giren her çeşit malzeme için yapılan harcamaların büyüklüğü ve gerekliliği herkesçe bilinen bir gerçektir. Depolanan malzemenin özelliğine ve müşterinin ihtiyacına göre istenen malzemenin, istenen yerde, istenen zamanda ve istenen miktarda bulunması hayati öneme haizdir. Meydana gelen gecikmelerin istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olabileceği değerlendirilmektedir.

Savunma sektöründe depolama genel olarak Uluslararası Standartlar dikkate alınarak icra edilmektedir. Depolamada dikkat edilen önemli hususlardan bazıları müteakip maddelerde sıralanmıştır.

Uygun olmayan ve rast gele yapılan depo ataması ve depo yerleşimi sonucunda; gerçek depo ihtiyacının hesaplanamaması, depolama kapasitesinin verimli kullanılamaması, zaman ve işgücü kaybının oluşması, planlama ihtiyacının artması, envanter kontrol ve takibinin zorlaşması; mükerrer malzeme siparişleri meydana gelmesi, depo içinde bakımının yapılamaması, müşteriye malzemelerin istenen zamanda transfer edilememesi, ihtiyaç fazlası malzemelerin depolanması gibi istenmeyen durumların meydana geldiği tespit edilmektedir. Söz konusu istenmeyen durumlar ise zaman, kaynak ve işgücü kaybına ve malzeme ikmal sisteminin etkinliğinin ve verimliliğinin azalmasına sebep olmaktadır.

Bizim çalışmamızın temel maksadı da maliyeti yüksek, özel bir ikmal ve bakım sistemine sahip çeşitli özel veya genel maksatla kullanılan malzemelerin depolara atanmasında kullanılabilir uygun matematiksel çoklu depo atama modelini oluşturmaktır.

Modelimizde depo atama yöntemi olarak; belirli kısıtlar dâhilinde aile grubu temelli depolama atama yönetimi esas alınmıştır. İlk aşamada, öncelikle atamaya tabi tutulacak malzemeler, aile gruplarına göre (malzeme grubu) sınıflandırılmıştır. Malzemelerin çeşitliliği ve benzerlikleri aile gruplandırmasını hem gerekli hale getirmekte hem de malzemelerin ikmali bakımından işletmene ve müşterilere



kolaylıklar sağlamaktadır. Bu durumda, benzer ürünleri birbirine yakın olarak yerleştirmek etkin ve verimli bir yöntem olabilir. Bu kapsamda modelde, depolara atanması ve yerleştirmesi amaçlanan 89 kalem malzeme temel ortak kimyasal, fiziksel ve ikame özellikleri dikkate alınarak 10 farklı aile malzeme grubuna ayrılmıştır. Modelde her malzeme için minimum ve maksimum ihtiyaç miktarlarını belirleyen kısıtlar bulunmaktadır. Modelde depo sayısı 20 olarak kabul edilmiştir.

Bu yöntem diğer bir depo atama yöntemi ile birleştirilmiştir. Modelde aile grubu atama yöntemi, tam devir (ciro) esaslı depo ataması yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. Aile malzeme gruplarının oluşturulmasını müteakiben ikinci öncelikli olarak aile grupları arasında depo atamasında öncelik sağlayacak olan sıralama yapılmıştır. Söz konusu sıralama; her aile malzeme grubunu birer grup olarak kabul ederek aile malzeme gruplarının kendi aralarında dönem içindeki devir miktarlarına göre sıralaması / sınıflandırması yapılmıştır. Bu atama yöntemi, tam devir (ciro) esasına göre depo ataması yöntemi olarak tanımlanmaktadır.

Modelde 10 farklı gruptan oluşan 89 çeşit malzemenin atanması ve yerleştirilmesi tasarlanmıştır. Gruplar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 rakamlarıyla sembolize edilmiştir. 1'inci grup 6, 2'nci grup 8, 3'üncü grup 10, 4'üncü grup 13, 5'inci grup 12, 6'ıncı grup 11, 7'inci grup 10, 8'inci grup 5, 9'uncu grup 1 ve 10'uncu grup ise 13 kalem malzemedan oluşmaktadır. Grup içindeki malzemeler, aile grubu numarası ve malzeme numarası eklenerek kodlandırılmıştır.

Çalışmamızda ele alınan problemin çözümüne yönelik ihtiyaç duyulan depolama şartları detaylı olarak incelenmiş ve uygun çözüm şekli ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada malzeme ve yığınların özellikleri, adedi bilgileri, ebatları; depoların ebatları, alanı, hacimleri; malzemelerin benzer/farklı özellikleri ve tam devir sayıları ile ihtiyaç duyulan minimum/maksimum miktarlar dikkate alınarak bir model oluşturulmuştur.

Uygun depo atama yöntemi ve matematiksel modelin temel esaslarının tespit edilmesini müteakip modelin tasarımına yönelik olarak 3 aşamalı bir çalışma yapılmıştır. Birinci aşamada depolanacak malzeme, aile malzeme grubu ve yığınlarla, ikinci aşamada depolarla ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise model matematiksel olarak formüle edilmiştir.

Amaç; en fazla fayda sağlayan aile grup malzemesini, belirlenmiş kıstaslar dâhilinde en uygun depoya atanmasını sağlamaktır. Her bir aile malzeme grubu için kullanılan depolama katsayısı, aile malzeme grubu devir katsayısı ve en yakın depo ölçütüne göre oluşturulan matris sonucunda meydana gelmiştir.

Çözüm incelendiğinde; **sonucun bütün kısıtları karşıladığı**, depoların hepsine mutlaka en az bir aile malzeme grubunun atanmasının gerçekleştiği, tüm aile malzeme gruplarının bir, iki veya üç depoya atamalarının yapıldığı anlaşılmaktadır.

Bu modelin kullanılabileceği değerlendirilen **bazı problem sahaları ve geliştirilmesine ihtiyaç duyulan alanlar** şunlardır:

- Mevcut depo sisteminin yeniden tasarlanmasında,
- Depo kapasitesinin çok kısıtlı olması durumunda depolanmamasına karar verilecek malzeme/malzemelerin tespit edilmesinde,
- Depo tasarımı çalışması kapsamında depolar arası transfer edilmesi gereken malzemelerin tespitinde,
- Mevcut depolama sistemi için ihtiyaç duyulan depo kapasitesinin hesaplanmasında,
- Atıl depo kapasitesinin hesaplanmasında,
- Yeni kurulan bir depolama sistemine malzeme atamasında,
- Yeni kurulan bir depolama sistemi için ihtiyaç duyulan depo kapasitesinin hesaplanmasında.
- Depo dahil depolamayla ilgili tesis ve binaların düzen tasarımı,
- Modelin geliştirilmesi halinde depo içi malzeme yerleşiminde faydalanılabilir.
- Malzemeleri kendi aralarında gruplandırarak atama problemlerine örnek teşkil edebilir.

Modelimizde çeşitli kısıtlar üzerinde yapılan değişikliklerin optimal çözüme olan etkisinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla depo sayısı, depo hacmi, depo yerleşim ve depoya atanacak en az aile grubu malzeme miktarları kısıtlarında 11 farklı değişiklik yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Mevcut kısıtlarda herhangi bir değişiklik olmaması halinde depo sayıları ile depo hacimlerinde herhangi değişikliğin yapılamayacağı yani depo sayı ve hacimlerini azaltmanın / tasarrufun söz konusu olmayacağı değerlendirilmiştir.

Modelimizdeki her depoda en fazla 3 çeşit aile grubu malzeme bulunması kısıdının  $\leq 5$  olarak değiştirilmesinin çözümü etkilediği ve bazı aile grubu malzeme atama miktarının ve amaç fonksiyonunda bir artış olduğu ancak 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir. Yerleşim kısıdının arttırılmasının çözümü olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir.

Her hangi bir aile grubu malzemenin atanması durumunda en az 20 adet atanmasını sağlayan kısıt  $\geq 40$  olarak değiştirilmiş ve çözümde amaç fonksiyonunda kısmi bir azalmanın olduğu; 4 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının arttığı, 10 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmada; çoklu sayıda depoya çoklu malzeme atanması maksadıyla belirli kısıtlar dâhilinde doğrusal matematiksel bir model önerilmiştir. Önerilen modelin uygunluğu ve performansı kapsamlı bir örnek üzerinde denenmiştir.

Oluşturulan modelde malzemenin depoya giriş çıkışını hızlandırmak maksadıyla aynı yığında aynı malzeme grubu malzeme olması hedeflenmiştir. Ancak bu model bir depo içersine atanan aile malzeme grupları arasında da sıralama yaparak depo içi yerleştirme önceliğini belirleyen bir model değildir.

Bu çalışmanın devamı olarak ikinci aşamada ise depo içersinde malzemelerin çok katmanlı (multi layer) olarak, yığınlar arasında aile grubu bütünlüğü sağlayacak şekilde malzemelerin depo içi yerleşimi ilk aşamada kullanılan modelden faydalanarak aynı esaslar ve benzer kısıtlar dâhilinde yapılabilir.

Bir aile malzeme grubuna ait malzemeler ait minimum ve maksimum ihtiyaç miktarları eşit olarak kabul edilmiştir. Her bir malzemeye ait minimum ve

maksimum ihtiyaç miktarları dikkate alınarak ayrı bir model ve çözüm oluşturulabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ali Deran, Stratejik Maliyet Yönetimi, T.C. Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Eğitim ve Doktrin Komutanlığı, (Ankara: 2006), s. 173.
- [2.] Sürmen ve Aygün, 'Türkiye'de Lojistik Faaliyetler ve Muhasebe İşlemleri-I', s. 55.
- [3] Hayri Ülgen ve S. Kadri Mirze, İşletmelerde Stratejik Yönetim, (İstanbul: Literatür Yayıncılık 2004), s. 292.
- [4] Derman Aydoğan, İnternet,8 Kasım 2011.
- [5] TERSINE J. Richard. Principles Of Inventory and Materials Management. Elsevier Science Publishing Co.,Inc.New York.1988.
- [6] SILVER Edward A., PETERSON Rein, Decision Systems For Inventory Management And Production Plannig, John Wiley & Sons Inc., USA, 1985.
- [7] SAYGILI İrfan, Üretim Yönetiminin Fonksiyonları, İ.Ü. İşletme İktisadi Yayınları, İstanbul, 1991.
- [8] KOBU Bülent, Üretim Yönetimi, Avcıol Basım Yayın, İstanbul, 1998.
- [9] R.L.Van DeMark. Inventory Control Techniques, Dallas.Van DeMark Inc., 1981
- [10] AKGÜÇ Öztin, Finansal Yönetim, İ.Ü. Muhasebe Ens. Yayın 10:60, İstanbul, 1994
- [11] R. De Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodbergen, Design and control of warehouse order picking: a literature review, Eur. J. Oper. Res.194 (2) (2007) 343–362.

- [12] F.Guerriero, R.Musmanno, O.Pisacane, F.Rende; A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints,2013.
- [13] M. Goetschalckx, H.D. Ratliff, Shared storage policies based on the duration stay of unit loads, *Manage. Sci.* 36 (9) (1990) 1120–1132.
- [14] J.P.Van den Berg, Class-based storage allocation in a single command warehouse with space requirement constraints, *Int.J.Ind.Eng.* 3(1) (1996)
- [15] L.B. Shwarz, S.C. Graves, W.H. Hausman, Scheduling policies for automatic warehousing systems: simulation results, *IIE Trans.* 10 (3) (1978) 260–270.
- [16] W.H. Hausman, L.B. Schwarz, S.C. Graves, Optimal storage assignment in automatic warehousing systems, *Manage. Sci.* 22 (6) (1976) 629–638.
- [17] S.C. Graves, W.H. Hausman, L.B. Schwarz, Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems, *Manage. Sci.* 23 (1977) 935–945. Fig. 4. Solution decentralization. F.Guerriero et al./*Applied Mathematical Modelling* 37 (2013) 4385–4398
- [18] H. Hwang, H.O. Yong, C.N. Cha, A stock location rule for a low level picker-to-part system, *Eng. Optimization* 35 (3) (2003) 285–295.
- [19] J.L. Heskett, Cube-per-order index – a key to warehouse stock location, *Transport. Distribution Manage.* 3 (1963) 27–31.
- [20] J.L. Heskett, Putting the Cube-per-order index to work in warehouse layout, *Transport. Distribution Manage.* 4 (1964) 23–30.
- [21] A.J. Mallette, R.L. Francis, A generalized assignment approach to optimal facility layout, *AIIE Trans.* 4 (2) (1972) 144–147.
- [22] D.J. Harmatuck, A comparison of two approaches to stock location, *Logist. Transport. Rev.* 12 (4) (1976) 282–284.

- [23] C. Kallina, J. e Lynn, Application of the cube-per-order index rule for stock location in a distribution warehouse, *Interfaces* 7 (1) (1976) 37–46.
- [24] C.J. Malmberg, K. Bhaskaran, A revised proof of optimality for cube-per-order index rule for stored item location, *Appl. Math. Modell.* 14 (1990) 87–95.
- [25] F. Caron, G. Marchet, A. Perego, Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems, *Int. J. Prod. Res.* 36 (3) (1998) 713–732.
- [26] Ballou, H. Ronald, *Business Logistics Management. Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*, fourth ed., S.L., Prentice-Hall International, Inc., 1992.
- [27] M. Muppani, G.K. Adil, Storage class formation considering space and handling cost for warehouse planning, in: IX Annual International Conference of the Society of Operations Management, Pondicherry University, Pondicherry, India, 2005.
- [28] T.N. Larson, H. March, A. Kusiak, A heuristic approach to warehouse layout with classe-based storage, *IIE Trans.* 29 (1997) 337–348.
- [29] S.S. Heragu, Mathematical model for warehouse design and product allocation, *Int. J.Prod. Res.* 43 (2) (2005) 327–338.
- [30] S. Onut, U.R. Tuzkaya, B. Dog˘ac, A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem, *Comp. Ind. Eng.* 54 (4) (2008) 783–799.
- [31] Y. Bassan, Y. Roll, M.J. Rosenblatt, Internal layout design of a warehouse, *AIIE Trans.* 12 (4) (1980) 317–322.
- [32] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle Swarm Optimization, in: *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995, p. 19421948.

- [33] J.M. Jarvis, E.D. McDowell, Optimal product layout in an order picking warehouse, *IIE Trans.* 23 (1) (1991) 93–102.
- [34] O.Sanei, V.Nasiri, M.R.Marjani, S.M.Moattar Husseini, A heuristic algorithm for the warehouse space assignment problem considering operational constraints: with application in a case study, in: *Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Kuala Lumpur, Malaysia, January 22–24, 2011.



## EK 1. MODEL

```
/******  
* OPL 12.5 Model  
* Author: Tarkan Yenyayla  
* Creation Date: 18 Eki 2013 at 13:15:02  
*****/  
{string} depo = ...;  
int Nbailemalzemegrubu = ...;  
range ailemalzemegrubu = 1..Nbailemalzemegrubu;  
int depohacmi[depo] = ...;  
float depolamakatsayisi[ailemalzemegrubu][depo] = ...;  
dvar boolean depoac[depo]; /* depoya atama oluyor mu? */  
dvar boolean atama[ailemalzemegrubu]; /* i malzeme grubu depoya ataniyor mu? */  
dvar boolean depolama[ailemalzemegrubu][depo]; /* i. malzeme j. depoya ataniyor  
ise */  
dvar int+ depolananmiktar[ailemalzemegrubu][depo]; /* i. malzemenin j. depoya  
atanan miktarı */  
float ailemalzemegrubuagirliigi[ailemalzemegrubu]=...;  
float ailemalzemegrubuhacmi[ailemalzemegrubu]=...;  
int mnim[ailemalzemegrubu]=...;  
int mim[ailemalzemegrubu]=...;  
int deponuntasiyabilecegimaxagirlik[depo] = ...;
```

### **maximize**

```
sum( w in depo, s in ailemalzemegrubu)  
    depolamakatsayisi[s][w] * depolananmiktar[s][w];
```

### **subject to {**

```
/* depo yerlesimi kisiti-1 */  
forall( s in ailemalzemegrubu )  
    sum( w in depo )  
        depolama[s][w] <=3;
```

## EK 1. Devam

```
/* depo yerlesimi kisiti-2 */
    forall( w in depo )
        sum( s in ailemalzemegrubu )
            depolama[s][w] <=3;

/* depo ağırlık kisiti */
    forall (w in depo)
        sum (s in ailemalzemegrubu)
            ailemalzemegrubuagirliği[s]*depolananmiktar[s][w]<=deponuntasiyabileceği
maxagirlik[w]* depoac[w];

/* depo hacim kisiti */
    forall (w in depo)
        sum (s in ailemalzemegrubu)
            ailemalzemegrubuhacmi[s]*depolananmiktar[s][w] <=
depoacmi[w]* depoac[w];

/* minimum ihtiyaç miktarı kisiti */
    forall( s in ailemalzemegrubu )
        sum ( w in depo )
            depolananmiktar[s][w]>=mnim[s]*atama[s];

/* maksimum malzeme ihtiyaç miktarı kisiti */
    forall( s in ailemalzemegrubu )
        sum ( w in depo )
            depolananmiktar[s][w]<=mim[s]*atama[s];

/* 1 nu.lu malzeme depoda yalnız olacak*/
    forall (w in depo, s in ailemalzemegrubu)
        if (s!=1)
            depolama[1][w]+depolama[s][w]<=1;
```

## EK 1. Devam

/\*8 ve 9 nu.lı malzeme grupları sadece 10 nu.lı malzeme grubu ile depoda depolanabilir\*/

forall (w in depo)

depolama[2][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[3][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[4][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[5][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[6][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[7][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

/\* Big M\*/

forall (s in ailemalzemegrubu, w in depo)

depolananmiktar[s][w] <= 5000\*depolama[s][w];

/\* Depoya atama olması durumunda az 20 ailemalzemegrubu atanmalıdır\*/

forall (s in ailemalzemegrubu, w in depo)

depolananmiktar[s][w]>=20\*depolama[s][w]; }

{int} ailemalzemegrubuof[w in depo] = { s | s in ailemalzemegrubu : depolama[s][w] == 1 };

execute DISPLAY\_RESULTS{

writeln("depoac=",depoac);

writeln("ailemalzemegrubuof=",ailemalzemegrubuof); }

## EK 2. 15 ADET DEPOYA AİT ÇÖZÜM EKRANI

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 607354.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                6.0735450000e+005
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.16500e+004 1.60000e+003
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)   0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)    0.00000e+000 0.00000e+000 //
depolananmiktar =
    [[1600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1425 1063 952 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 200 172 155 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 238 271 0 0 482 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 551 0 0 482 482 0 0 0 0 0 0]
    [0 70 0 0 0 0 0 0 0 132 0 0 0 0 266]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 372 372 0]
    [0 0 0 0 0 1600 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 626 0 0 0 0 0 94 0 0 0]];
depolama =
    [[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0]];
depoac = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
atama = [1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1]
```

\*Depo Sayısı 20 den 15 e indirilmiştir.



**EK 4. 10 ADET BÜYÜK TİP DEPONUN ORTA TİP DEPOYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNE AİT DATA DOSYASI VE OLUŞAN ÇÖZÜM EKRANI.**

```
/******  
* OPL 12.5 Data  
* Author: Tarkan Yeniayla  
* Creation Date: 03 Kasım 2013  
*****/  
depo =  
{depo1,depo2,depo3,depo4,depo5,depo6,depo7,depo8,depo9,depo10,depo11,depo12,depo13,depo14,  
depo15,depo16,depo17,depo18,depo19,depo20};  
  
Nbailemalzemegrubu= 10;  
  
depo hacmi= [560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 400, 400, 400, 400, 400, 560, 560,  
560, 560, 560];  
  
depolamakatsayisi = [[100,95,90,85,80,75,70,65,60,55,50,45,40,35,30,25,20,15,10,5],  
[90,85.5,81,76.5,72,67.5,63,58.5,54,49.5,45,40.5,36,31.5,27,22.5,18,13.5,9,4.5],  
[80,76,72,68,64,60,56,52,48,44,40,36,32,28,24,20,16,12,8,4],  
[70,66.5,63,59.5,56,52.5,49,45.5,42,38.5,35,31.5,28,24.5,21,17.5,14,10.5,7,4.5],  
[60,57,54,51,48,45,42,39,36,33,30,27,24,21,18,15,12,9,6,3],  
[50,47.5,45,42.5,40,37.5,35,32.5,30,27.5,25,22.5,20,17.5,15,12.5,10,7.5,5,2.5],  
[40,38,36,34,32,30,28,26,24,22,20,18,16,14,12,10,8,6,4,2],  
[30,28.5,27,25.5,24,22.5,21,19.5,18,16.5,15,13.5,12,10.5,9,7.5,6,4.5,3,1.5],  
[20,19,18,17,16,15,14,13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1],  
[10,9.5,9,8.5,8,7.5,7,6.5,6,5.5,5,4.5,4,3.5,3,2.5,2,1.5,1,0.5]];  
  
ailemalzemegrubuagirli = [182,171,902,5365.6,580,580,751.6,536.3,12, 416.5];  
  
ailemalzemegrubuhacmi = [0.1213, 0.413432, 2.31524, 4.394864, 0.8416,  
0.581056,0.725168,0.51164, 0.05,0.435944 ];  
mnim = [400, 860, 168, 84, 248, 462, 378, 240, 400, 720];  
mim = [1600, 3440, 672,420, 992, 1848, 1512, 960, 1600, 2880];  
  
deponuntasiyabilecegimaxagirlik = [280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000,  
280000, 280000, 280000,200000,200000,200000, 200000,200000,280000, 280000, 280000, 280000,  
280000];
```



**EK 5. 5 ADET BÜYÜK TİP DEPONUN ORTA TİP DEPOYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNE AİT DATA DOSYASI VE OLUŞAN ÇÖZÜM EKRANI.**

```
/******  
* OPL 12.5 Data  
* Author: Tarkan Yeniyayla  
* Creation Date: 03 Kasım 2013  
*****/  
depo =  
{depo1,depo2,depo3,depo4,depo5,depo6,depo7,depo8,depo9,depo10,depo11,depo12,depo13,depo14,  
depo15,depo16,depo17,depo18,depo19,depo20};  
  
Nbailemalzemegrubu= 10;  
  
depo hacmi= [560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560,560,400,400, 400, 400, 400, 640, 640, 640,  
640, 640];  
  
depolamakatsayisi = [[100,95,90,85,80,75,70,65,60,55,50,45,40,35,30,25,20,15,10,5],  
[90,85.5,81,76.5,72,67.5,63,58.5,54,49.5,45,40.5,36,31.5,27,22.5,18,13.5,9,4.5],  
[80,76,72,68,64,60,56,52,48,44,40,36,32,28,24,20,16,12,8,4],  
[70,66.5,63,59.5,56,52.5,49,45.5,42,38.5,35,31.5,28,24.5,21,17.5,14,10.5,7,4.5],  
[60,57,54,51,48,45,42,39,36,33,30,27,24,21,18,15,12,9,6,3],  
[50,47.5,45,42.5,40,37.5,35,32.5,30,27.5,25,22.5,20,17.5,15,12.5,10,7.5,5,2.5],  
[40,38,36,34,32,30,28,26,24,22,20,18,16,14,12,10,8,6,4,2],  
[30,28.5,27,25.5,24,22.5,21,19.5,18,16.5,15,13.5,12,10.5,9,7.5,6,4.5,3,1.5],  
[20,19,18,17,16,15,14,13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1],  
[10,9.5,9,8.5,8,7.5,7,6.5,6,5.5,5,4.5,4,3.5,3,2.5,2,1.5,1,0.5]];  
  
ailemalzemegrubuagirli = [182,171,902,5365.6,580,580,751.6,536.3,12, 416.5];  
  
ailemalzemegrubuhacmi = [0.1213, 0.413432, 2.31524, 4.394864, 0.8416,  
0.581056,0.725168,0.51164, 0.05,0.435944 ];  
  
mnim = [400, 860, 168, 84, 248, 462, 378, 240, 400, 720];  
  
mim = [1600, 3440, 672,420, 992, 1848, 1512, 960, 1600, 2880];  
  
deponuntasiyabilecegimaxagirlik = [280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000,  
280000, 280000, 280000,200000,200000,200000, 200000,200000,320000, 320000, 320000, 320000,  
320000];
```





**EK 6. DEPO YERLEŞİM KISIDININ  $\leq 5$  OLARAK DEĞİŞTİRİLMESİ  
DURUMUNDA ORTAYA ÇIKAN ÇÖZÜM EKRANI.**

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 628369.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                6.2836950000e+005
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.45340e+004 1.60000e+003
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)   0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     0.00000e+000 0.00000e+000 //

depolananmiktar = [[1600
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1318 1065 1057 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 175 0 156 68 0 0 0 143 130 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 237 240 279 0 236 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 163 0 0 0 0 0 377 482 482 344 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 94 110 0 0 425 425 425 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 372 372 0 0 0 216 0]
    [0 0 0 0 0 1600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 626 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 490 768]];

depolama = [[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1]];

depoac = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
atama = [1 1 1 0 1 1 1 1 1 1];
```

**EK 7. HER HANGİ BİR AİLE GRUBU MALZEMENİN ATANMASI  
DURUMUNDA EN AZ 40 ADET ATANMASINI SAĞLAYAN KISIDI**

```

/solution (integer optimal, tolerance) with objective 615839.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                6.1583950000e+005
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.32020e+004 1.60000e+003
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  1.70530e-013 1.13687e-013
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)    3.34808e-011 3.34808e-011
// MILP slack bound error (Total, Max)     0.00000e+000 0.00000e+000 //

depolananmiktar = [[1600
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1548 1242 650 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 241 172 172 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 40 59]
    [0 0 150 360 0 0 482 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 551 0 0 482 482 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 425 425 425 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 372 372 216 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 1600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 626 0 0 0 0 0 0 0 0 202 0 0 0 253 0]];

depolama = [[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1]
    [0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0]];

depoac = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];

atama = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]

```

Tarkan YENİYAYLA

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2014

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Malzeme Atama Yöntemleri ve Çoklu Depoya Sınıflandırılmış Aile  
Grubu Malzeme Atama Modeli

Tarkan YENİYAYLA

ARALIK 2014

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Malzeme Atama Yöntemleri ve Çoklu Depoya Sınıflandırılmış Aile Grubu Malzeme  
Atama Modeli

Tarkan YENİYAYLA

ARALIK 2014

## ONAY

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında** Tarkan YENİYAYLA tarafından hazırlanan **MALZEME ATAMA YÖNTEMLERİ VE ÇOKLU DEPOYA SINIFLANDIRILMIŞ AİLE GRUBU MALZEME ATAMA MODELİ** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Burak BİRGÖREN  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç.Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI  
Danışman

### Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Burak BİRGÖREN (İMZALIDIR)  
Üye : Doç.Dr.Süleyman ERSÖZ (İMZALIDIR)  
Üye (Danışman) : Doç.Dr.Mustafa YÜZÜKIRMIZI (İMZALIDIR)  
Üye : Dr.Ercan DEĞİRMENCİ (İMZALIDIR)

..../..../2014

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç.Dr.Erdem Kamil YILDIRIM  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## İTHAF SAYFASI

Sevgili Anne ve babama,  
Yetişmemde gerektiğinde kendi ihtiyaçlarından  
vazgeçen anne ve babamı saygı, hürmet ve  
rahmetle anıyorum.

Sevgili Eşime,  
Bu eğitim sürecinde iş, ev ve çocuklarımız  
Melih, Azra ve Mehtap'ın çoğu sorumluluğunu  
üstlenen fedakâr eşime sevgilerimi ve  
şükranlarımı sunarım.

## ÖZET

MALZEME ATAMA YÖNTEMLERİ VE ÇOKLU DEPOYA  
SINIFLANDIRILMIŞ AİLE GRUBU MALZEME ATAMA MODELİ

YENİYAYLA, Tarkan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI

Aralık 2014, 95 sayfa

Bu çalışmanın amacı, belirli kıstaslara göre ürünlerin hangi depoya atanacağıının tespit edilmesi maksadıyla matematiksel bir model geliştirmektir. Bu modelde problem, tamsayıli matematiksel bir problem olarak ele alınmıştır. Aile grubu malzemeleri çoklu depoya atama problemi, lojistikte en dikkat çekici konulardan biridir. Hedef, mümkün olduğu kadar depolama zamanı, maliyeti, işgücü ve envanter işlemlerini azaltmaktır. Çalışmada 89 çeşit malzemenin 10 aile grubuna ayrılarak hacim, alan, ağırlık, birlikte depolanabilme ve ihtiyaç miktarları kısıtları dâhilinde 20 depoya atanması problemi üzerinde çalışılmıştır. Aynı zamanda kısıtlarda yapılan gerçekleşmesi muhtemel çeşitli değişikliklerle test edilerek duyarlılık analizi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** aile grup ataması, belirli kısıtlar, tamsayıli matematik modeli, çoklu-depo, depolama zamanı, depolama maliyetleri, depolama işgücü, envanter, duyarlılık analizi.



## ABSTRACT

### MATERIAL ALLOCATION METHODS AND AN ALLOCATION MODEL FOR CLASSIFIED FAMILY GROUP MATERIAL INTO MULTI-WAREHOUSES

YENİYAYLA, Tarkan  
Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Industrial Engineering, Master Thesis  
Supervisor: Assoc.Prof. Mustafa YÜZÜKIRMIZI

December 2014, 95 pages

The aim of this work, is to develop a mathematical model to determine to which warehouse family group materials should be allocated within specific constraints. In this model, problem is handled as an Integer Mathematical Model. The family group materials allocation into multi-warehouses problem under study is one of the most interesting topic in Logistics. The goal is to diminish, the allocation problem of 89 materials divided into 10 family groups into 20 warehouses was studied within volume, space, weight, and requirement quantity constraints. Beside this, sensitivity analysis is also carried out by a sort of executable and most relevant changes which were made on the constraints of the model.

**Key Words:** family group materials, specific criteria, Integer Mathematical Model, multi-warehouses, warehousing time, warehousing costs, warehousing labor, inventories, sensitivity analysis.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımını esirgemeyen ve büyük destek olan, bilimsel tecrübelerini sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI'ya, Yüksek Lisans eğitimim esnasında bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Doç. Dr.Süleyman ERSÖZ'e ve Doç. Dr.A.Kürşat TÜRKER'e, desteklerinden dolayı hocam Sayın Prof. Dr. Burak BİRGÖREN'e, büyük fedakarlıklarla bana destek olan arkadaşım Dr.Ercan DEĞİRMENCİ'ye ve son olarak tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm Tefvik ALTINSOY'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Lojistiğin Tanımı .....	1
1.2. Depolamanın Tanımı.....	2
1.3. Depolamanın Tarihi Gelişimi.....	3
1.4. Lojistikte Sistemin Bir Unsuru Olarak Depolama.....	5
1.4.1. Depolamanın Yeri ve Önemi.....	5
1.4.2. Neden Depolamaya İhtiyaç Var?.....	7
1.4.3. Depolamanın Amacı.....	9
1.4.4. Depolanan Elamanların Sınıflandırılması.....	12
1.4.5. Depolama Maliyetle.....	12
1.4.6. Depolama Miktarını Etkileyen Etmenler.....	13
<b>2. DEPOLAMA SİSTEMLERİ</b> .....	18
2.1. Tanım.....	18
2.2. Depo İş Akışı.....	18
2.3. Depo Düzen Tasarımı.....	19
2.4. Depo İçi Malzeme Ataması (Yerleşimi).....	22
2.4.1. Rast Gele Depo Ataması .....	24
2.4.2. En Yakın Müsait Depo Ataması .....	24
2.4.3. Hassas Depo Ataması.....	24
2.4.4. Tam Devir(Ciro) Esasına Göre Depo Ataması.....	26
2.4.5. Sınıf Temelli Depo Ataması .....	27
2.4.6. Aile Grubu Depo Ataması.....	30
2.5. İlgili Çalışmalar.....	31

2.6. Savunma Sektöründe Depolama.....	34
2.6.1. Depolama Esasları .....	34
2.6.2. Birlikte Depolanma Kriterleri.....	34
2.6.3. Depo İçi Yerleşim Esasları.....	35
2.6.4. Emniyet Tedbirleri.....	35
2.7. Çözüm Yöntemleri ve Tam Sayılı Programlama.....	36
<b>3. MEVCUT DEPOLAMA SİSTEMLERİ .....</b>	<b>37</b>
3.1. Mevcut Depolama Düzenleri. ....	37
3.2. Uygun Olmayan Depolama Sonuçları.....	38
3.3. Uygun Depolama Şartlarının Oluşturulması.....	38
3.3.1. Yığını Oluşturan Malzeme Miktarı ve Yığın Boyutlarının Belirlenmesi.....	41
3.3.2. Giriş ve Ara Koridorlar İçin Uygun Mesafelerin Hesaplanması.....	44
3.3.3. Birim Alanına Yerleştirilecek Malzeme Miktarının Tespiti .....	45
3.3.4. Yığınların Tavana Olan Mesafesi.....	45
3.3.5. Malzemelerin Devir Saisına Göre Analiz Edilmesi ve Malzemelerin Uygun Depoya Atanması.....	46
3.3.6. Bazı Aile Malzeme Gruplarının Aynı Depo İçerisinde Birlikte Depolanamaması veya Yalnız Depolanması.....	47
3.3.7. Minimum İhtiyaç Miktarı.....	47
3.3.8. Maksimum İhtiyaç Miktarı.....	48
3.3.9. Depoların Hacim Kısıdı.....	48
3.3.10. Depoların Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık Kısıdı .....	48
3.3.11. Depo Yerleşim Kısıdı-2 (Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Kısıdı).....	49
3.3.12. Depo Yerleşim Kısıdı-2 (Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Aile Malzeme Grubunun Atanması Kısıdı).....	49
<b>4. UYGUN MODELİN TASARIMI.....</b>	<b>50</b>
4.1. Birinci Aşama:Depolanacak Malzemelerin Özelliklerinin Tespiti.....	50
4.2. İkinci Aşama:Depo İçinde Uygun Aralık ve Mesafelerin Tespit Edilmesi...	51
4.3. Üçüncü Aşama: Modelin Matematiksel Olarak Formüle Edilmesi.....	51
4.3.1. Karar Değişkenleri.....	65

4.3.2. Parametreler.....	66
4.3.3. Amaç Fonksiyonu.....	66
4.3.4. Kısıtlar.....	67
4.3.5. Modelin Çözümü .....	68
4.4. Duyarlılık Analizi.....	71
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLEN ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>76</b>
5.1. Sonuç.....	76
5.2. Önerilen Çalışmalar.....	79
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>81</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>85</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
2.1. Depolama Sistemlerinin Karmaşıklığı.....	20
2.2. Depo İş Akış Şeması ve Tipik Depo Faaliyetleri.....	21
2.3. Depo Düzen Tasarımı ile ilgili Tipik Düzen Kararları .....	25
2.4. Paralel Koridor Depolaması .....	29
2.5. Karşılıklı Koridor Depolaması.....	29
2.6. Örnek Bir Depo Düzeni ( F. Guerriero ve ar. / Uygulamalı Matematik Modellemesi - Applied Mathematical Modelling, 2013).....	32
3.1. Büyük Hacimli(640m <sup>3</sup> ) Depo Düzeni.....	41
3.2. Orta Hacimli(560 m <sup>3</sup> ) Tip Depo Düzeni.....	42
3.3. Küçük Hacimli(400m <sup>3</sup> ) Depo Düzeni.....	42
4.1. Sonuçlara Ait Ekran Çıktısı.....	69

## ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	Sayfa
3.1. Birlikte Depolanabilen Aile Malzeme Grupları.....	48
4.1. Depolara Atanan Aile Malzeme Grup Miktarları.....	70
4.2. 1'inci Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.....	71
4.3. 2'inci Analiz: Depo Sayısının 19'e İndirilmesi.....	72
4.4. 3'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.....	72
4.5. 4'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.....	73

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Lojistiğin Tanımı

Günümüzde lojistik faaliyetler, tedarik zincirinin bir parçası olarak kabul edilmekte ve ilk madde ve malzeme, yarı mamul, mamul ve ilgili bilgilerin üretim noktasının başından tüketim noktasına kadar veya tüketim noktasından üretim noktasına kadar, müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, etkin ve düşük maliyetli bir şekilde akış ve depolanması süreçlerinin planlanması, uygulama ve kontrol edilmesi olarak tanımlanmaktadır[1].

Başlangıçta ulaşım ve depolama ile sınırlı olan lojistik, küreselleşme ve teknolojik ilerlemeler sonucunda talep tahmini, stok yönetimi, ulaştırma, malzeme taşıma, ambalajlama, yer seçimi ve sipariş alma faaliyetlerini de içerir duruma gelmiştir. Bu faaliyetlere, yedek parça ve servis desteği, iade mal işlemleri, hurda ve atık malların elden çıkarılması, teslim alma, etiketleme, üretim çizelgeleme ve müşteri hizmetleri de dâhil edilmektedir[2].

Lojistiğin temel unsurları şunlardır: ikmal, bakım, tedarik, üretim, satış, dağıtım, depolama. Hammadde, yarı mamul, nihai ürünü ise lojistiğin elemanları olarak kabul edebiliriz. Bu elamanların bütünü, lojistiğin bir temel bir unsuru olan depolama faaliyetine, işlemine tabi tutulmaktadır[2].

Lojistik faaliyetler, geriye dönük lojistik faaliyetler ve ileriye dönük lojistik faaliyetler olarak iki yönlüdür. Geriye dönük lojistik faaliyetler, tedarikçilerle işletme arasındaki satın alma faaliyetini oluşturmaktadır ve çok sayıdaki değişik tedarikçilerden satın alma, sadece tek bir tedarikçiden satın alma, karma satın alma ile sanal ve ağ yapısındaki tedarikçilerden satın alma stratejileri bulunmaktadır. İleriye dönük lojistik faaliyetler ise, işletme ile dağıtım kanalları ve tüketiciler arasındaki satış faaliyetlerini kapsamaktadır. Siparişlerin alınması, faturalama ve irsaliye hizmetleri, fiziki ulaştırma (nakliye) stratejileri, dağıtım kanalındaki araçların seçimi ve yönetimi, kredi işlemleri gibi faaliyetlerle ilgili stratejileri bulunmaktadır[3].



Şirketler, giderlerini daha çok azaltmayı, depo ve dağıtım merkezlerinin etkinliği arttırmayı amaçladıkça, depolama da daha çok ilgi çekmekte ve inceleme konusu olmaktadır. Bütün üretim, ticaret, sanayi ve yatırım faaliyet ve girişiminde bulunanların; avantaj/dezavantaj, maliyet/etkinlik açısından istenen amaçlara ulaşılması ve ulaşılan başarı seviyesinin devamlılığını sağlamak için izleyecekleri lojistik strateji ve taktiklerini devamlı olarak izlemeleri zorunlu bulunmaktadır.

## 1.2. Depolamanın Tanımı

Günlük yiyecek ihtiyacımızı bile günlük, haftalık, aylık veya mevsimsel olarak elimizin altında tutup, biriktirip saklıyoruz böylece basit bir depolama işlemi gerçekleştiriyoruz. Örneğin buzluklarımız, kilerlerimiz bunun için vardır. Bu açıdan deponun, depolamanın en basit tarifini şu şekilde yapabiliriz : “Arz ile talep arasındaki zamansal dalgalanmayı karşılamak” [4].

**Depolamayı teknik olarak** ise; belirli nokta/noktalardan gelen ürünlerin/yüklerin teslim alınıp, belirli bir süre korunup, belirli nokta/noktalara gönderilmek üzere hazırlanması olarak tanımlayabiliriz.

Depolama süresinin uzunluğu depoları farklılaştırır. Depolama süresinin uzun olduğu yerlere depo denirken, süre kısaldıkça bu yerlere dağıtım merkezi, süre daha da kısaldıkça aktarma merkezi denir. Depolama esas olarak kontrol, teslim alma, yerleştirme, sayım, toplama, kontrol ve gönderme faaliyetlerini kapsar.

Depolama stratejisinde üreticiler ürettikleri ürünleri müşterilere dağıtmadan önce onları merkezi bir depoda bekletir. Malzemelerin depoda bekleme süreleri 24 saatten fazladır. Malzemeler burada kontrol, paketleme, sipariş işleme, ambalaj gibi diğer lojistik işlemlerden geçtikten sonra, uygun atamalar vasıtasıyla talepte bulunan müşterilere dağıtılır. Yani malzemeler depolarda tutulur ve buradan müşterilere dağıtım yapılır.

Endüstri kişi başına üretkenliği saatte 1000 parça üretim imkânı sağlayarak yeni çözüm sağlayan buluşlarla ortaya çıkmaya devam etmektedir. Bilim de hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu gelişmelerin sonucunda son yıllarda depolama faaliyeti ve

işlemi ile ilgili birçok yazı ortaya çıkmış bulunmakta, yeni problemler üzerinde çalışılmakta ve yeni yöntemler geliştirilmektedir.

Depolamayı gerçekleştiren şirketler, büyük miktarda ürünü elde bulundurmamayı ve dağıtmayı yüksek bir hizmet kalitesinde, en az kayıt ve kontrolü kullanarak ve en kısa sürede teslim etmeyi amaçlarlar. Bu hedef istikametinde iki önemli husus dikkat çekmektedir: envanter yönetimi ve en uygun ürün ataması. Daha anlaşılır olması bakımından, envanter kontrolünü, hizmette müşteri memnuniyetini sağlarken depolama maliyetini azaltma; en uygun ürün atamasını ise ürünlerin elden geçirilmesi, yer değiştirmesi için ihtiyaç duyulan sürenin azaltılması mekanizması olarak tarif edebiliriz[5].

Tez dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde lojistik sistem içerisinde depolamanın yeri ve önemi üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde farklı depo ataması ve farklı depo yerleşim yöntemleri ile ilgili bilgi sunulmuştur. Üçüncü bölümde mevcut depolama sistemi incelenmiştir. Dördüncü bölümde bilgi setini geliştirmeyi ve uygun depolama tasarımı ve çoklu sınıflara ayrılmış ürünlerin atamasını modelleyen matematik bir çözüm oluşturulmaya çalışılmıştır. Beşinci bölümde ise modelin çalıştırılması sonucu ortaya çıkan çözümler irdelenmiş, kısıtlar üzerinde gerçeğe yakın değişiklikler yapılarak sonuçlar arasında analiz yapılmış ve başka bir çalışmaya temel teşkil edebilecek önerilerde bulunulmuştur.

### **1.3. Depolamanın Tarihi Gelişimi**

Depolamanın gelişimi ve geçirdiği evreleri beş döneme ayırabiliriz. Depo ve depolamanın geçmişi insanoğlu ile başlamaktadır. İlk olarak ele geçirdiği hayvanları beslemeye yani saklamaya başlamıştır. “Live Stock” yani “canlı stok” olarak kullanılan terim halen kullanılmaktadır. İlk dönem depolama yeryüzündeki ilk insanların bireysel olarak hayvan veya ilk tarım gıdalarını biriktirip saklamasıdır.

Sonraki dönemde tekerleğin, yazının, paranın keşfi ile ticaret yaygınlaşmıştır. Gelişen kıtalar arası ticaretin sonucunda Depo Tarihi açısından ikinci kilometre taşı olacak “İlk Ticari Depo” Venedik Loncası (tüccar/esnaf birliği) tarafından

Venedik limanında kurulmuştur. Bu depo, ücret karşılığı alım/satım arasındaki dönemde tacirlere depolama hizmeti sunmaya başlar.

Kıtalararası ticaretin gelişmesinin ardından liman şehirlerinde peş peşe birçok depo açılır. Açılan bu depolara malların transferi demiryolları ile yapılmaktadır. Limandan malların varacağı istasyonlara ulaşımı gerçekleştiren vagonlar geldikleri istasyonlarda alıcıların gelip almasını beklemektedirler. Çok ihtiyaç duyulan vagonlar dolu olarak bekletilmektedirler ve dolayısı ile tekrar sefere dönememektedirler. Vagonlar depolama/bekletme amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Bu problemi ortadan kaldırmak için istasyonlarda istasyon depoları oluşturulmaya başlanmıştır.

1900lü yıllarda başlayan sanayi devrimi, seri üretim, atölyelerin yerini fabrikaların alması ile ticarete yeni bir dönem başlar. Fabrikalar da satış yaptıkları bölgelerde daha küçük ölçekli depolar inşa etmeye başlar. Bu depoların inşası da depolamanın gelişimi açısından üçüncüsünü teşkil etmektedir. Diğer deyişle Sanayi Devriminin sonucu fabrika depoları ve dağıtım depoları ortaya çıkmaya başlamıştır.

Karayolu taşımacılığında tam kapasite kullanımı sağlamak ve indirme bindirme faaliyetinde etkinliği arttırmak için elle işleyen forklift ve palet kullanılmaya başlanır. Bu gelişme sayesinde 1931 yılında 13.000 koli konserve yüklü bir kamyon 3 günde boşaltılırken; bu ürünler paletli olarak üretilip taşındığında boşaltma süresi 4 saate kadar düşürülmüştür.

İkinci Dünya Savaşı başladığında palet kullanımı ihtiyacı ciddi bir şekilde artar ve tüm dünyada kullanılmaya başlanır. Palet kullanımı yayıldıkça ve paletli ürün kullanımına uygun makineler, forkliftler geliştirildikçe depolamada artık yükseklik kavramı devreye girer. Dördüncü dönemin başlangıcını ise işte bu Palet ve forklift kullanımı ile depolamaya yükseklik kavramının girmesi oluşturmaktadır.

Bazı uzmanlar otomatik depolarda otomatik depolama ve geri alma sistemlerinin (AS/RS :Automated Storage & Retrieval Systems) kullanılmasını depolama tarihinde beşinci dönemin kilometre taşı olduğunu iddia etmektedirler.

20. yüzyılın ortalarından itibaren endüstriyel ülkeler arasında yapılan sanayi ve teknolojik ürünlerin miktarında ciddi bir artış oluşmuştur. Yüksek maliyetle üretilen

sanayi ve teknolojik ürünlerin tedarik ihtiyacı ve miktarı arttıkça satışa sunulacak ürünlerin dağıtımın ve depolanmasının daha verimli ve etkin bir şekilde yapılmaya başlanmasıyla ikmal sürecindeki belirsizlik azalmaya başladı. Bu nedenle tedarikçiler, ikmal edecekleri ürünlerin istenilen yer ve zamanda müşteriye sunulmasını istemeye başlamışlardır. Müşteri taleplerini karşılamak maksadıyla gerçekleştirilen depolamanın zaman ve miktar olarak sınırlarının belirlenememesi sonucunda aşırı depolama durumları ortaya çıkmıştır.

Whitin (1957) bu konuda şöyle demektedir: “ Aşırı depolama, depolama birçok ticari başarısızlığa neden olduğu için Amerikan iş yaşantısının mezarlığı olarak görülmektedir. Depolamaların iş akışlarını da engellediği düşünülmektedir ve işadamlarında neredeyse çılgınlık seviyesinde aşırı depolamadan kaçınma eğilimi baş göstermiştir.” Bu kaygı neticesinde bazı firmalar, sifıra yakın depolama bulundurma, hiç depo kullanmama tercihini kullanmışlardır. Ancak bu yaklaşım çoğu zaman felaketle sonuçlanmıştır[6] .

Teknolojinin bu kadar hızlı ilerlediğini; bilgisayarlarımızın, cep telefonlarımızın bir iki yıl içinde demode hale geldiğini düşünürsek birçok sektör için bu endişenin çok haklı olduğunu görürüz. Ancak yeteri kadar ürünü depolamamak, iş akışımızı aksatabileceği, talebe cevap veremememize neden olacağı, hatta belki de müşteri gözünde itibarımızı zedeleyeceği için elde edebileceğimiz kârdan mahrum kalmamıza neden olacaktır.

Depolama maliyeti yüksek, dikkatli bir şekilde planlanma ihtiyacı olan ve bilimsel bir çalışma gerektiren işlem olduğunun anlaşılmasıyla bu planlamayı yapabilmek için birçok teknik geliştirilmiştir. Bu tekniklerin de çoğunun amacı maliyeti minimum yapacak olan depo yerleşiminin tespit edilmedir.

## **1.4. Lojistik Sistemin Bir Unsuru Olarak Depolama**

### **1.4.1. Depolamanın Yeri ve Önemi**

Depolama faaliyeti, lojistik sistemde maliyet ve zaman açısından önemli bir yere sahiptir. Depolama, ilk bakışta yalnızca üretici ve toptancı organizasyonları için

önemli görünse de üreticiden tüketiciye kadar tüm sistemi ilgilendiren bir problem durumundadır. Fabrikalar, okullar, hastaneler, ordular hatta aileler gibi.

Araştırmaya tabi tutulan firmaların lojistik giderlerinin yüzde 20'sini depolama oluşturmaktadır (Yönetim Bilimleri Dergisi, (5:2), 2007, Journal of Administrative Sciences). Bu araştırma depolamanın, lojistik sistemin önemli bir parçasını oluşturduğunu göstermektedir. Depolar, genelde imalat yeri ile tüketici arasındaki tedarik zincirini oluşturan birimlerde ürünleri saklamak veya aracılık sağlamak amacıyla kullanılırlar. Depo terimi, genelde amaç saklamak veya aracılık söz konusu olduğunda kullanılır. Eğer saklamanın yanı sıra dağıtım da söz konusu olursa "dağıtım noktası" terimi tercih edilir. Fakat bu arada, saklama işlemi, depolama faaliyetinin büyük bir kısmını oluşturmuyorsa trans-yükleme, direk yükleme (cross-dock), platform terimleri tercih edilir. Sanatsal, profesyonel, şirket ve kişisel çeşitlerden oluşan dünyada yaklaşık 750.000 den fazla depo tesisi bulunduğu ifade edilmektedir (Lambert ve ar., 1988).

Az sayıda fakat daha büyük depolar, ekonomik amaçları gerçekleştirmek için birçok ufak deponun yerini almaktadır. Bu büyük depolarda, günlük malzeme devri büyüktür ancak kullanılabilen zaman dardır. Şirketler, müşterilerin isteklerini daha iyi bir şekilde karşılamak için çeşitli katma değer sağlayan, dağıtım merkezlerinde ve depolarda meydana gelen yerleşim sürecine göre programlanmış ve entegre aktiviteleri (kitting, etiketleme, ürün veya sipariş toplama, özel paketleme veya paletleme) kapsayan erteleme stratejisini uygulamaya başlamışlardır. Depolarda aynı zamanda diğer müşterilerden, toptancılar ve imalatçılardan aldıkları ürünleri, malzemeleri ve taşıyıcıları iyileştirme faaliyetinde bulunmaktadır. Depo içi malzeme ve ürün ataması ile ürünlerin müşteriye sevk edilmesi faaliyeti, dağıtım merkezinin ve tedarik zincirinin performansını etkiler. Siparişin depoya geldiği an ile müşteriye ulaştığı zaman arasında hem doğruluk hem de tamamiyet bakımından, zaman kaybını dikkate almadan, uygun olmayan depolama sisteminden kaynaklanan birçok hatanın oluşma ihtimali bulunmaktadır.

Depolama yöntemleri organizasyonun yapısına göre farklılık göstermesine rağmen tercih edilen tüm yöntemlerin hepsinin hedefi benzerdir. Uygun depolama yönteminin tespit edilmesinde hedef ise arzu edilen hizmet seviyesini sağlarken

organizasyonun maliyetlerini en aza indirecek yöntemi tespit etmektir. Bir organizasyon için uygun olmayan depo yer seçimi ve yerleşimi, mevcut kaynakların israf edilmesi anlamına gelmektedir. Tüm organizasyon için bu tercih edilmeyen bir durumdur.

Savunma sanayi açısından depolama stratejik öneme sahiptir. Verimlilik, etkinlik ve maliyet gibi faktörler savunma sektöründeki depolama açısından ikinci önceliğe sahiptir. Birinci öncelik ise her zaman istenen zamanda, istenen yerde ihtiyaç duyulan malzemenin ihtiyaç sahibine ivedilikle ulaştırılacak şekilde hazır bulundurulmasıdır.

#### **1.4.2. Neden Depolamaya İhtiyaç Var?**

Organizasyonun devamlı depolama ihtiyacı olur çünkü hiçbir zaman taleple mevcut kaynak eşit değildir. Hangi ürünün ne zaman ve hangi miktarda müşteriler tarafından isteneceğinin tahmini kolay değildir. Bu nedenle firma, tahmin edilemeyen müşteri taleplerini karşılamak için elinde malzeme/ürün bulundurmalıdır. Her ne kadar tam zamanlı (Just in Time) diye adlandırılan ve çok az miktarlarda depolama bulundurmaya öngören sistemler bulunsa da bu sistemlerin müşteri kaybetmeyi göze alamayan firmalar için kullanılmayacağı düşünülmektedir. Çünkü bu sistemin temeli çok yüksek koordinasyona dayanmaktadır ve sistemin herhangi bir noktasında yaşanacak olan müşteri kaybının bedeli ağır olabilir.

Uygun depolama yönteminin seçimi, genelde şu faydaları sağlayabilir[7]:

- Saklama, koruma imkânı sağlar ve depolama finansman sorunu sağlıklı bir yapıya kavuşmuş olur.
- Alım satım masrafları azalır.
- Dolayısıyla organizasyonun giderleri kontrol altında tutularak eksiklerin telafi edilme yoluna gidilebilir.
- Mal kaybı azalır. Çünkü nerede ne kadar malzeme bulunacağı önceden hesaplanmıştır ve çalınma, kaybolma durumlarında eksilen malzemeyi farketme şansı daha yüksek olacaktır.

Depolar, genelde büyük yatırım ve sermaye gerektirmektedir. O halde niçin depolar vardır? Lambert ve arkadaşlarına (1988)'e göre ise depoların **birçok görevi vardır ve bunlar aşağıda sıralanmıştır:**

- Ulaşım ekonomisini gerçekleştirmek,
- Üretim ekonomisini gerçekleştirmek,
- Kaliteli ürünlerdeki indirimleri ve gelecek alımların avantajından faydalanmak,
- Şirketin müşteri politikasını desteklemek,
- Değişen piyasa şartlarını ve piyasa belirsizliklerini karşılayabilmek,
- Üretici ve tüketici arasında oluşan zaman ve yerden kaynaklanan problemleri çözmek,
- İstenen belli seviyedeki müşteri hizmetini en az lojistik maliyetle gerçekleştirmek,
- Tedarikçi ile müşteri arasındaki tam zamanlı programları desteklemek,
- Müşteriye her siparişinde tek ürün yerine birçok ürün seçeneği sunmak,
- Elden çıkarılacak veya geri dönüşüme tabi tutulacak ürünleri geçici olarak depolamak,
- Trans-yükleme için geçici depolama bölgesi oluşturmak.
- Bazı özel durumlarda, tedarik zincirindeki bazı depolama işlevleri azaltılabilir. Fakat hemen hemen tüm tedarik zincirlerinde, her zaman ihtiyaç duyulan ve bu sebeple depolanması, transferi gereken hammaddelere, parçalara ve ürünlere gerek vardır; yani depolama şirketlerin lojistik başarılarında önemli bir işleve sahiptir.
- Savunma sektöründe depolamaya aşağıdaki nedenlerden dolayı ihtiyaç bulunmaktadır:
- Belirli noktalara önceden depolama yaparak hızlı ulaşım ve transfer imkanından faydalanmak,
- Üretim için zaman kaybedilmek istenmemesi,
- Büyük miktarda alımlar sayesinde kaliteli ürünlerin ucuza satın alınması,
- Hızlı bir ikmal sayesinde ihtiyaç sahiplerininin motivasyonunun arttırmak,
- Kriz veya seferberlik durumunda ortaya çıkabilecek olumsuz şartlara karşı ön almak,

- Ülke sathında uzak mesafelere trans-yükleme için geçici depolama bölgesi oluşturmak.

### 1.4.3. Depolamanın Amacı

Organizasyonlar ellerinde her zaman müşteri taleplerini karşılayabilmek için mal bulundururlar. Dolayısıyla depolamaya ihtiyaç duyarlar çünkü mevcut ürünlerle bu ürünlere olacak talebi bire bir örtüşürmek mümkün değildir. Birçok sebepten dolayı elimizdeki kaynak miktarı ve bu kaynağa olacak olan talep sık sık değişmektedir ve bu değişkenlik elde bulundurma yani depolama ihtiyacını doğurmaktadır. Depolamaya olan ihtiyacı stokun dört faktörüyle açıklayabiliriz: zaman, süreksizlik, belirsizlik ve ekonomidir[5].

**Zaman faktörü**, üretim ve malzemenin son kullanıcıya ulaşmaya kadar geçecek olan dağıtım süresini kapsamaktadır. Üretimin planlanmasından başlamak üzere, hammaddenin çıkarılması, kullanılabilir hale gelecek şekilde işlenmesi, üretiminin yapılacağı fabrikaya getirilmesi, üretilmesi, ara depolardan geçmesi ve son olarak sarf edileceği kullanıcıya teslim edilmesi gerekmektedir. Müşterinin bu süreci beklemelerini düşünmek ya da sarfın ne olacağını tam olarak tahmin ederek üretim ve ulaşım zamanını sarfa göre ayarlamaya çalışmak imkânsızdır. Bu yüzden depolama zaruri görünmektedir.

**Süreksizlik faktörü**; üretim, dağıtım, depolama, tüketim gibi farklı işlerin birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmesini öngörmektedir. Böylece üretimi gerçekleştirecek olan birimden başlayarak tüketiciye kadar aradaki birimlerin çok fazla koordinasyona ihtiyacı olmayacaktır. Yani üretimi yapacak olan kuruluş tüketicinin ne zaman ne kadar malzeme isteyeceğini tam olarak bilmek zorunda kalmayacak veya tüketici istediği malzemeyi alabilmek için üretimin yapılmasını, malzemenin taşınmasını vs. beklemek zorunda kalmayacaktır.

**Belirsizlik faktörü**, organizasyonun planlarının dışında oluşabilecek önceden kesin olarak bilinmeyen olayların meydana gelebilmesidir. Bunların içinde en başta talebin tahmin edilenden farklı oluşması, üretimde arızadan meydana gelebilecek aksamalar, ulaşımın herhangi bir sebepten ötürü gecikmesi veya kaza gibi bir



durumdan dolayı planlanan malzemenin ulaştırılmaması akla gelmektedir. Bu gibi durumlarda elimizde stok bulunduruyor yani söz konusu malı depoluyorsak belli oranda koruma sağlamış oluruz.

**Ekonomi faktörü;** sayesinde organizasyonlar fiyat indirimlerinden faydalanabilmektedir. şu bilinen bir gerçektir ki belli bir maldan çok miktarda satın alıyorsanız büyük indirimler yapılabilirsiniz. Aynı şekilde üretim yapan kuruluşlar için de çok sayıda malzeme üretmek maliyeti düşürebilmektedir. Bu malzemelerin taşınması söz konusu olduğunda yine düşük miktarlarda malzeme taşımak pek kârlı görünmemektedir. Bu durumların hepsinin bir araya geldiğini düşünürsek organizasyonun depolama faaliyetinde bulunmak suretiyle maliyeti oldukça düşürebileceğini söyleyebiliriz.

Savunma sektöründeki depolamayı, stokun dört faktörüyle şu şekilde açıklayabiliriz:  
Zaman: Savunmada zaman en önemli faktördür. Kriz zamanını önceden tahmin etmek nerdeyse imkânsızdır. Kriz zamanını tahmin ihtimali yüksek dahi olsa kriz döneminden muharebe dönemine geçiş sürecini tahmin etmek ve bu süreçte ihtiyaç duyulan malzemeleri tedarik etmek çok zordur. Dolayısıyla askeri depolama açısından zaman faktörü muharebede olduğu gibi en önemli faktördür.

**Süreksizlik faktörü:** Malzemeye kullanıcının ne zaman ne kadar ihtiyaç duyacağını tam olarak bilmek çok zordur. Depolama sayesinde kullanıcı, istediği malzemeyi alabilmek için üretimin yapılmasını, malzemenin taşınmasını vs. beklemek zorunda kalmayacaktır.

**Belirsizlik faktörü,** organizasyonun planlarının dışında oluşabilecek önceden kesin olarak bilinemeyen olayların meydana gelebilmesidir. Kriz ve seferberliğin tahmin edilenden zamandan farklı oluşması, kriz anında kısa sürede üretimde meydana gelebilecek problemler, ulaşımın herhangi bir sebepten ötürü gecikmesi veya kaza vs. gibi bir durumdan dolayı planlanan malzemenin ulaştırılmaması akla gelmektedir. Bu kriz ve seferberlik durumlarında elimizde stok bulunduruyor yani söz konusu malzemeyi depoluyorsak belli oranda koruma sağlamış oluruz.

**Ekonomi faktörü** sayesinde, belli bir maldan çok miktarda satın alarak büyük indirimler sağlamaktadırlar. Aynı şekilde üretim yapan kuruluşlar için de çok sayıda

malzeme üretmek maliyeti düşürebilmektedir. Bu malzemelerin taşınması söz konusu olduğunda yine düşük miktarlarda malzeme taşımak pek karlı görünmemektedir. Bu durumların hepsinin bir araya geldiğini düşünürsek diğer organizasyonlar gibi savunma sektörü için de depolama faaliyetinde bulunmak suretiyle maliyeti oldukça düşürebileceğini söyleyebiliriz.

**Depolamanın amaçlarını** açıklamanın bir başka yolu da stoklama için belirlenmiş olan amaçlarla paralellik kurmak olabilir. Bu bakımdan depolama amaçlarına göre dörde ayrılabilir[5]:

- Çalışan (working) Depolama
- Emniyet (safety) depolaması
- Tahmini (anticipation) Depolama
- Decoupling depolama

**Çalışan (working) Depolama:** Sipariş etme, elde bulundurma gibi maliyetleri minimize etmek için elde bulundurulması öngörölmüş olan malzemeyi ihtiyaç duyduğumuzda almak yerine önceden ihtiyaç duyabileceğimizi düşündüğümüz kadarını aldığımız ve ortalama olarak elde bulundurduğumuz miktarın depolanmasıdır.

**Emniyet (safety) Depolaması:** Talepte ve talebi karşılamakla mükellef birimlerde ortaya çıkabilecek olan belirsizliklere karşı alınmış olan bir tedbirdir. Talebin beklenenin üzerinde oluşması veya üretim ya da dağıtım birimlerinde meydana gelebilecek talebi karşılayamama durumlarında bu depolama devreye girecektir.

**Tahmini (anticipation) Depolama:** Belirli sezonlarda oluşan aşırı talepleri, tatiller vs. gibi üretim yapılamayan ya da yapılsa bile işçi ücretleri artacağı için maliyeti artıracak zamanlarda kullanılmak üzere elde bulundurulan malların depolanmasıdır.

**Decoupling Depolama:** Organizasyondaki birimlerin birbirine bağımlılığını engellemek için kullanılan malların depolanmasıdır. Bu depolama sayesinde bir birimde gecikme olduğu zaman, girdi olarak diğer birimin çıktısını kullanan birim beklemek zorunda kalmayacak, kendi deposundaki malı kullanacaktır.

Sonuç olarak; depolamanın temel maksadı uygun miktarda hammadde, yarı mamul ve mamulü doğru yerde, doğru zamanda ve en düşük maliyetle elde bulundurmaktır.

#### **1.4.4. Depolanan Elemanların Sınıflandırılması**

Depolarda stoklanan elemanlar şunlardır[8]:

**Hammaddeler:** O ana kadar henüz işlenmemiş, kullanılabilir durumda bulunmayan maddelerdir.

**Yarı mamuller:** Malzeme işlenmeye başlanmıştır ancak bu faaliyet tamamlanmamıştır. Malzeme kullanılabilir duruma gelmemiştir. Sadece işleme esnasındaki bir sonraki aşamaya hazırlanmış durumdadır.

**Mamuller:** Malzeme üzerindeki işleme faaliyeti tamamlanmıştır. Malzeme talep olduğu takdirde tüketiciye teslim edilebilecek durumdadır.

**Hazır parçalar:** Hazır parça, üretilmesi planlanan mamulün belli bir kısmını oluşturmaktadır ve genellikle organizasyon dışından temin edilmektedir. Günümüzde hiçbir organizasyon üretimini yaptıkları mamulün tamamını kendi bünyesinde üretmemektedir. Belli parçaların yapımında bazı firmalar uzmanlaşmış olduğundan bu parçalar o firmalardan almak suretiyle daha kaliteli malın daha ucuza alınması söz konusu olabilmektedir. İşte bu şekilde dışarıdan alınan malzemeler hazır parçalar olarak adlandırılmaktadır.

**Yardımcı malzemeler:** Bu maddeler doğrudan mamul içerisinde yer almazlar ancak mamulün üretilmesi için gerekli olan malzemelerdir.

Savunma sektöründe genellikle yukarıda belirtilen elemanlardan kullanıma hazır halde bulunan mamul malzemeler depolanmaktadır.

#### **1.4.5. Depolama Maliyetleri**

Depolama maliyetleri depolama sisteminin işleyişi ile ilişkilidir ve yönetimin depolama sistemini kurarken yaptıkları veya yapmadıkları işlerden

kaynaklanmaktadır. Depolama maliyetini elde bulundurma maliyeti olarak da tanımlayabiliriz [9].

- **Depolamama Maliyeti:** Tüketici ihtiyacının karşılanamaması, ticari kuruluşlarda satış yapılamaması ve müşterinin güven kaybı nedeniyle gelecekte yapılabilecek olan satışların azalması neticesinde kâr kaybıyla sonuçlanır. Böyle bir maliyetin hiç de küçük olmadığı açıktır. Şayet bu durum sistem dahilinde oluşuyorsa (üretim, dağıtım vs. gibi kademelerde) maliyetin kapsamı biraz daha farklı olacaktır. Sistem dahilinde çalışan personel ve makineler atıl duruma gelecektir. Dolayısıyla herhangi bir iş üretmeyen personel ve makinelere o süre zarfında boşuna para ödenecektir. Ayrıca şayet ürettiğimiz malzemeleri dışarıdan bir firmaya satıyorsak ve yapmış olduğumuz anlaşma gereği belli bir teslimat tarihi belirlenmişse bu tarihte teslimat yapılamadığından belli bir cezai müeyyideyle de karşılaşabiliriz. Bu müeyyideler genellikle firmalara parasal yaptırımlar şeklinde olmaktadır.

- **Gözden geçirme maliyeti:** Yukarıda saydığımız depolama maliyetleri genel bir depolama problemiyle ilgili maliyetleri kapsamaktadır. Ancak bizim tezimizde periyodik gözden geçirme modeli temel alındığından gözden geçirme maliyeti ile ilgili bir açıklama yapmamızın uygun olacağı değerlendirilmiştir. Gözden geçirme işlemi diğer modellerin tersine sürekli yapılmayıp organizasyonun belirlemiş olduğu zaman dilimlerinde yapılmaktadır; depoda bulunan malzemenin miktarını belirlemek için insangücüne ihtiyaç duyulacaktır.

#### **1.4.6. Depolama Miktarını Etkileyen Etmenler**

Firmalarda depolanan ürünler; hammadde, yarı mamul ve mamul ürün olarak üç büyük gruba ayrıldığından, her depolama grubunun tutarını etkileyen başlıca faktörlerin ayrı ayrı belirtilmesi, depolamalara yapılacak yatırımın planlanması açısından yararlı olabilir[10].

##### **Hammadde ürünlerin depolanmasını etkileyen faktörler:**

- Gelecek dönemde üretimi planlanan mamul miktarı,

- Üretimin mevsimlik oluşu: Bazı sektörler için hammadde sadece belli mevsimlerde bulunabilmektedir. Örneğin belli tarım ürünlerini hammadde olarak kullanan firmalar bu ürünlerin yetiştiği mevsimde bütün ihtiyaçlarını temin etmek durumundadırlar.
- Üretimin kesintiye uğramaması maksadıyla depolanacak emniyet depo miktarı,
- Hammaddenin ihtiyaç duyulduğu anda makul bir fiyatla tedarik olanağı: Şayet firma ihtiyaç duyduğu zaman hammaddeyi makul fiyatlarla temin edebiliyorsa büyük miktarlarda depolama bulundurmasına gerek kalmayacaktır,
- Satıcı firmanın gösterdiği titizlik: Şayet satıcı firma malzeme teslimini zamanında ve sözleşme şartlarına uygun yapıyorsa gelen malzemenin niteliklerinin uygun olmamasından dolayı değiştirilmek zorunda kalmıyorsa emniyet depolama miktarı daha düşük seviyelerde tutulabilir.
- Hammaddenin sağlandığı kaynak sayısı: Şayet hammaddeyi sağlayan kaynak sayısı fazla ise firmalar daha az emniyet depolama eğilimine girmektedirler.
- Firmalarda dikey bütünleşmenin derecesi: Firmanın dikey bütünleşme derecesi arttıkça hammadde kaynakları üzerindeki kontrol olanakları artacağından bulunduracakları emniyet depolama miktarı da azalacaktır.
- Sipariş tutarındaki dalgalanmalar: Firmanın aldığı siparişler büyük dalgalanmalar gösteriyorsa siparişleri karşılayamama gibi bir durumla karşılaşmamak için büyük miktarda ürünü emniyet maksadıyla depolamayı tercih edebilirler.
- Üretimin kesintiye uğraması durumunda uğranılacak zararın tutarı: Firma ham madde eksikliği nedeniyle uğrayacağı üretim kesintisi durumunda mı yoksa emniyet depolaması fazla bulundurduğu durumda mı daha fazla zarar edeceğini kıyaslamalıdır.
- Hammadde fiyatlarında beklenen artışlar: Şayet hammadde fiyatlarında artış bekleniyorsa fazla miktarda alım yapılarak büyük tasarruf sağlanabilir.
- Tedarik ve depolama kontrolünde etkinlik: Depolama kayıtlarını düzgün tutan geleceğe ait ihtiyaçlarını sağlıklı tahmin eden, tedarik süresi kısa olan firmalar daha düşük depolama seviyeleriyle faaliyetlerini yürütebilirler.

- Hammaddenin dayanma süresi.
- Depoda tutma maliyeti
- Finansman olanaklarının genişliği ve maliyeti: Firmalar her zaman istedikleri kadar ürünü elde buldurmaya, depolamaya yetecek yükseklikte mali olanaklara sahip olmayabilirler. Ayrıca elde buldurmak, depolamak için harcayacakları para ile farklı bir yatırım yaparak daha büyük fayda sağlayabilirler.
- Firmanın depolama kapasitesi.

#### **Yarı mamul ürün depolamasını belirleyen etmenler:**

- İmalat sürecinin teknik niteliği ve uzunluğu: Üretim süreci uzun olan organizasyonlarda daha büyük miktarda yarı mamul ürün buldurma eğilimi vardır. Aynı zamanda imalat sürecinin niteliği de yarı mamul depolama miktarını etkilemektedir. İmalat birimleri arasında yeterli senkronizasyon yoksa yarı mamuller belli noktalarda birikecek ve atıl durumda bekleyecektir. Bu durum da firmalar açısından istenen bir durum değildir.
- İmalat safhasında yaratılan katma değer: Yaratılan katma değer arttıkça, işletmenin yarı mamul depolaması da artacaktır.
- Üretilen malın birim maliyeti: Ürettikleri malların birim maliyetleri yüksek olan firmalar diğerlerine göre daha büyük miktarda yarı mamul ürün depolamaktadır.
- Üretim faaliyetinin sürekliliği: üretim faaliyeti çeşitli nedenlerle kesintiye uğrayan firmalar daha yüksek miktarda yarı mamul ürün buldurma durumundadır.
- Üretim miktarı: Üretim miktarı arttıkça yarı mamul depolaması da artmaktadır.
- Yarı mamul girdilerin bazılarının diğer firmalardan satın alınması: Firmalar yarı işlenmiş girdilerinin bir bölümünü dışarıdan satın almak suretiyle yarı mamul ürün depolaması faaliyetini azaltabilirler.

#### **İşlenmiş (mamul) depolamasını etkileyen etmenler:**

- Satış hacmi: Satış hacmi ile mamul depolaması arasında aynı yönlü bir ilişki bulunmaktadır.

- Talebin mevsimlik oluşu: Bu tip bir durumla karşı karşıya olan firma talebin düşük olduğu dönemlerde ilerleyen aylarda talebin artacağı düşüncesiyle üretime devam edecektir. Dolayısıyla talebin az olduğu dönemde depolama miktarında artış görülecek arttığı dönemde ise depolama miktarı azalacaktır.
- Hammadde alımının mevsimlik oluşu: Bazı firmaların kullandıkları hammaddeler sadece belli mevsimlerde bulunuyor olabilir. Söz konusu maddeler özelliklerini kısa sürede yitiriyorlarsa (çoğunlukla tarım ürünleri ) satın alındıktan kısa süre sonra işlenmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla firma zorunlu olarak yüksek miktarda mamul ürün elde bulundurmaya, depolamaya tercih edebilirler.
- Piyasadaki rekabet koşulları, arz-talep dengesi: Şayet piyasa çok fazla rekabet eden firmanın bulunmadığı bir piyasa ise firmalar yüksek miktarda mamul ürün depolamaya, elde bulundurmaya tercih etmemektedirler. Ancak rekabet yüksekse yüksek talep olduğu durumlarda talebi karşılayamama gibi bir durumla karşılaşmamak için daha büyük depolama bulundurmaya tercih etmektedirler.
- Satış bölgelerinin çeşitliliği: Satış bölgeleri daha dağınık olan firmalar daha fazla mamul ürün depolama, elde bulundurma ihtiyacı hissedeceklerdir.
- Dağıtım kanallarının işleyişi: Bir firmanın dağıtım kanalları ne kadar iyi işliyorsa firmanın bulunduracağı mamul ürün depolama miktarı o kadar az olacaktır.
- Üretimin sipariş üzerine veya piyasa için yapılması: Sadece sipariş üzerine üretim yapan firmalar mamul ürün depolama, elde bulundurma ihtiyacı hissetmeyebilirler.
- Konsinyasyon suretiyle satış yapılması: Konsinyasyon olarak gönderilen mallar, satış yapıncaya kadar gönderen firmanın depolarında bulunduğundan, bu tip satış yapan firmaların mamul ürün depolama seviyeleri daha yüksektir.
- Mamulün fiziki özellikleri: Şayet mamul kısa sürede bozulmuyorsa veya tüketici tercihleri hızlı değişmiyorsa, yüksek miktarda mamul ürün depolamanın sakıncası olmayabilir.

- Üretimin çeşitliliği: Birden fazla çeşitte mamul ürün üreten bir firmanın mamul ürün depolama seviyesi, tek tip üretim yapmakta olan bir firmaya göre daha büyük olacaktır.
- Mamulün ürünün dayanma süresi.
- İşgücü yetersizliğine veya grev olasılığına karşı korunma ihtiyacı.
- Depoda tutmanın maliyeti ve firmanın finansman olanakları.
- Firmanın depolama olanakları.
- İşlenmiş mamul ürün depolamanın taşıdığı risk: Bir firma işlenmiş mamul ürün elde bulunduruyorsa doğal afetler, hırsızlık vs. gibi nedenlerle uğrayabileceği kaybı göz önünde bulundurmak durumundadır. Ayrıca tüketici tercihlerinin değişmesi ya da son kullanma tarihli mamullerin bozulması neticesinde bu depolamasının bir bölümü firmanın elinde kalabilir. Firma mamul depolama miktarını belirlerken bu duruma da dikkat etmelidir.



## 2. DEPOLAMA SİSTEMLERİ

### 2.1. Tanım

Depolama sistemini lojistik sistem içerisinde önemli faaliyet alanı ve işleve sahip; malzemenin teslim alınması, kayıt edilmesi, yerleştirilmesi, yerinde bakım, transfer, yükleme gibi alt sistemlerden oluşan bir sistem olarak tanımlayabiliriz.

Depolama sistemleri karmaşıktır ve çeşitli alt sistemlerden, faktörlerden oluşmaktadırlar. Şekil 2.1’de depolama sistemlerini oluşturan faktörler görülmektedir.

### 2.2. Depo İş Akışı

Esas depolama faaliyetleri şunlardır: teslim alma, tasnif, yığın haline getirme, transfer ve saklama, sipariş toplama/seçme, sipariş biriktirme, yükleme, gönderme, direk transfer[11].

**Teslim alma**, ürünlerin taşıyıcılardan alınmasını, kalite ve sayı bakımından herhangi bir tutarsızlık olup olmadığını ortaya çıkarmak için envanter bilgilerini güncellemeyi içerir.

**Transfer ve saklama**, gelen ürünlerin depolama alanlarına transferini, yeniden paketlemeyi ve fiziksel yer değiştirmeyi kapsamaktadır.

**Sipariş toplama/seçme**, depolama faaliyetinde en önemli işlemdir. Doğru miktarda, doğru ürünün bir grup müşteri için hazır edilmesi/ele geçirilmesi sürecini içerir. Müşteri isteklerine göre toplanan ürünlerin biriktirilmesi ve çeşitlerine ayrılması eğer siparişler gruplara göre toplanmışsa gerekli bir işlemdir. Böyle bir durumda, toplama sürecinden sonra toplanan birimlerin müşteri siparişlerine göre gruplandırılması zorundadır. Toplamadan sonra, siparişler paketlenmek ve doğru taşıyıcıya yüklenmek zorundadır.

**Direk transfer**, teslim alınan ürünler direkt olarak yükleme birimlerine veya müşteriye transfer edildiğinde söz konusudur.

Şekil 2.2’de depo içindeki iş akışı ve benzer depo faaliyetlerini gösterilmektedir.

### 2.3. Depo Düzen Tasarımı

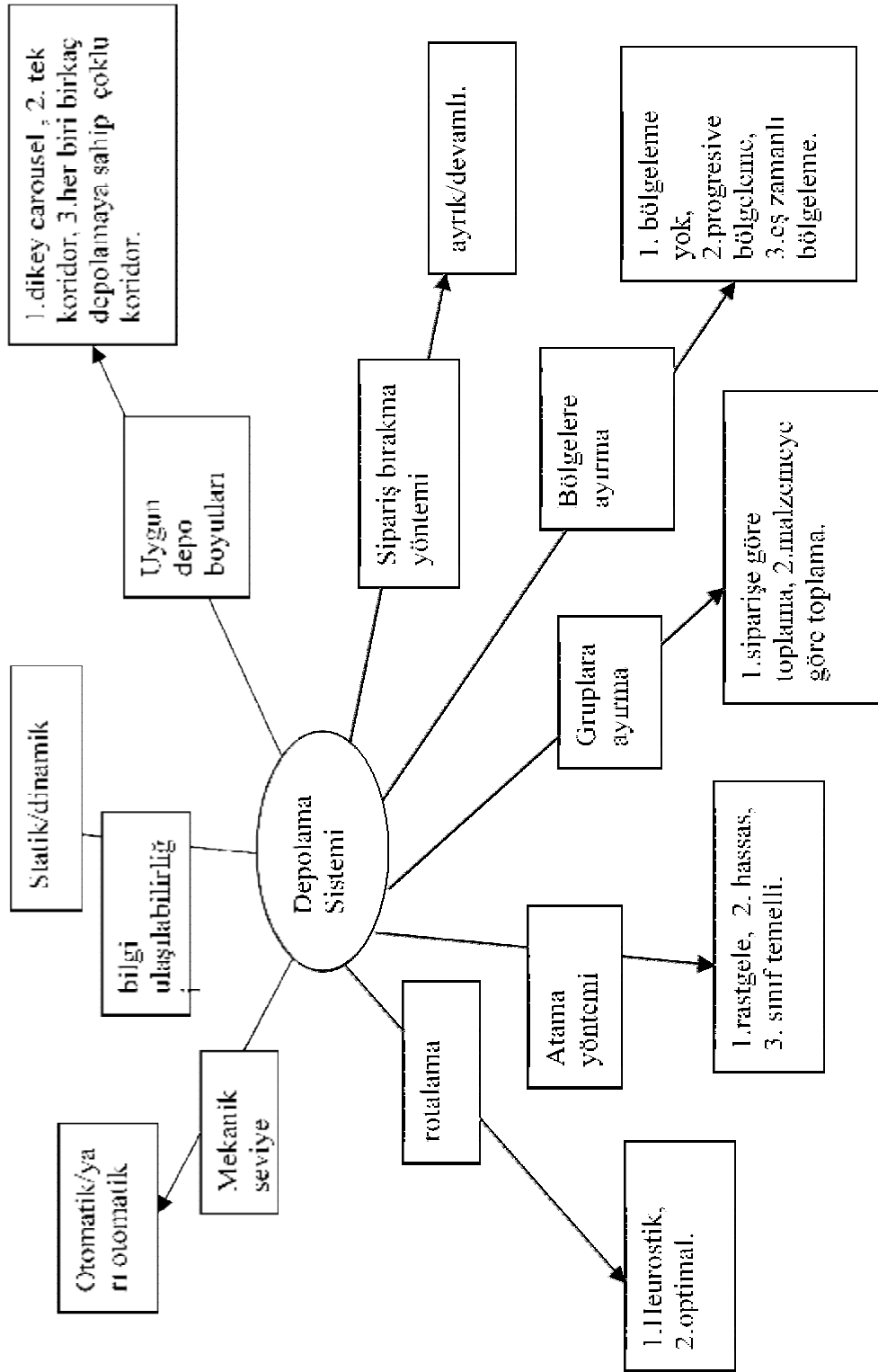
Depo düzen tasarımı **iki alt unsuru** kapsamaktadır: depo dahil depolamayla ilgili tesis ve binaların düzen tasarımı ve depo içi malzeme toplama sisteminin tasarımı.

İlk unsur genelde **tesis düzeni tasarım problemi** olarak adlandırılır ve farklı departmanların yerleşim yerleri kararı ile ilgilidir (teslim alma, toplama, depolama çeşitlerine ayırma ve yükleme). Genelde departmanların arasındaki ilişkiler göz önüne alınarak yerleşim yerleri ile ilgili karar alınır.

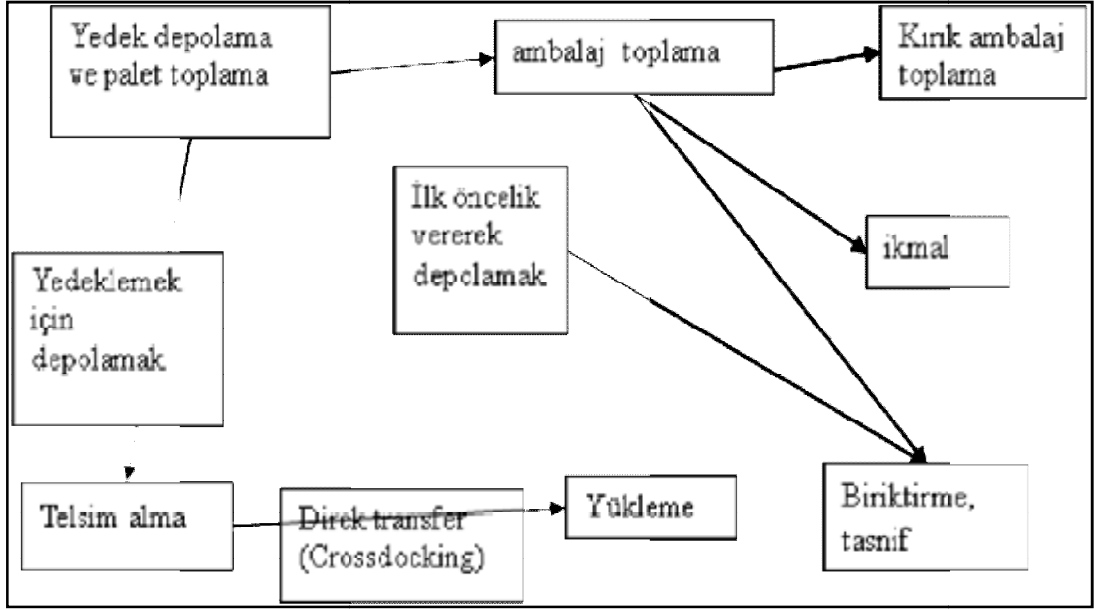
Ortak amaç, birçok durumda yol mesafesinin lineer bir fonksiyonu olarak tanımlanan elden geçirme maliyetini azaltmaktır (Saygılı,1991). Tompkins ve ar.(2003), etkin düzen tasarımı ile ilgili birkaç tane yayın yapmıştır. Bu hususta genel bir inceleme için ise Meller ve Gau (1996)’a başvurulabilir. Bunun yanı sıra, Hegau ve ar. (2003), bu hususta alanları ölçmek ve ürünlerin bölgelere atanması için bir model ve buluşsal bir yaklaşım oluşturmuşlardır.

İkinci unsur ise **depo içi malzeme toplama veya koridor tasarım problemidir**. Bu problem blokların sayısının belirlenmesi ile toplama alanlarında bulunan her bir bloğun numarası, genişliği ve uzunluğu ile ilgilidir. Ortak amaç, kısıtları ve ihtiyaçları karşılayan diğer depo düzenleri içinde en iyi depo düzen tasarımını bulmaktır. Tekrar etmek gerekir ki, depo düzen tasarımında en çok bilinen ortak amaç yine yol mesafesini azaltmaktır.

Düşük miktardaki manüel depo içi malzeme toplama düzen tasarımı literatürü sınırsız değildir. Erken bir yayın olarak Bassen ve ar. (1980) birim yük hususunda bir yayın yapmışlardır. Onlar iki paralel koridor düzenini manüel taşıma ve tasarım maliyeti bakımından kıyaslamışlardır.



Şekil 2.1. Depolama Sistemlerinin Karmaşıklığı.



**Şekil 2.2.** Depo İş Akış Şeması ve Tipik Depo Faaliyetleri

Rosenbalt ve Roll (1984), benzetim ve analitik metotları kullanarak iç depo düzeni depolama stratejisinin etkileri üzerine çalışmışlardır. Rosenbalt ve Roll (1988), stokastik taleplerin etkileri ile farklı hizmet seviyelerinin depo düzeni ve depolama kapasitesi üzerine etkisini çalışmışlardır.

Rosenberg, koridor konfigürasyonunu belirlemek için nonlinear bir amaç fonksiyonu önermiştir. Ortalama yol mesafesini en aza indirmeye birinci amaç olarak kabul eden Coren ve ar., çift blok depoları dikkate alarak küp başına sipariş endeksini kullanarak COI temelli depo atamalarını, De Koster ve Le Duc (2005) sınıf-temelli depo atamalarını dikkate almışlardır.

Peterson (2002), benzetimle toplam yol süresinde/mesafesinde bulunan koridor uzunluğu ile sayısının etkisini rastgele ve hacim temelli depo atamaları üzerinde göstermiştir. Manüel sipariş toplama sistemleri ile kıyaslandığında, birim yük sistemi için düzen tasarımı problemi daha fazla dikkat çekmiştir. Otomatik depolama ve geri alma sistemi (OD/GA) ile ilgili zaman çıktı modelleri üzerine literatür incelemesi için Sarker ve Babu(1999), Johnson ve Brandeau(1996), Van der Berg (1999) ve Le Duc(2005)'a başvurulabilir.

Rastgele depo atamaları için Bozer ve White (2006) tek komutalı ve çift komutalı devirlerin en iyi olduğunu göstermişlerdir. Larson ve ar.(2007), depo alanının

kullanımını arttırmak ve hareket mesafesini azaltmak için tek tip yük depoların düzenlenmesinde ve ürünlerin bölgelere atanmasında buluşsal, bir yaklaşım kullanmışlardır. Eldemir ve ar., depolama ihtiyaçları ile ilgili tahminler yapmışlardır. Parker ve Webster (1998), bu hususta birer istisnadırlar. Onlar, hareket zamanını azaltmak maksadıyla ürün değişimi sınıfları için raf yerlerinin belirlenmesi ile ilgilenmişlerdir.

De Koster ve White (1998), geri alma zamanını azaltmayı amaçlayan belirli bir kapasiteye sahip üç boyutlu rafın boyutlarını belirlemek maksadıyla Bozer ve White'ın metodunu geliştirmişlerdir.

Depo Düzen Tasarımı ile ilgili Tipik Düzen Kararları Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

#### **2.4. Depo İçi Malzeme Ataması (Yerleşimi)**

Ürünlerin, müşterilerin isteklerini karşılamak maksadıyla siparişler alınmadan önce depolama yerlerine konmaları gerekmektedir. Depo ataması, ürünleri depolama yerlerine atmak için kullanılan bir kısım kurallar kümesinden oluşmaktadır. Böyle bir atama yapılmadan önce hangi toplama işleminin hangi depolama sistemiyle yapılacağı ile ilgili bir karar verilmelidir.

Ürünlerin depo ataması stratejisi, hemen hemen bütün depolama işlevlerini, performansını etkiler [5]. Bu yüzden, uygulamada karşılaştığımız birçok kısıt dikkate alınmıştır. Örneğin, birlikte bulunması gereken ürünler ile en fazla ihtiyaç duyulan ürünlerin ulaşılabilirliğini zaman ve mesafe yönünden azaltmak için yakın depoya atanması. Uygulamada, bir depoya atanacak ürün sayısını azaltmak için planlayıcı personel ürünleri gruplara ayırmaktadır. Ancak ürünleri gruplara ayırmak için ürünlerin ortak bazı özelliklere sahip olmasıdır. Örneğin, yağ grubu hem mısır hem de ay çiçeği yağını içermelidir. Aralarında benzerlik bulunan gruplar birbirileriyle kıyaslanabilir. Yiyecek grubu; temizlik ve kimyasal grup ile kıyaslanmaz ve birlikte depolanamaz. Büyük depolarda, bu gruplara daha fazla önem gösterilmelidir.

F. Guerriero ve ar.,2012 yılında yaptıkları bir çalışmada ürün atama problemi için matematik bir model oluşturmuşlardır. Modelde, yükseklik, genişlik ve boy ile ürün sınıfları dikkate alınarak bir çözüm geliştirilmiştir [12].

Toplama sürecini hızlandırmak için, büyük miktardaki stokları (yedek bölge), devamlı ihtiyaç duyulan/anlık stoklarından (ileri bölge) ayırmak birçok durumda etkilidir. İleri bölgenin büyüklüğü sınırlıdır. Alan ne kadar küçülürse, sipariş toplayıcının ortalama yol zamanı o kadar azalır. Her bir stok tutma biriminin ne kadarının ileri bölgede tutulacağını ve hangi bölgeye yerleştirileceğinin kararı önemlidir.

Stok tutma birim envanterini birçok bölge üzerinden bölmek, düzenli iç ikmal yedek bölgeden ileri bölgeye taşımak anlamına gelmektedir. Yapılacak seçeneklerden biri de fazladan ikmal çabalarını ekstra toplama çabaları ile dengelemektir. Stok tutma biriminin bir kısmını yedek bölgede tutmak avantajlı olabilir, örneğin talep miktarının yüksek ancak talep sıklığının az olduğu durumlarda.

Çünkü ikmal başka kısıtlar oluşturan sipariş toplamanın olmadığı zamanlar ile sınırlıdır. Bu problem ile ilgili kararlar, genellikle ileri yedek depolama problemi kararları olarak tanımlanmaktadır. Literatürde bu hususla ilgili Frazelle ve ar.(1994), Hackman ve Platzman (1990) ile Van den Berg ve ar. (1998) çeşitli çalışmaları bulunmaktadır. Bartholdi ve Hackman (2005), “Depo Bilimi” isimli kitaplarında bu hususa bir bölüm ayırmışlardır.

İleri ve yedek depolama problemi ilgili ortaya atılan yeni bir kavram, dinamik depolamadır. Dinamik depolamanın amacı, harekât mesafesini azaltmak için toplama bölgesini küçültmek ve depolama yerlerine stok tutma birimini taşımaktır. İleri bölgedeki uygun alanların sayısı, toplam stok tutma birimi sayısından daha azdır.

Bu sistemler, yüksek toplama verimliliği sağlama özelliğine sahip olduklarından gittikçe daha tanınır hale gelmektedirler. İleri karar problemleri, yığın halindeki siparişlerin gruplanması, stok tutma biriminin alanlara atanması, ikmal zamanlaması ve otomatik vinçlerin çizelgelemesi durumlarında ortaya çıkmaktadır.

Ürünleri, ileri ve yedek depolama bölgelerindeki depolama alanlarına atamak için birçok yol vardır. Sık olarak kullanılan altı depo atama yöntemi müteakip maddelerde izah edilmiştir. Bunlar rastgele atama, çok yakın açık alan ataması, hassas depo ataması, tam devir depo ataması, aile malzeme grubu ve sınıf temelli depo atamasıdır.

#### **2.4.1. Rast Gele Depo Ataması**

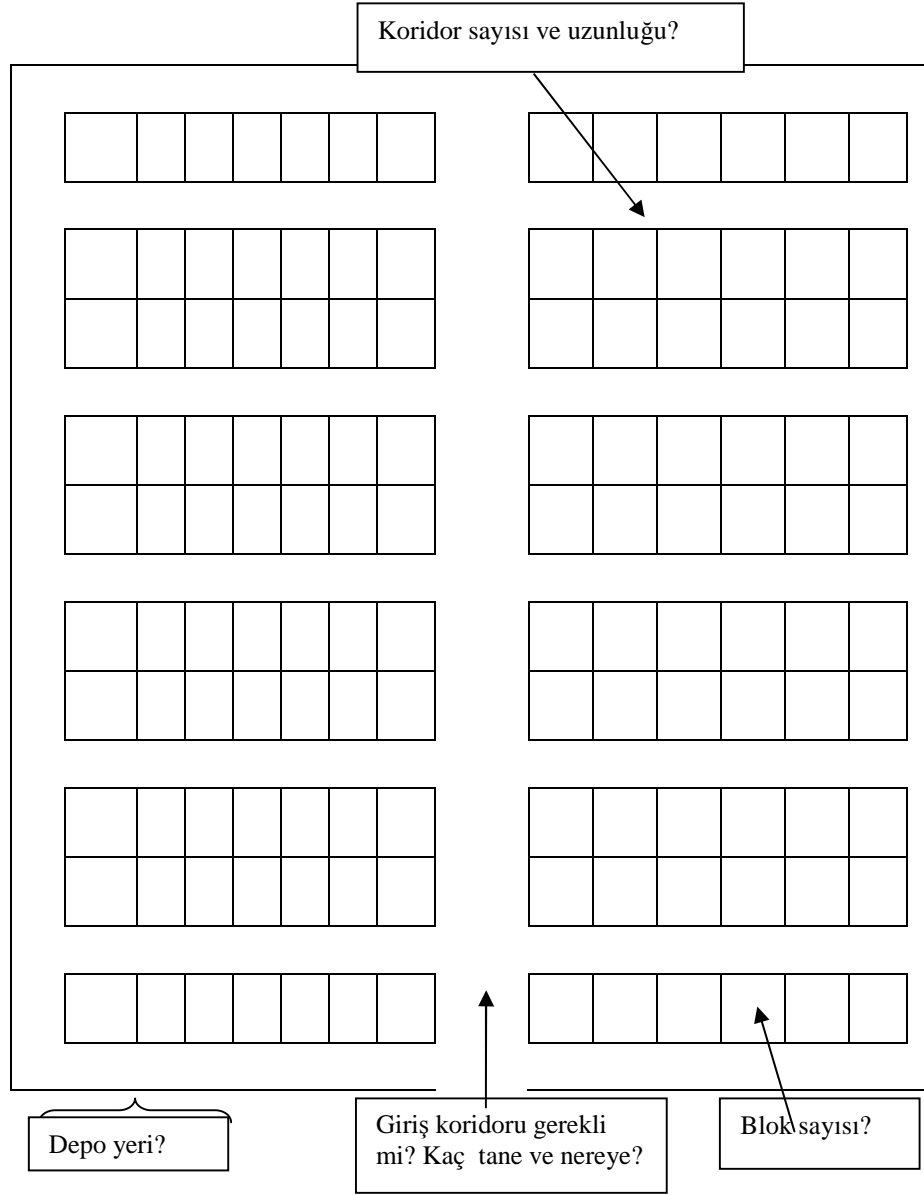
Rast gele depo ataması, gelen her palet veya benzer miktarda yükün depo içinde eşit olasılığa sahip müsait olan herhangi bir alana yerleştirilmesidir (Petersen,1997). Rast gele depo yöntemi, yol mesafesini arttırması pahasına çok daha fazla alan kullanımına sebep olmaktadır (Choe ve Sharp, 1991). Rast gele depo yöntemi sadece bilgisayar kontrollü bir ortamda çalışabilmektedir.

#### **2.4.2. En Yakın Müsait Depo Ataması**

Eğer sipariş toplayıcılar, depolama alanını kendileri seçebilirlerse, en yakın müsait alan depo ataması söz konusu olur. İşçiler tarafından karşılaşılan ilk boş yer, malzemeyi depolamak için kullanılacaktır. Bu uygulama, deponun ön tarafındaki rafların dolu olduğunu ve dolayısıyla geriye doğru daha çok boş alanı ortaya çıkarmaktadır (eğer fazla kapasite varsa). Hausman ve ar. (1976), eğer ürünler tamamen palet halinde taşınırsa en yakın müsait alan depo ataması ve rastgele depo atamasının benzer performansa sahip olduklarını iddia etmişlerdir.

#### **2.4.3. Hassas Depo Ataması (Yerleşimi)**

Diğer bir seçenek ise hassas depo ataması olarak adlandırılan ve her bir ürünü sabit bir alanda depolama esasına dayanan bir yöntemidir. Hassas depo atamasının, dezavantajı stokta bulunmayan ürünler için de yedek depolama alanının bulunmasıdır. Dahası, her bir ürün için yeterli alanın ayrılması gereklidir. Böylece maksimum envanter seviyesi depolanabilir.



**Şekil 2.3.** Depo Düzen Tasarımı ile ilgili Tipik Düzen Kararları

Depo alanından faydalanma diğer depo atama yöntemlerine göre azdır. Avantajı ise sipariş toplayıcının, depolama alanlarına aşina olmasıdır. Perakende depolarda, genelde ürünün depoya atanması ile depo düzeni eşleşmektedir (Koster ve Neuteboom, 2001). Bu durum depolarda işgücü tasarrufuna neden olur, çünkü ürünler mantıklı bir halde gruplandırılmıştır.

Sonuç olarak eğer ürün ağırlıkları farklıysa hassas depolama faydalı olabilir. Ağır ürünler paletlerin alt tarafında; hafif olanlar ise üst tarafta olmak zorundadır. Ürünleri ağırlıklarına göre sıralayarak ve sipariş toplayıcıları buna göre rotalayarak, iyi bir



yığın sıralaması fazladan bir çaba harcamadan elde edilir. Hassas depo ataması, rastgele depolama yöntemi ile çalışabilen büyük bir ikmal alanına sahip toplama alanlarında uygulanabilir. Bu şekilde, hassas depolamanın avantajı hala devam eder ve hassas depolama yalnızca ufak bir alana uygulandığından dezavantajları azalır.

#### **2.4.4. Tam Devir(Ciro) Esasına Göre Depo Ataması (Yerleşimi)**

Dördüncü yöntem, tam devir (ciro) depolamadır. Bu yöntemde ürünler, devir sayısına göre depolama alanına yerleştirilir. En yüksek satış miktarına sahip ürünler, en kolay alınabilecek yerlere genelde deponun yakınına yerleştirilir. Satış devri az olan ürünler, deponun biraz daha gerisindeki bir yere yerleştirilir. Bu yöntemin ilk uygulaması, küp sipariş indeksi (KSİ) kuralıdır (Heskett ,1963). Her bir ürünün küp sipariş indeksi, ürünün toplam alan ihtiyacının o ürüne olan talebi karşılamak için her bir dönem için ihtiyaç duyulan yolculuk sayısına oranını dikkate alınarak oluşturulmuştur. Algoritma, ürünleri en düşük KSİ ile en yakın depoya depolamayı, ürünleri yerleştirmeyi içermektedir. Bu hususla ilgili Kallina ve Lynn (1976), Malmborg ve Bhaskaran (1987, 1989, 1990) ve Malmborg (1995, 1996) tarafından yapılan çalışmalara müracaat edilebilir.

Tam devir yöntemi, hassas depolama ile birleştirilirse daha pratik ve kolay bir uygulama ortaya çıkmış olacaktır. Esas dezavantaj talep oranlarının ve ürün çeşidinin sık olarak değişmesidir. Her değişiklik, büyük bir miktar stokun yeniden kademelendirilmesi ile sonuçlanacak olan yeni bir ürün sipariş ihtiyacını ortaya çıkaracaktır. Her dönem için bir kez tekrar stoklamak bir çözüm olabilir. Esnekliğin ve sonuçta etkinliğin kaybedilmesi, tam devir depolama ataması kullanıldığında önemli olabilir. KSİ temelli depo atamasının veya diğer talep sıklığına bağlı depo atamalarının benimsenmesi; ürünleri sınıflandırmak ve atamak için sipariş ve depolama bilgisi gerektiğinden rastgele depo atamasından daha fazla bilgi yoğunluklu bir yaklaşıma ihtiyaç duymaktadır (Caron et al. 1998). Bazı durumlarda bu bilgi her zaman ulaşılabilir olmayabilir, örneğin ürün çeşitliliği çok hızlı değiştiği için güvenilir istatistik oluşturamayabilir ( De Koster ve ar., 1999).

#### 2.4.5. Sınıf Temelli Depo Ataması

Sınıf temelli depolama kavramı, şu ana kadar bahsedilen bazı yöntemlerden müteşekkildir. Envanter kontrolünde, klasik bir yaklaşım olan malzemeleri sınıflara ayırmak pareto analizidir. Pareto analizini, önemsiz çoğunluk ve hayati azınlık kavramları ile de özetlemek mümkündür. Ana fikir, miktar olarak bütün ürünlerin % 15 ini teşkil eden ancak devir miktarının % 85 ine denk gelen sınıf en hızlı hareket eden sınıf olacak şekilde ürünleri sınıflarına göre gruplandırmaktır.

Her sınıf daha sonra depodaki hassas yerlere atanır. Bir alan içerisinde depolama rastgeledir. Sınıflar KSİ veya toplama hacmi gibi bazı talep sıklıklarına göre belirlenir. Hızlı devir eden malzemeler genelde A-sınıfı olarak, ikinci hızlı devir eden malzeme grubu B-sınıfı olarak sınıflandırılmıştır. Bazı durumlarda daha fazla sınıflandırma, hareket zamanına bağlı olarak daha fazla kazanç sağlamasına rağmen genelde sınıflandırma üç ile sınırlandırılır.

Benzetim deneyi sonuçlarına göre Petersen ve ar. (2004), manüel sipariş toplama sisteminde hareket zamanı ile ilgili olarak tam devir depolamanın sınıf temelli depolamadan daha iyi performans ortaya koyduğunu göstermiştir. İki arasındaki fark, sınıf ayırma stratejisine ve kullanılan rota yöntemine bağlıdır. Ancak, hacim temelli depolamaya göre uygulaması daha kolay olduğundan sınıf temelli yöntemin uygulamasında 2'den 4'e kadar sınıf uygulanması önerilmektedir. Çünkü hacim temelli depolamaya göre uygulaması şu sebeple daha kolaydır: ilk sebep malzemelerin tam bir listesine ihtiyaç duyulmaması, ikinci sebep ise yönetim bakımından diğer hassas yöntemlere nazaran daha az bir zaman gerektirmesidir.

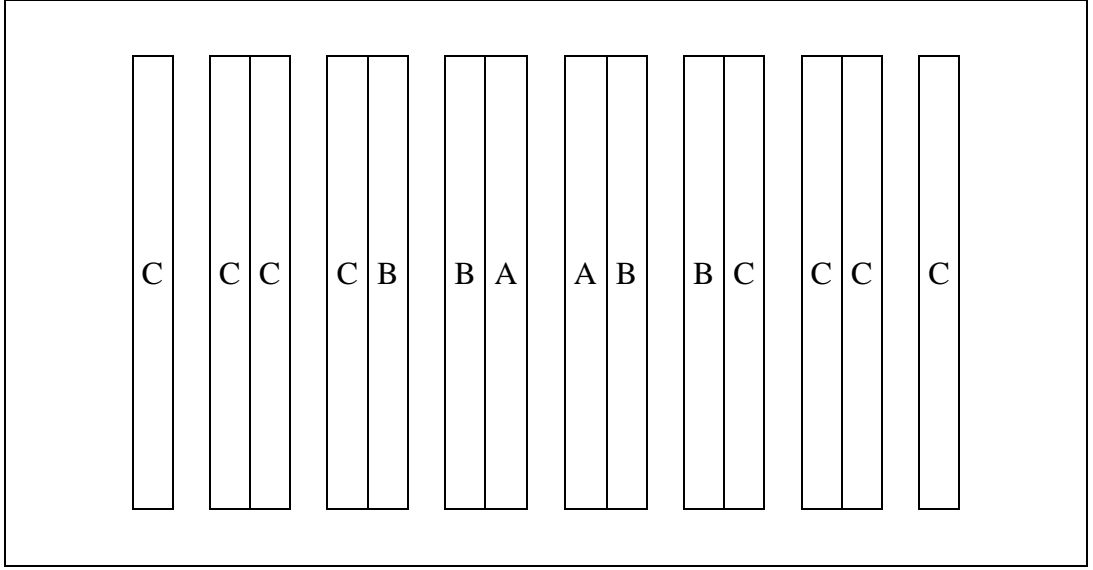
Ancak OD/GA bakımından, Yang (1988) ile Van den Berg ve Gademann (2000), sınıflı depolamanın diğer seçeneklere göre üstün olduğunu tespit etmişlerdir. Bu şekilde depolamanın avantajı, hızlı devir eden malzemeler depoya yakın yere depolanması ve aynı zamanda rastgele depolamanın esnekliği ile düşük depolama alan ihtiyacı avantajından da faydalanılmış olunmasıdır. Graves ve ar. (1977); alan ihtiyacı ile birlikte artan sınıf sayıları da dikkate alındığında, gelen bir yükün doğru sınıf alana yerleştirilebilmesi için boş rafların ulaşılabilir olması gerektiğini

gözlemler. Benzer şekilde sınıf temelli depolama, rastgele depolamadan daha fazla rafa ihtiyaç duymaktadır.

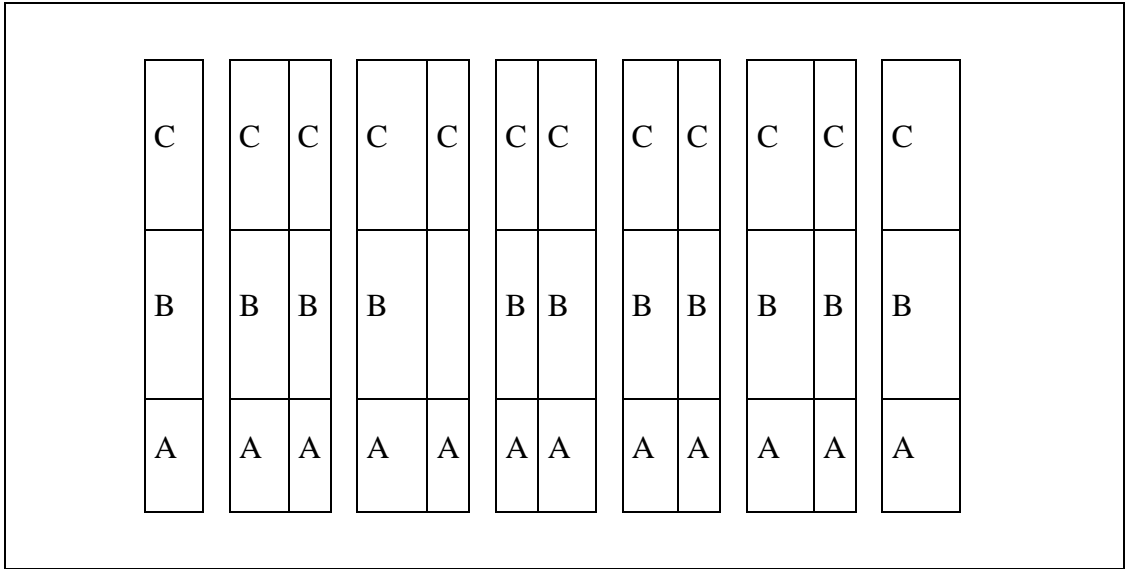
Sınıf temelli depolamayla ilgili araştırmaların çoğu, OD/GA kapsamında icra edilmektedir. Hausman ve ar. (1976) OD/GA kullanan sınıf temelli depolama atama yöntemi ve tek komutalı devir için sınıf bölgeleri bulma problemini incelemişlerdir.

Çift komutalı devir ve sınıf temelli depolama, raf sistemi ile depolama ve geri alma makineleri için Graves ve ar. (1977), benzetim yöntemi ile L şeklindeki alanların kare zamanlı sınırlarla beraber optimal olmadığını gösterdiler. Ancak L şeklindeki sınıf atamaları genelde % 3'den fazla ise optimal olmayacaktır. Sınıf temelli atamalarla beraber çoklu komuta devirleri için Guenov ve Raeside (1992), üç bölgeli şekilleri kıyaslamışlardır. Ashayeri ve ar. (2003), tek ve çoklu depolarda hem kare zamanlı hem de kare zamanlı olmayan raflar için sınıf temelli depo tasarımı için yol zamanı hesaplama yöntemi geliştirmişleridir.

Düşük seviyeli toplayıcının malzemeyi yerinden aldığı sistemlerde A, B ve C sınıfı alanları düzenlemek için değişik alternatifler bulunmaktadır. Jarvis ve McDowell (1991), Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi her koridorda bir sınıf bulunmasını önermişleridir. Petersen (1999, 2002), Petersen ve Schmenner (1999), Petersen ve Aase (2004), Petersen ve ar. (2004) çapraz koridor depolama yöntemini içeren, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi çoklu konfigürasyonları kıyasladılar. Geri dönüş yöntemi için kapalı yol zamanı tahminini esas alarak Le-Duc and De Koster (2005c), sınıfa göre depo yerleştirmesini optimize etmişlerdir. Onlar karşı koridor depolama yönteminin optimale yakın olduğunu ileri sürdüler. Le-Duc (2005), bu sonuçları diğer rota yöntemleri için geliştirmiştir. Optimal depolama stratejisi, rota yöntemlerine bağlıdır.



**Şekil 2.4.** Sınıf Temelli Depolamanın Uygulandığı 2 Genel Yöntem: Paralel Koridor Depolaması.



**Şekil 2.5.** Sınıf Temelli Depolamanın Uygulandığı 2 Genel Yöntem: Karşılıklı Koridor Depolaması.

#### 2.4.6. Aile Grubu Depo Ataması

Bu ana kadar tartışılan atama politikalar, ürünler arasındaki ilişkileri kapsamamaktadır. Örneğin, müşteriler belirli bir ürün ile beraber başka bir ürünü de sipariş edebilirler. Bu durumda, iki ürünü birbirine yakın olarak yerleştirmek gerekli, uygun ve değişik bir yöntem olabilir. Bu uygulamanın, yöntemi; aynı alana benzer ürünlerin yerleştirildiği aile gruplandırması depo ataması olarak adlandırılabiliriz.

Açıkçası, ürünleri gruplandırma yöntemi daha önce belirtilen depo atama yöntemleri ile birleştirilebilir. Örneğin sınıf temelli depolama ile birlikte aynı zamanda gruplandırılmış parçaları kullanmak mümkündür. Ancak, ürünlerin hangi sınıfa atanacağına karar, gruptaki bütün ürünlerin özelliklerin kombinasyonlarına bağlı olmak zorundadır.

Roll ve Rosenblatt (1983), liman deposu için rastgele ve grup depolama alan ihtiyaçlarını kıyasladılar ve rastgele depolama atamasının, grup depolama ataması göre alan ihtiyacını arttığını tespit ettiler. Rosenblatt ve Roll (1984), alan ihtiyacının etkisini dikkate alarak depolama maliyetleri için bir model oluşturdular.

Aile gruplarına göre depo atamasını uygulamak için, parçalar arasında istatistiksel korelasyon bilinmeli veya en azından tahmin edilebilir olmalıdır. Literatürde iki çeşit aile gruplandırması mevcuttur.

İlk yöntem iki büyük aşama içeren **karşılıksız yöntemdir**. İlk aşamada, malzemeleri ortak talebin gücü ölçüsünde gruplara ayrılır. İkinci aşamada, mümkün oldukça malzemeler bir yığın içinde birbirine yakın olarak yerleştirilir (Wäscher 2004). Rosenwein (1994), yığınlama probleminin p-medyan problemi olarak formüle edilebildiğini göstermiştir. Yığınların yerleşimini bulmak için Lee (1992) alan ihtiyacının hesaba katılmasını (KSİ temelli strateji), Liu (1999) ise en fazla talebin olduğu malzeme çeşidinin en yakın yere yerleştirilmesini (hacim temelli strateji) önermiştir.

İkinci aile gruplandırması **temas temelli yöntem** olarak adlandırılır. Bu yöntem, malzemeleri gruplara ayırmak için temas sıklığını/frekansını kullanması dışında karşılıksız yöntemle benzerdir. Belirli bir rota çözümü kapsamında; a malzemesi ile b

malzemesi arasındaki temas sıklığı, malzemeler arasındaki sıralama, sipariş toplayıcı için hangi malzemenin öncelikle alınacağı kararının alınmasında belirleyicidir. Ancak rota kararı, malzemenin yeri ve rotası arasındaki güçlü ilişkiyi gösteren malzeme çeşitlerinin yerlerine bağlıdır.

Her iki problem için en uygun çözümü bulmak, en azından uygulamada ele alınan örneklerin miktarı açısından, gerçekçi olamayacağından temas temelli çözüm yöntemi iki problem çeşidi arasında değişmektedir.

## 2.5. İlgili Çalışmalar

Elde edilen bilgiler vasıtasıyla problemin değişik versiyonları oluşturulabilir. İlk depo yerleşimi ataması problemi, varış ve yükleme zamanı ile stok bulundurma birimi hakkında yeterli bilgiye sahip olunması şartıyla gerçekleştirilmiştir.

Problemin esas yapısı, iki parçanın aynı yere yerleştirildiği atama problemine benzemektedir. Ancak en iyi çözümü bulmak, özellikle gerçekçi ve büyük ölçekli olaylarda zaman temelli çözümü bulmak demektir. Zamanla, bazı buluşsal çözümler tanımlanmıştır. Örneğin buluşsal temelli Kalma Zamanı (Duration of Stay) yöntemi bunlardan biridir [13].

Genellikle her bir ürün için tam ve doğru varış ve yükleme ve zamanı bilgilerini elde etmek kolay değildir ve sadece ürünlerle ilgili daha genel bilgiye ulaşılabilir. Sınıf temelli depolama yöntemi, ürünlerin sınıflara ayrıldığı ve her birinin ayrı bir alana atandığı en etkili yöntemdir. Yöntemin en kritik yönü, sınıflandırma ölçütüdür [14].

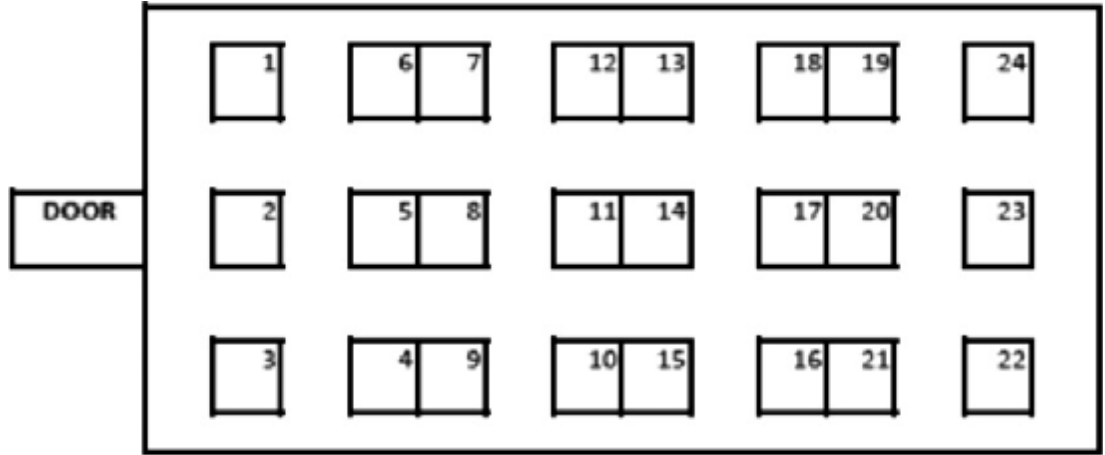
Sınıf depolamasında en çok kullanılan ölçütler şunlardır:

- Popülerlik: belirli bir sınıfın konduğu rafa yapılan ziyaret sayısı.
- Devir sayısı: belirli bir zaman içinde toplam transfer edilen/yüklenen ürün miktarı [15, 16, 17, 18].
- Hacim: belirli bir dönemde belirli bir ürünün beklenen talep miktarı ile hacminin çarpımı [16].
- Toplama yoğunluğu: bir ürünün popülerliliği ile onun hacminin oranı.

- Küp sipariş endeksi: özel bir ürünün kapladığı alan ve onun popülerliği arasındaki oran [19-25].

Bu parametreler toplama maliyetini azaltmayı garanti eder ve yüksek hesaba dayalı gayrete ihtiyaç duymaktadır. Yukarıda zikredilen parametrelerle beraber, ürün benzerliliği güçlü bir korelasyonunla yığın oluşturmaya müsaade etmektedir. Örneğin [26] nu.lı referansta ürünler arasında benzerlik ölçütlerinde kullanılan üç tane kriter kullanılmıştır: tamamlayıcılık, uyumluluk ve popülerlik.

Muppani ve Adil (2005) yaptıkları çalışmada, sınıfları oluşturma ve onları raflara atama modeli uygulanmıştır [27]. Larson ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada üç adımlı buluşsal bir model önerilmiştir [28]. Heragu (2005), yaptığı çalışmada ise matematik programlama modeli vasıtasıyla aktif depolama alanlarına birlikte ürün atamasını ve alanların büyüklüğünü belirlemek için buluşsal bir yaklaşım önerilmektedir [29]. En sonunda, Onut ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada çok katmanlı depoda düzen tasarımı ve ürün atama problemini çözmek için matematiksel bir programlama modeli önerilmektedir [30].



**Şekil 2.6.** Örnek Bir Depo Düzeni ( F. Guerriero ve ar. / Uygulamalı Matematik Modellemesi- Applied Mathematical Modelling, 2013)

Bassan ve ark.(1980) tarafından yapılan çalışma, benzer ürünlerin dikkate alınarak bir deponun iç düzen tasarımını boyutlandırılan matematiksel bir modelin tanımlandığı ve önceki çalışmanın genişletildiği bir çalışmadır [31]. Muppani ve Adil (2005)

yaptıkları çalışmada; ürünler benzer değildir, depolama ve toplamanın da dikkate alındığı üçüncü boyutu hesaba katmışlardır [27].

Problemin karmaşıklığından özellikle gerçek uygulamalardan dolayı Kennedy ve Eberhart (1996), yaptıkları çalışmada tavsiye edilen meta buluşsal, heuristik temelli parçacık sürü optimasasyonu (Particle Swarm Optimization) dikkate almıştır [32]. Jarvis ve McDowell (1991), yaptıkları çalışmada ortalama sipariş toplama zamanını azaltmak için sipariş toplama deposundaki ürün yerleştirme stratejisini tavsiye etmişlerdir. Ayrıca, daha etkin sonuçlar elde etmek için stokastik bir model geliştirilmiştir [33].

Bu alanda, bazı önemli işlevsel kısıtları göz önüne alarak ürün atama problemini formüle etmek için geliştirilen ve önemli bir katkı sağlayan lineer matematik bir model, Sanei (2011) tarafından yapılan çalışmada gösterilmiştir [34]. Özellikle bu çalışmada, envanter yönetimini basitleştirmek ve teçhizat kullanımını arttırmak için her bir ürünün ayrı bir alana konulmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Bizim çalışmamızda ise çok katmanlı depoda düzen tasarımı ve birlikte depolanabilen benzer ürün atama problemini içerdiğinden dolayı Bassan ve ark.(1980) ile Guerriero ve ark.(2013) tarafından yapılan çalışmalarda önerilen matematiksel programlama modelleri referans alınmıştır. Örnek Bir Depo Düzeni Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Litaratür incelemesi sonucunda yapılan çalışmalar arasında Guerriero ve ark.(2013) tarafından yapılan çalışma, yaptığımız çalışmaya çok sayıda ürünü çok katmanlı depoya atama problemini içermesinden dolayı en fazla ortak özelliğe sahip olan bir çalışmadır. Guerriero ve ark.(2013) tarafından yapılan çalışmanın da amacı belirli kısıtlar dahilinde belirli sınıflara ait malzemeleri çok katmanlı depo içersine atama olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı bir çok lojistik probleme getirilmeye çalışılan çözüm önerileri ile aynıdır; mümkün olduğu kadar teslim alma zamanını, envanter sürecini, toplam lojistik maliyeti azaltmak ancak aynı zamanda hizmet kalitesini yükseltmektir. Söz konusu çalışmada, problemi temsil eden matematiksel lineer bir model geliştirilmiş



ve modelin işlevselliği gerçeğe yakın değişik örnekler üzerinde değerlendirilmiştir ve modelin parametleri ile ilgili duyarlılık analizi yapılmıştır.

Litaratür incelemesi sonucunda ayrıca lojistik fonksiyonlar içerisinde önemi vurgulanan depo tasarımı ve depo yönetimi uygulamasına ilişkin kozmetik alanda Hopbaoğlu(2009) tarafından yapılan çalışma, etkin bir depo tasarımı ile tedarik zincirinde ve lojistik süreçlerde kalite ve tasarruf sağlanabileceğine dikkat çeken bir çalışmadır.

Bu çalışma, lojistik etkinliklerin büyük bir bölümünün gerçekleştiği depolardaki operasyonları ve bu operasyonlardaki alt süreçleri detaylandırmakta ve süreçlerin birbiri ile entegre ve etkin çalışmasını mümkün kılacak depo tasarımına yönelik bir yol haritası niteliği taşımaktadır.

## **2.6. Savunma Sektöründe Depolama**

Savunma sektöründe depolama, Uluslararası Standartlar esas alınarak yapılmaktadır. Depolama ile ilgili esaslar aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir:

### **2.6.1 Depolama Esasları**

Özel maksatlı malzemeler ve patlayıcı maddelerin, özel olarak imal edilmiş ve yalnızca bu maksatla kullanılan depolarda muhafaza edilmesi tercih edilmektedirler. Ancak zorunlu hallerde, standart deponun olmadığı hallerde, olağanüstü şartlarda; asgari ısı, nem ve havalandırma gereksinimlerini sağlayan yapılar da bu maksatla kullanılabilir. Bir deponun boşaltılması durumunda depo mutlaka kontrol edilir. Depolar devamlı olarak kapalı, kilitli ve mühürlü tutulur. Depolama faaliyetleri uzman personel tarafından yapılır.

### **2.6.2 Birlikte Depolanma Kriterleri**

Özel maksatlı malzemeler, patlayıcı maddeler birlikte depolandıklarında tehlike ortaya çıkarmayacak şekilde depolanmaya dikkat edilir. Özel maksatlı malzemeler,

ve patlayıcı maddelerin teknik özellikleri birlikte depolanma kriterlerini belirlemektedir. Her cins malzemenin ayrı ayrı depolanması istenen bir durumdur ve en güvenilir yoldur. Ancak bu yöntem çok fazla miktarda depo ihtiyacını ortaya çıkarır dolayısıyla uygulanması çok zor bir yöntemdir.

### **2.6.3. Depo İçi Yerleşim Esasları**

Malzemenin ağırlığı, hacmi; yığınların yüksekliği, yığınların ağırlığı, yığınların hacmi, ana ve ara koridorların mesafeleri; depolanan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle birbiriyle depolanabilme durumları gibi kıstaslar göz önünde bulundurularak depolama işlemi yapılır.

- Malzemeler, orijinal kutularda tutulur.
- Malzemeler, üretildikleri parti grupları esas alınarak depolanır.
- Farklı parti gruplarının üst üste yerleştirilmesi durumunda grupları birbirinden ayırmak için araya çeşitli malzeme ve işaretler konur.
- Yeteri kadar ana ve ara koridor kullanılmalıdır.
- İstiflerin üzerine bilgi kartları takılır.

### **2.6.4. Emniyet Tedbirleri**

- Çalışma esnasında sigara kullanılmamalıdır.
- Depoların hemen önünde muhtemel küçük yangınlara ilk aşamada müdahale yapmak maksadıyla kum ve su bulundurulmalıdır.
- Yüksek gerilim hattı geçen yerlere depo yapılmamalıdır.
- Depo/depoların çevresi tel örgülerle çevrilmelidir.
- Deponun dışında ve içersinde ilgili ikaz levhaları ve talimatları bulundurulmalıdır.

## 2.7. Çözüm Yöntemleri ve Tam Sayılı Programlama (Integer Programming)

Tam sayılı programlama (TP), değişkenlerin tamsayı değerler alma zorunluluğunun olduğu bir doğrusal programlama türüdür. Bazı değişkenlerin tamsayı değerlerinin doğal sayı alabildiği problemlere karışık tamsayı programlama denir. Çoğu gerçek hayat problemleri, değişkenlerin tamsayı olması durumunda mantıklı olabilmektedir. Doğrusal programlama bölünme özelliğinden dolayı bu ihtiyacı karşılamaz. TP, ile ilgili bir çok çalışma olmasına rağmen etkin bir çözüm yolu halen geliştirilememiştir.

Doğrusal programlamanın bölünme özelliğinin kalktığı (değişkenlerin 0, 1, 2,... gibi değerler aldığı) tamsayı programlama uygulamalar yaygındır. Bir diğer çok önemli uygulama da karar durumlarının (evet-hayır) modellendiği tamsayı programlamadır:

Bu modellere ikili (binary) veya 0-1 tamsayı programlama denir.

Değişkenler: Eğer karar  $j$  olumlu (evet) ise  $x_j = 1$ ;

Eğer karar  $j$  olumsuz (hayır) ise  $x_j = 0$  şeklindedir.

Tam sayılı programlama tekniği, doğrusal programlamanın bir uzantısı olup doğrusal programlamada meydana gelebilecek gerçekçi olmayan sonuçları ortadan kaldırmayı amaçlar. Bazı doğrusal programlama modellerinde sonuçların tam sayı çıkmaması problemin gerçek hayattaki problemlere uygunluğunu bozmaktadır. Örneğin bir üretim probleminde masa ve sandalye üretimi yapılacaksa sonuçların kesirli çıkması gerçekçi olmamaktadır. Sonuçların tam sayıya yuvarlatılması bazı kısıtları bozabileceği için çözüm olmamaktadır. Tam sayılı programlama tekniği, kısıtları bozmadan sonucun tam sayı olmasını sağlamaktadır.

Bir doğrusal programlama problemi çözüldüğünde uygun bir tamsayı (integer) çözümü bulunmuşsa sorun yoktur. Ancak sonuçların tamsayı çıkmaması durumunda ve çözümün tamsayı olması isteniyorsa probleme yeni bir kısıt ekleyerek işleme devam etmek mümkündür. Eklenen bu yeni kısıt (kesme) orijinal kısıtlar altında mümkün olabilecek tüm tamsayı çözümleri içeren yeni bir çözüm bölgesi meydana getirir ancak ilk çözümde bulunan tam sayı olmayan çözümü içermez.

### 3. MEVCUT DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Savunma ihtiyacı kapsamına giren her türlü özel veya genel maksatla kullanılan, teçhizat ve malzemeler için yapılan harcamaların büyüklüğü ve gerekliliği bilinen bir gerçektir. Bizim çalışmamızın temel maksadı da üretimi ileri teknoloji gerektiren, maliyeti yüksek, özel bir iklim ve bakım sistemine sahip çeşitli malzemelerin depolara atanmasında kullanılabilen uygun çoklu matematiksel depo atama modelini oluşturmaktır.

#### 3.1. Mevcut Depolama Düzenleri

Malzeme depolarında miktar ve çeşitliliği çok fazla miktarda olan malzeme depolanmaktadır. Genel olarak bazı depolarda tespit edilen yanlış uygulamalardan en çok dikkat çekici olanlar şunlardır:

- Malzemeler, tavana 5-10 cm. yaklaşacak yükseklikte depolanmıştır.
- Yığınlar (bloklar), depolama alanı ihtiyacına göre oluşturulmaktadır; hacim ve ağırlık şartları dikkate alınmamaktadır.
- Bazı depolarda girişten itibaren veya yığınlar (blok) arasındaki ara koridorlarda uygun genişlikte boşluk bırakılmamakta, hatta bazı ara koridorlar malzemeyle kapatılmış bulunmaktadır.
- Aynı depo içinde farklı sınıflara, gruplara ait malzemeler bulunmaktadır.
- Birim alana konabilecek en fazla malzeme miktarı kuralı göz ardı edilmektedir.
- Malzemelerin depolara atanmasında malzemeler arasında herhangi bir sıralama veya sınıflandırma yoktur.
- Bazı malzemelerin aynı depoda beraber bulunması kimyasal, fiziksel ve sağlığa uygunluk bakımından istenmeyen sonuçlara ve sağlık problemlerine sebep olabilir; bu nedenle bazı malzemelerin aynı depoya konmaması gerekmektedir.
- Depoların birbirlerine olan mesafesi değişiklik göstermektedir.
- Depolama, en son gelen malzeme en yakın boş olan yere yerleştirilmesi esasına göre yapılmaktadır.

### **3.2. Uygun Olmayan Depolama Sonuçları**

Uygun olmayan depo ataması ve depo yerleşimi sonucunda;

- Gerçek depo ihtiyacının hesaplanmasında zorluklarla karşılanmaktadır.
- Depolama kapasitesi etkin ve verimli şekilde kullanılamamaktadır.
- Plansız olarak tedarik edilen malzemelerin depolanmasında zaman ve işgücü kaybı oluşmaktadır.
- Depo ataması ve depo yerleşimi sezgisel olarak yapıldığından daha fazla bir planlama ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.
- Envanter kontrol ve takibi zorlaşmakta; mükerrer malzeme siparişleri meydana gelmektedir.
- Uygun olmayan depolama koşullarından dolayı malzemelerin depo içinde bakımı yapılamamakta ve kullanılmaz hale gelebilmektedir.
- Depolar arasında veya müşteriye malzemeler istenen zamanda transfer edilememektedir.
- İhtiyaç fazlası malzemeler depolanmaktadır.
- Birim alana konması gereken maksimum malzeme miktarına dikkat edilmemesi zeminde kaymalara neden olabilmektedir.
- Transfer, bakım ve sayım faaliyetleri doğrulukla yapılamamaktadır. Etkin yapılamayan ve tekrarlanan sayım, bakım ve zamanında yapılmayan transfer faaliyetleri zaman ve işgücü kaybına, malzeme ikmal etkinliğinin azalmasına neden olabilmektedir.

Sonuç olarak depolanan malzemenin özelliğine ve müşterinin ihtiyacına göre istenen malzemenin; istenen yerde, istenen zamanda ve istenen miktarda bulunması hayati öneme haiz olabilir. Meydana gelen gecikmelerin istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olabileceği değerlendirilmektedir.

### **3.3. Uygun Depolama Şartlarının Oluşturulması**

Malzeme çeşitliliğinin artmasıyla birlikte artan depo/alan ihtiyacı gelen bir yükün doğru malzeme grubu alanında yerleştirilebilmesi için uygun olan boş depolama alanının mevcut olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle; etkin depo atama yöntemi

kritik bir öneme sahiptir. Ortak amaç, kısıtları ve ihtiyaçları karşılayan diğer depo atmaları içinde en iyi depo atama yöntemini bulmaktır [11].

**Depo atama yöntemi olarak; belirli kısıtlar dâhilinde** aile grubu temelli depolama atama yönetimi esas alınmıştır. Ana fikrimiz, öncelikle atamaya tabi tutulacak malzemeleri, aile gruplarına göre (malzeme grubu) sınıflandırmaktır. Malzemelerin çeşitliliği ve benzerlikleri aile gruplandırmasını hem gerekli hale getirmekte hem de malzemelerin ikmali bakımından işletmene ve müşterilere kolaylıklar sağlamaktadır. Çünkü müşterilerin belirli bir ürün ile beraber benzer bir ürün için de istekte bulunma eğilimleri değişiklik göstermemektedir. Bu durumda, benzer ürünleri birbirine yakın olarak yerleştirmek uygun bir yöntem olabilir. Bu yöntem diğer bir depo atama yöntemi ile birleştirilebilir. Modelde tam devir (ciro) esaslı depo ataması ile birlikte aynı zamanda aile grubu atama yöntemi birlikte kullanılmıştır.

Aynı aile grubuna ait birer adet malzemedan oluşan grup, aile malzeme grubu olarak tanımlanmıştır. Çalışmamızın bundan sonraki bölümlerinde aile malzeme grubu tanımı kullanılmaktadır. Aile malzeme gruplarının oluşturulmasını müteakiben ikinci öncelikli olarak yapılması gereken aile grupları arasında depo atamasında öncelik sağlayacak olan sıralamanın yapılmasıdır. Söz konusu sıralama; her aile malzeme grubunu birer grup olarak kabul ederek aile malzeme gruplarının kendi aralarında sıralaması/sınıflandırması şeklinde yapılmıştır. Bu sıralama tam devir (ciro) esaslı depo ataması yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntemde ürünler, devir sayısına göre depolama alanına yerleştirilir. En yüksek satış miktarına sahip ürünler, en kolay alınabilecek yerlere genelde deponun girişine yerleştirilir. Satış devri az olan ürünler, deponun biraz daha gerisindeki bir yere yerleştirilir.

Dolayısıyla çalışmamızda malzemelerin sınıflandırılmasında ve depolara atanmasında başvurduğumuz yöntem, aile grubu ile tam devir esaslı depo ataması yönteminin birlikte uygulandığı karma bir yöntemdir. Ayrıca model, atama önceliği olan aile malzeme grubunun atanmasından sonra ortaya çıkabilecek boş depolama alanına ikinci sıradaki aile malzeme grubunun atanmasına imkân sağlamaktadır. Öncelik sırasına göre her aile malzeme grubu daha sonra en yakın depoya atanır. Depo içindeki atamalar ise ilgili aile malzeme gruplarını oluşturan malzemelerin

önce grup içersinde sonra diğer malzeme gruplarıyla kıyaslanması sonucu oluşan tam devir esaslı depo ataması yöntemine göre aynı model esas alınarak yapılabilir.

Modelimizde ise tam devir esaslı depo atamasına göre sınıflandırmaya tabi tutulan aile malzeme grupları, depo/aile malzeme grubu ikilisinin arasındaki ilişkiye göre oluşturulan matriste belirtilen depolama katsayılarına göre depolara atanmaktadır. Malzemelerin depolara atanmasından sonra, depo içersinde çok katmanlı olarak atanması ve yığın (blok) haline getirilmesi modelimizde kullandığımız esaslar dâhilinde ayrı bir çalışma kapsamında yapılabilir.

Bu yöntemle depolamanın avantajları şunlardır:

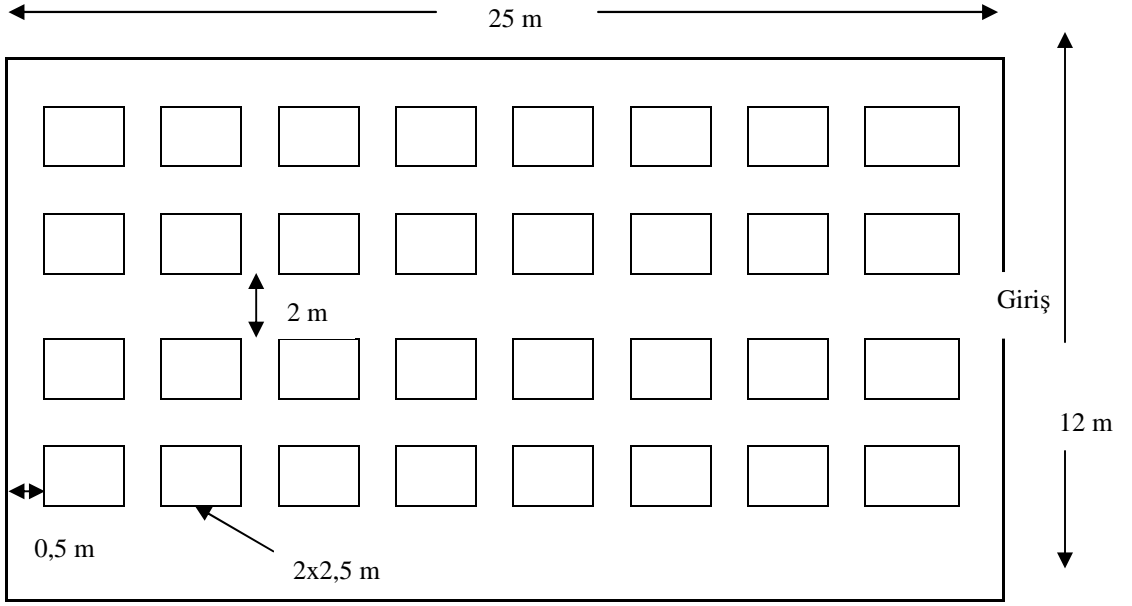
- Her malzeme cinsi için ayrı sınıflandırma yapılması, hareket zamanına bağlı olarak zaman tasarrufu sağlamaktadır.
- Hızlı devir eden malzemeler depoya yakın yere depolanabilir.

Bu bölümde, çalışmamızda ele alınan problemin çözümüne yönelik ihtiyaç duyulan kısıtların detaylı olarak tanımı yapılmış ve uygun çözüm şekli ortaya konmaya çalışılmıştır. Müteakip maddelerde belirtilen ve birbiriyle uyumlu olan kısıtlar dikkate alınarak depo ataması gerçekleştirilecektir. Çoklu malzeme gruplarının ortak özellikleri ve devir sayıları ile depolar arasındaki mesafeler dikkate alınarak aile malzeme grupları oluşturulmuş; idare binasına en yakın depodan en uzak depoya doğru çoklu sayıda depoya atanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma, çok katmanlı depo tasarımı, sınıflandırılmış aile grupları arasında uygun kısıtların dikkate alındığı [29] nu.lı referansta belirtilen modelin geliştirilmiş bir şekli olarak kabul edilebilir. Şekil 2.3'de gösterilen depo düzeni, çalışmamıza uygun ve uygulanabilir olarak geliştirilmiş ve Şekil 3.1, 3.2 ve 3. 3'de gösterilmiştir. Depolara atanması ve yerleştirmesi amaçlanan 89 kalem malzeme temel ortak kimyasal, fiziksel ve ikame özellikleri dikkate alınarak 10 farklı aile malzeme grubuna ayrılmıştır. Modelde her malzeme için minimum ve maksimum ihtiyaç miktarlarını belirleyen kısıtlar bulunmaktadır. Modelde depo sayısı 20 olarak kabul edilmiştir.

Depolama katsayısı, aile malzeme grubu devir katsayısı ve en yakın depo ölçütüne göre oluşturulan matris sonucunda meydana gelmiştir. Amaç en fazla fayda sağlayan

aile grup malzemesini, belirlenmiş kıstaslar dâhilinde en uygun depoya atanmasını sağlamaktır.

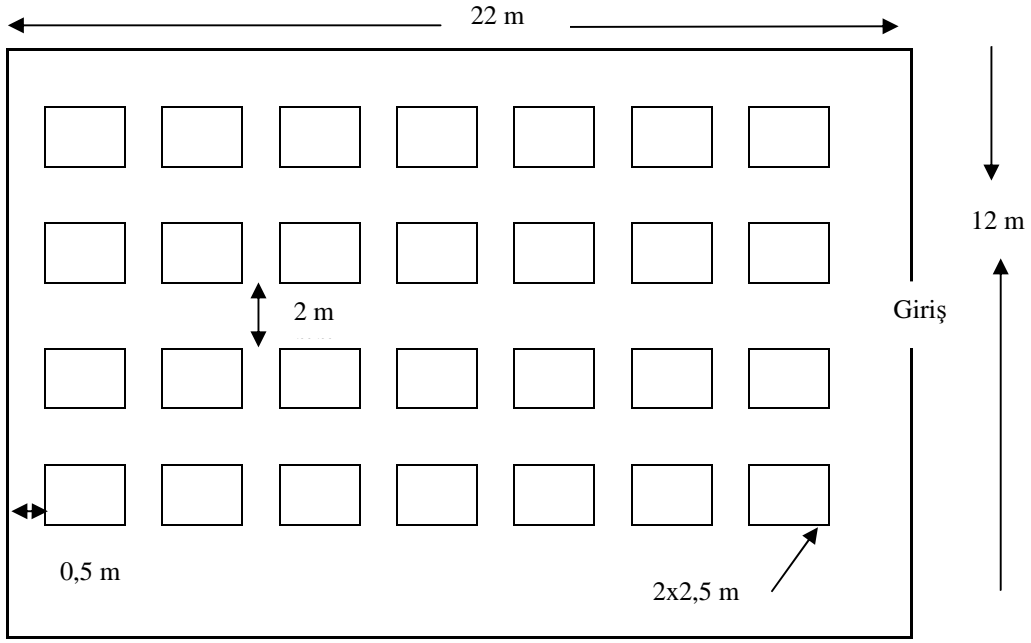


**Şekil 3.1** Büyük Hacimli (640 m<sup>3</sup>) Depo Düzeni

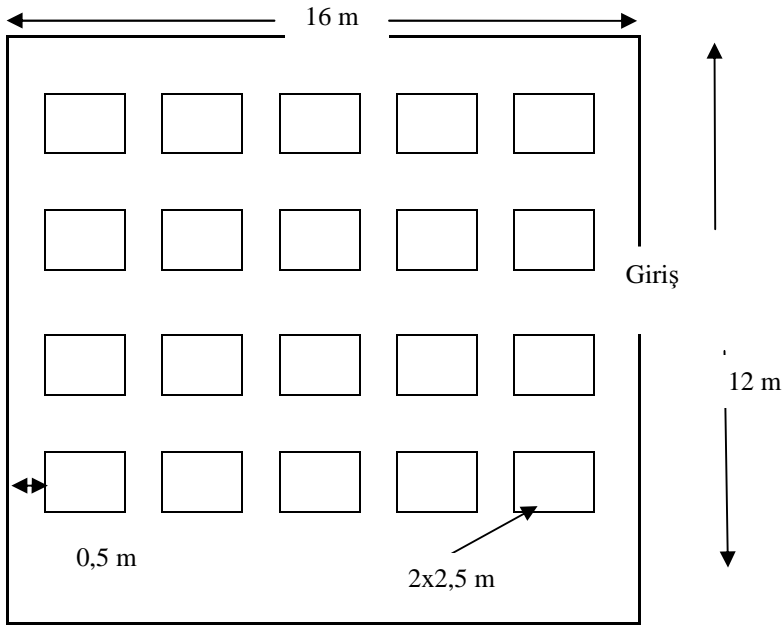
### 3.3.1. Yığın Oluşturan Malzeme Miktarı ve Yığın Boyutlarının Belirlenmesi

Yığınların oluşturulması; depo içi malzeme toplama tasarımı ve uygun sayıda ve genişlikte koridorların belirlenmesi problemi ile yakından ilgilidir. Yığınların tasarımı için yığın sayısının belirlenmesi, her bir depolama alanındaki yığın numarası, genişliği ve uzunluğunun belirlenmesi gereklidir.





**Şekil 3.2** Orta Hacimli (560 m<sup>3</sup>) Tip Depo Düzeni



**Şekil 3.3.** Küçük Hacimli (400m<sup>3</sup>) Depo Düzeni

Malzemelerin yığın bütünlüğünün olmaması veya bozulması; malzemenin bulunduğu yerin tespitinde zorluklara sebep olmaktadır. Malzemenin bulunduğu yerin tespiti tahmin edilmeye çalışılmakta, bulunduğu yerin tespiti ve kayıt altına alınması daha fazla zaman ve işgücü harcanmasına neden olmaktadır. Hatta mükerrer siparişlerin

yapılması durumu ortaya çıkmaktadır. Mükerrer siparişler ise işletmenin kârının azalmasına veya zarar etmesine yol açabilir.

Yığın bütünlüğünün sağlanması aşağıda belirtilen faydaların ortaya çıkmasını sağlamaktadır:

- Malzemelere ulaşılabilirliği hızlandırmaktadır.
- Birim alana yerleştirilebilecek maksimum malzeme miktarının hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır.
- Yığının maksimum yüksekliğinin hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır.
- Envanter kontrolünü ve takibini etkinleştirmekte ve verimliliğini arttırmaktadır.

Deponun tavan yüksekliği, giriş ve ara koridorlar dikkate alındığında yığınların ebatlarının en fazla; 2 m. X 2,5 m. X 4 m. den oluşması gerekmektedir. 4 m., yığının yüksekliğini teşkil etmektedir. M<sup>2</sup>ye en fazla 2 ton, bir yığına (5 m<sup>2</sup> ye) ise en fazla 10 ton malzeme konabilir.

Depo yerleşiminin sadeleştirilmesi ve depolama alanlarının maksimum kullanımını sağlamak amacıyla geçmiş dönemlerde yapılan siparişlerin minimum miktarından az olmamak kaydıyla her kalem malzemedен en az bir yığına konacak miktar kadar seçilmesini tercih edilmiştir. Örnek: 1nci aile malzeme grubu için depo ataması en az 400 kutu olmalıdır. Çünkü 1nci grupta bulunan malzemeler içinde '11' koduna sahip malzemenin en az bir yığın oluşturabilmesi için en az grup 400 kutu olmalıdır. Grupta bulunan diğer malzemelerden ise en az bir veya daha fazla yığın oluşturulabilmektedir.

Çalışmamızda yığınların sayısı, yığınların hacmi, yığınlardaki maksimum ağırlık, depoların hacimleri ile depoların taşıyabileceği maksimum ağırlıkları; yığınların arasındaki mesafeler ile yığınların boyutları dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkarılmış ve modelde 'depoların hacim' ve 'depoların taşıyabileceği maksimum ağırlık' kısıdı olarak kullanılmıştır.

Malzemenin depoya giriş çıkışını hızlandırmak amacıyla aynı yığında tek cins malzeme olması arzu edilen bir durumdur. Ancak depo sayınındaki kısıtlama

nedeniyle ve aynı aile malzeme grubuna ait malzemelerin birbirini ikame imkânı sağlamasından dolayı aynı aile malzeme grubuna ait malzemeler, aynı yığına konması arzu edilmektedir.

### **3.3.2. Giriş ve Ara Koridorlar İçin Uygun Mesafelerin Hesaplanması**

Depoların içinde malzeme atama ve yerleşimlerinin rastgele yapılması, giriş ve ara koridor mesafelerine uyulmaması işçi veya vinç, forklift vb. alet ve makinelerin kullanılmaması sonucunu doğurmaktadır.

Özellikle malzeme teminlerinin partiler halinde ve tahmin edilemeyen zamanlarda yapılması depoların her zaman yeni malzemeler için müsait çalışma ortamına sahip olması gerekliliğini göstermektedir.

Depo içersinde giriş ve ara koridorlar için ihtiyaç duyulan uygun mesafelerin bulundurulmaması; depolama alanına olan ihtiyacı arttırmaktadır. Depolama ihtiyacının karşılanmaması durumunda; uygun olmayan şartlarda depolama, malzemelerin kullanılamaz duruma gelme tehlikesini ortaya çıkarmaktadır.

Depolar içersinde işçilerin, forkliftin ve diğer taşıma ve kaldırma teçhizatının kullanılabilmesi için giriş koridorun en az 2 m., yığınlar arası dikey ve paralel ara koridorların ise en az 1 m. genişliğinde olması gerekmektedir.

Giriş ve ara koridorlar için uygun mesafelerin hesaplanması ve uygulanması aşağıda belirtilen faydaların ortaya çıkmasını sağlamaktadır:

- Depo içinde malzeme atama ve yerleştirmelerinin sadece manüel değil makine ve teçhizat kullanılmasına yani otomatik depolamaya imkân vermektedir.
- Otomatik depolama işgücüne olan ihtiyacı azaltmakta, zamandan tasarruf edilmesini sağlamaktadır.
- Gerçek depo ihtiyacının veya boş depolama kapasitesinin hesaplanmasında kolaylık sağlamaktadır.

- Koridorların boş bulunması, kullanılmaması malzemelerin ezilmesi veya kırılması ihtimalini ortadan kaldırır.
- Depo içinde çalışan kişiler için uygun bir alan, etkin ve verimli bir çalışma ortamı oluşturmaktadır.

Çalışmamızda yığınların sayısı, depoların hacimleri ile depoların taşıyabileceği maksimum ağırlıkları; koridorlar arasındaki mesafeler de dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkarılmış ve modelde ‘depoların hacim’ ve ‘depoların taşıyabileceği maksimum ağırlık’ kısıdı olarak kullanılmıştır.

### **3.3.3. Birim Alanına Yerleştirilecek Malzeme Miktarının Tespiti**

Birim alana atanan malzeme miktarının tespiti kısıdı, hem deponun zemini hem de malzemeler açısından önemlidir. Hem deponun taban alanına uygulanan toplam baccıncı kontrol altında tutarak zeminde kaymalara, çatlamalara ve bozulmalara; hem de malzemelerin birbirlerine baskı uygulayarak malzemelerin veya ambalajlarının ezilmelerine, yırtılmalarına, kırılmalarına mani olmak için birim alana konabilecek maksimum ağırlık şartına uyulması gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen risklerin meydana gelmemesi için m<sup>2</sup>ye en fazla 2 ton, bir yığına (5 m<sup>2</sup> ye) 10 ton malzeme konabilir.

Çalışmamızda birim alanına yerleştirilecek malzeme miktarının tespiti edilmiş ve modelde ‘depoların taşıyabileceği maksimum ağırlık’ şeklinde ifade edilen kısıdın esasını teşkil etmiştir.

### **3.3.4. Yığınların Tavana Olan Mesafesi**

Maksimum yığın yükseklikleri hesaplanırken malzemelerin tavana 50 cm. den fazla olmayacak şekilde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Depoların modelde kısıt olarak kullanılan hacimleri hesaplanırken bu husus dikkate alınmıştır.

Aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı söz konusu kıstasın uygulanması zaruridir:

- Tavanda meydana gelen rutubet ve kirlerden malzemelerin zarar görüp bozulmalarını engeller.
- Tavan ile malzemelerin sürtünüp malzeme veya ambalajların yırtılmasına, ezilmesine, hasar görmesi engellenmiş olur.
- Aydınlatma, yangın ve klima sistemleri için tavanda ihtiyaç duyulan müsait alana ihtiyaç vardır.
- Tavan ile malzeme arasında boşluk olması tavanın kontrol edilmesini, ihtiyaç halinde bakımını ve onarımını kolaylaştırır.

Çalışmamızda depoların yükseklikleri; yığınların tavana 50 cm.den fazla yaklaşılmasına izin vermemektedir.

### **3.3.5. Malzemelerin Devir Sayısına Göre Analiz Edilmesi ve Malzemelerin Uygun Depoya Atanması**

Malzemelerin arasındaki sıralamaya veya sınıflandırmaya esas teşkil edecek olan ölçütün işletmenin politikalarını ve depolama atama ve yerleştirme kararlarını doğrudan etkilemektedir. Seçilecek olan ölçüt belirlenmesi, işletme için en zor kararlardan biridir. Amaç, birçok durumda elden geçirme maliyetini oluşturan faktörlerden biri olan yol mesafesinin azaltmaktır [11].

Hangi malzemenin hangi depoya atanacağını tespit edilmesi açısından malzeme aile grupları arasında sıralama yapılmıştır. Aile malzeme grubunun yıllık devir sayısı ve depoların idari binaya olan mesafelerine göre ‘depolama katsayısı’ oluşturulmuştur. Oluşturulan depolama katsayıları EK 1’de sunulmuştur.

Malzemenin hangi depoya atanacağını tespitinde malzemenin özelliği kadar deponun özelliği de dikkate alınabilir. Ancak bizim teşkil edeceğimiz modelde sadece malzemelerin özellikleri ve depoların idari binaya olan uzaklıkları dikkate alınmıştır; deponun özellikleri göz ardı edilmiştir. En çok tercih edilen, devir hızı yüksek olan malzemelerin yönetim binasına en yakın olan depoya atanması esas alınmıştır.

Malzemelerin uygun depoya atanması aşağıda sıralanan faydaları sağlar:

- En fazla fayda sağlayan veya en fazla devir eden malzemenin en yakın depoya atanması zaman tasarrufu sağlar.
- Yol mesafesinde azalma meydana getirir.
- İşgücü ihtiyacını azaltır.

Amaç fonksiyonu, depolama katsayısı dikkate alınarak modelde maksimum fayda sağlayan malzeme atanması esasına göre formülle edilmiştir.

### **3.3.6. Bazı Aile Malzeme Gruplarının Aynı Depo İçerisinde Birlikte Depolanamaması veya Yalnız Depolanması**

Bazı aile malzeme gruplarının aynı depoda birlikte bulunması aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı tercih edilmemektedir:

- Bazı malzemelerin aynı depo içerisinde yangın, patlama vb. kimyasal reaksiyonların oluşması riskini taşımaktadır.
- Bazı malzemelerin evsaflarının, özelliklerinin kaybolması ve sağlık yönünden kullanılamaz hale gelme tehlikesi söz konusudur.
- Hijyen bakımından negatif sonuçlara, kirlenmelere sebep olabilir.
- 8 ve 9 nu.lı aile malzeme grupları sadece 10 nu.lı aile malzeme grubu ile birlikte depolanmaktadır. Çizelge 3.1’de belirtilen esaslara göre ifade edilmiştir.

### **3.3.7. Minimum İhtiyaç Miktarı:**

Geçmiş dönemlerde yapılan siparişlerin minimum miktarından az olmamak kaydıyla konteynir hacimleri (2\*2,5\*2 m) dikkate alınarak ve aile malzeme gruplarını oluşturan malzemeler arasında en az bir yığın oluşturabilecek miktardaki malzeme sayısı, her aile malzeme grubu için minimum ihtiyaç miktarı olarak belirlenmiştir.

### 3.3.8. Maksimum İhtiyaç Miktarı:

Geçmiş dönemlerde yapılan siparişlerin maksimum miktarından fazla olmamak kaydıyla depoların sayısı, hacmi vb. kısıtlar da göz önüne alınarak malzeme gruplarını oluşturan malzemeler arasında en az bir yığın oluşturabilecek miktardaki malzeme sayısının katları halinde belirlenen miktar, her aile malzeme grubu için elde bulundurulabilecek maksimum stok seviyesi olarak kabul edilmiştir.

**Çizelge 3.1. Birlikte Depolanabilen Aile Malzeme Grupları**

Aile Malz.Gr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
3	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
4	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
5	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
6	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
7	X	+	+	+	+	+	+	X	X	+
8	X	X	X	X	X	X	X	+	X	+
9	X	X	X	X	X	X	X	X	+	+
10	X	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Açıklama: +: Birlikte depolanabilen

X : Birlikte depolanamayan

### 3.3.9. Depoların Hacim Kısıdı:

Malzemelerin yığın halinde gruplandırılması, yığınların tavana 50 cm.den fazla yaklaştırılmaması, giriş ve ara koridorlar için uygun mesafelerin sağlanması neticesinde depolar için hacim sınırlaması ortaya çıkarılmıştır.

### 3.3.10. Depoların Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık Kısıdı:

Madde 2.3'de belirtilen risklerin meydana gelmemesi için m<sup>2</sup>'ye en fazla 2 ton, bir yığına (5 m<sup>2</sup> ye) 10 ton malzeme konabilir. Malzemelerin yığın halinde

gruplandırılması, birim alanına yerleştirilecek malzeme miktarının tespiti ve giriş ve ara koridorlar için uygun mesafelerin hesaplanması neticesinde her cins depo için maksimum ağırlık sınırlamasını ortaya çıkarılmıştır.

**3.3.11. Depo Yerleşim Kısıdı–1 (Herhangi Bir Aile Malzeme Grubunun En Fazla 3 Farklı Depoya Farklı Atanması Kısıdı):**

Her bir aile malzeme grubunun mutlaka bir depoya atanmasını ancak söz konusu atamanın en fazla 3 farklı depoya olmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.

**3.3.12. Depo Yerleşim Kısıdı-2( Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Aile Malzeme Grubunun Atanması Kısıdı):**

Deponun açılması halinde her bir depoya mutlaka bir veya en fazla üç aile malzeme grubunun atanmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.



## 4. UYGUN MODELİN TASARIMI

### 4.1. Birinci Aşama: Depolanacak Malzemelerin Özelliklerinin Tespiti

Modelde 10 farklı aile malzeme grubundan oluşan 89 çeşit malzemenin atanması ve yerleştirilmesi tasarlanmıştır. Gruplar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 rakamlarıyla sembolize edilmiştir. 1'inci aile malzeme grubu 6, 2'nci aile malzeme grubu 8, 3'üncü aile malzeme grubu 10, 4'üncü aile malzeme grubu 13, 5'inci aile malzeme grubu 12, 6'ıncı aile malzeme grubu 11, 7'inci aile malzeme grubu 10, 8'inci aile malzeme grubu 5, 9'uncu aile malzeme grubu 1 ve 10'uncu aile malzeme grubu ise 13 kalem malzemedan oluşmaktadır. Aile malzeme grubu içindeki malzemeler, grup numaraları ve grup içersindeki malzeme numaraları kullanılarak kodlandırılmıştır. Örneğin 1. Aile grubunu oluşturan malzemeler; 11, 12, 13...olarak kodlandırılmıştır. Malzeme kutuları orijinaldir ve üst üste konacak şekilde kuşaklıdır.

Her bir malzemenin bir kutu (ambalaj) içindeki âdeti, kutunun boyutları, kutunun ağırlığı tespit edilmiştir. Daha sonra ise kutuların alanı, hacmi, birim alana ve her yığına konabilecek kutu adetleri hesaplanmıştır.

Modelimizdeki amaç fonksiyonu, belli sayıdaki depo içersine aile gruplarına ve tam devir (ciro) esaslı depo atamasına göre aile malzeme gruplarını en yakın depoya atanmasını ve depoların maksimum kullanımını hedeflemektedir. Bu maksatla, oluşturulan depolama katsayısı matrisi Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Malzemelerin kodu, modelde kullanılan formül kodu, kutusunun ağırlığı, bir kutu içindeki miktar (adet), kutularının boyutları, bir adedinin ağırlığı (kg), kutunun taban alanı ve kutunun hacmine ait Adedi Bilgiler Çizelge 4.2'de 'de sunulmuştur.

Aynı malzemedan oluşan yığınların (2X2,5X4) m<sup>2</sup>'ye en fazla 2 ton ağılık konması ve yükseklik kısıdına göre ( $\leq 4$  m) üst üste konabilecek malzeme kutularından oluşan katman sayısı, ilk sırasındaki ürün sayısı ve malzeme kutularından oluşan katman sayısına göre yığındaki toplam malzeme kutu sayısı, yığının ağırlığı, yığının hacmi, en az yığın sayısı, en çok yığın sayısı, yığınların toplam ağırlığı Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Aynı aile malzeme grubuna ait birer adet malzemenin oluşturduğu aile malzeme grubu hacmi, aile malzeme grubu ağırlığı, minimum ihtiyaç miktarı, maksimum ihtiyaç miktarı, minimum ihtiyaç miktarının hacmi ve ağırlığı, maksimum ihtiyaç miktarının hacmi ve ağırlığı Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

#### **4.2. İkinci Aşama: Depo İçinde Uygun Aralık ve Mesafelerin Tespit Edilmesi**

Çalışmamızdaki depo düzeninde tek bir giriş, bir esas koridor (2 m), yığınlar arasında dikey olarak tasarlanmış koridorlar (1 m.) ve yığınlar arasında ana koridora paralel ara koridorlar (1 m.) ile yığınların duvara yakınlığını belirleyen uygun aralıklar (50 cm.) tasarlanmıştır. Üçüncü boyut olan yükseklik de problemimizde dikkate alınmış; yığınların tavana yaklaşabileceği en yakın mesafe (50 cm.) de modele dahil edilmiştir.

#### **4.3. Üçüncü Aşama: Modelin Matematiksel Olarak Formüle Edilmesi**

Amaç; en fazla fayda sağlayan aile gruplarına ve tam devir (ciro) esasına göre belirlenmiş malzeme gruplarını, belirlenmiş kıstaslar dâhilinde en uygun depoya atanmasını sağlamaktır. Her bir aile malzeme grubu için kullanılan **depolama katsayısı**, aile gruplarının tam devir (ciro) esasına göre sınıflandırması sonucu belirlenen devir katsayısı ile en yakın depo ölçütüne göre oluşturulan matris sonucunda meydana gelmiştir.

Model eniyileme maksadıyla kurulan bir maksimum problemdir. En fazla fayda sağlayan malzeme grubu öncelikle ilk, en yakın depoya atanacaktır. Amaç fonksiyonunun değeri, bir depoya malzeme atanıp atanmaması 0/1 ikilisi, atandığı durumda ise atanma miktarı ve depo/malzeme grubundan oluşan matriste belirtilen depolama katsayısının çarpımlarının toplamından oluşmaktadır.

Kat sayı	Aile Malz. Gr.	Malzeme Grupları		Depolar																				
		Depolama Katsayısı																				Devir Katsayısı	Depo Nu.	Kapasite
10	1.	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	10	640	
9	2.	90	85,5	81	76,5	72	67,5	63	58,5	54	49,5	45	40,5	36	31,5	27	22,5	18	13,5	9	4,5	9,5	640	
8	3.	80	76	72	68	64	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	9	640	
7	4.	70	66,5	63	59,5	56	52,5	49	45,5	42	38,5	35	31,5	28	24,5	21	17,5	14	10,5	7	3,5	8,5	640	
6	5.	60	57	54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	8	640	
5	6.	50	47,5	45	42,5	40	37,5	35	32,5	30	27,5	25	22,5	20	17,5	15	12,5	10	7,5	5	2,5	7,5	640	
4	7.	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	6,5	640	
3	8.	30	28,5	27	25,5	24	22,5	21	19,5	18	16,5	15	13,5	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5	6	640	
2	9.	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	5,5	640	
1	10.	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	5	640	

**Çizelge 4.2.** Malzemelere Ait Adedi Bilgiler

S.NU.	GRUP	KODU	FORMÜL KODU	KUTU AĞ. (KG.)	BİR KUTU İÇİNDEKİ MIKTAR (ADET)	BİR ADETİN AĞIRLIK (KG)	EBATLARI(CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)
							YÜKSEKLİK	EN	BOY		
1	1-A	11	X1	25	1	25	12	20	50	0,1	0,012
2		12	X2	27	1	27	15	15	20	0,03	0,0045
3		13	X3	33	1	33	20	20	25	0,05	0,01
4		14	X4	27	1	27	20	20	40	0,08	0,016
5		15	X5	29	1	29	24	24	50	0,12	0,0288
6		16	X6	41	1	41	20	50	50	0,25	0,05
7	2-B	21	X7	29	16	1,8125	24	32	38	0,1216	0,029184
8		22	X8	25	16	1,5625	24	32	38	0,1216	0,029184
9		23	X9	18	24	0,75	24	32	38	0,1216	0,029184
10		24	X10	24	240	0,1	46	50	50	0,25	0,115
11		25	X11	28	200	0,14	46	50	50	0,25	0,115
12		26	X12	26	50	0,52	20	48	50	0,24	0,048
13		27	X13	10	5000	0,002	20	26	44	0,1144	0,02288
14		28	X14	11	5000	0,0022	20	25	50	0,125	0,025
15	3C	31	X15	60	25	2,4	30	50	50	0,25	0,075
16		32	X16	54	2	27	22	32	108	0,3456	0,076032
17		33	X17	60	2	30	20	32	117	0,3744	0,07488
18		34	X18	57	2	28,5	18	50	120	0,6	0,108
19		35	X19	61	2	30,5	22	36	116	0,4176	0,091872
20		36	X20	52	2	26	22	36	116	0,4176	0,091872
21		37	X21	59	2	29,5	28	50	120	0,6	0,168
22		38	X22	332	200	1,66	30	34	68	0,2312	0,06936
23		39	X23	142	20	7,1	104	110	128	1,408	1,46432
24		310	X24	25	4	6,25	36	36	74	0,2664	0,095904
25	4-D	41	X25	362	6	60,33333333	44	66	100	0,66	0,2904
26		42	X26	115	2	57,5	20	46	90	0,414	0,0828
27		43	X27	364,8	8	45,6	34	64	78	0,4992	0,169728
28		45	X28	396,7	8	49,5875	36	74	94	0,6956	0,250416
29		46	X29	386	8	48,25	36	74	96	0,7104	0,255744
30		47	X30	399	8	49,875	36	74	96	0,7104	0,255744

Çizelge 4.2. (Devam)

S.NU.	GRUP	KODU	FORMÜL KODU	KUTU AĞ. (KG.)	BİR KUTU İÇİNDEKİ MIKTAR (ADET)	BİR ADETİN AĞIRLIK (KG)	EBATLARI(CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)
							YÜKSEKLİK	EN	BOY		
31	4-D	48	X31	389,4	8	48,675	36	74	96	0,7104	0,255744
32		49	X32	399	8	49,875	36	74	96	0,7104	0,255744
33		410	X33	405,7	8	50,7125	36	74	96	0,7104	0,255744
34		411	X34	401	6	66,83333333	70	84	146	1,2264	0,85848
35		412	X35	571	6	95,16666667	50	72	100	0,72	0,36
36		413	X36	599	6	99,83333333	58	80	122	0,976	0,56608
37		414	X37	577	6	96,16666667	58	80	116	0,928	0,53824
38	5-E	51	X38	55	4	13,75	20	32	114	0,3648	0,07296
39		52	X39	60	25	2,4	36	42	52	0,2184	0,078624
40		53	X40	60	25	2,4	36	42	52	0,2184	0,078624
41		54	X41	50	16	3,125	20	32	56	0,1792	0,03584
42		55	X42	55	2	27,5	20	30	94	0,282	0,0564
43		56	X43	55	2	27,5	20	30	94	0,282	0,0564
44		57	X44	37	4	9,25	24	26	62	0,1612	0,038688
45		58	X45	53	2	26,5	22	32	96	0,3072	0,067584
46		59	X46	28	6	4,666666667	26	46	80	0,368	0,09568
47		510	X47	33	6	5,5	26	46	80	0,368	0,09568
48		511	X48	37	6	6,166666667	24	42	80	0,336	0,08064
49		512	X49	57	3	19	24	22	160	0,352	0,08448
50	6-F	61	X50	60	2	30	20	34	110	0,374	0,0748
51		62	X51	21	20	1,05	22	34	44	0,1496	0,032912
52		63	X52	28	40	0,7	30	40	55	0,22	0,066
53		64	X53	28	40	0,7	30	40	55	0,22	0,066
54		65	X54	48	40	1,2	22	52	64	0,3328	0,073216
55		66	X55	26	80	0,325	20	40	46	0,184	0,0368
56		67	X56	40	40	1	28	38	58	0,2204	0,061712
57		68	X57	40	40	1	28	38	58	0,2204	0,061712
58		69	X58	24	30	0,8	28	28	48	0,1344	0,037632
59		610	X59	223	30	7,433333333	20	34	48	0,1632	0,03264
60	7-G	611	X60	42	40	1,05	28	28	48	0,1344	0,037632

Çizelge 4.2. (Devam)

S.NU.	GRUP	KODU	FORMÜL KODU	KUTU AĞ. (KG.)	BİR KUTU İÇİNDEKİ MIKTAR (ADET)	BİR ADETİN AĞIRLIK (KG)	EBATLARI(CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)
							YÜKSEKLİK	EN	BOY		
61	7-G	71	X61	55,3	2	27,65	20	30	94	0,282	0,0564
62		72	X62	56,3	2	28,15	20	30	94	0,282	0,0564
63		73	X63	365, 2	8	45,65	34	68	80	0,544	0,18496
64		74	X64	25,9	3	8,633333333	18	36	76	0,2736	0,049248
65		75	X65	25,9	3	8,633333333	18	36	76	0,2736	0,049248
66		76	X66	58	4	14,5	24	32	96	0,3072	0,073728
67		77	X67	51	4	12,75	24	32	96	0,3072	0,073728
68		78	X68	52	2	26	20	32	98	0,3136	0,06272
69		79	X69	23	60	0,383333333	22	48	54	0,2592	0,057024
70		710	X70	39	40	0,975	28	38	58	0,2204	0,061712
71	8-H	81	X71	55,3	2	27,65	30	32	96	0,3072	0,09216
72		82	X72	382, 3	8	47,7875	34	68	82	0,5576	0,189584
73		83	X73	37,9	2	18,95	18	30	82	0,246	0,04428
74		84	X74	36,8	2	18,4	24	32	96	0,3072	0,073728
75		85	X75	24	3	8	36	42	74	0,3108	0,111888
76	9-J	91	X76	12	10	1,2	10	50	100	0,5	0,05
77	10-S	101	X77	22,5	2500	0,009	20	32	36	0,1152	0,02304
78		102	X78	20	800	0,025	22	26	66	0,1716	0,037752
79		103	X79	10	536	0,018656716	20	30	46	0,138	0,0276
80		104	X80	23	150	0,153333333	28	28	38	0,1064	0,029792
81		105	X81	17	125	0,136	28	28	40	0,112	0,03136
82		106	X82	22	200	0,11	28	32	54	0,1728	0,048384
83		107	X83	37	60	0,616666667	26	32	70	0,224	0,05824
84		108	X84	50	1500	0,033333333	22	26	36	0,0936	0,020592
85		109	X85	38	1040	0,036538462	28	34	38	0,1292	0,036176
86		1010	X86	52	1500	0,034666667	24	38	48	0,1824	0,043776
87		1011	X87	38	3125	0,01216	20	30	46	0,138	0,0276
88		1012	X88	44	3125	0,01408	20	30	50	0,15	0,03
89		1013	X89	43	1800	0,023888889	26	26	32	0,0832	0,021632

**Çizelge 4.3. Yığın Adedi Bilgileri**

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ.(KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	BİR YIĞINDAKİ KATMAN (2X2,5X4 M) SAYISI (ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI)			BİR YIĞINA (2*2,5*4 M) KONABİLEN KUTU SAYISI			YIĞIN AĞIRLIĞI (TON)
			YÜKSEKLİK	EN	BOY		M <sup>2</sup> YE 2 TON KISITINA GÖRE	YÜKSEKLİK KISITIN A GÖRE	SONUÇ (TAMSAYI )	YIĞININ BİRİNCİ SIRASINDAKİ KUTU SAYISI		SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)	
										GERÇEK DEĞER	SONUÇ (TAMSAYI YUVARLAMA)		
1	1	25	12	20	50	0,1	8	33,33	8	50	50	400	10
2		27	15	15	20	0,03	2,22	26,66	2	166,66	166	332	8,96
3		33	20	20	25	0,05	3,03	20	3	100	100	300	9,9
4		27	20	20	40	0,08	5,92	20	5	62,5	62	310	8,37
5		29	24	24	50	0,12	8,27	16,66	8	41,66	41	328	9,51
6		41	20	50	50	0,25	12,19	20	12	20	20	240	9,84
7	2	29	24	32	38	0,12	8,38	16,66	8	41,11	41	328	9,51
8		25	24	32	38	0,1216	9,728	16,66	9	41,11	41	369	9,22
9		18	24	32	38	0,12	13,51	16,66	13	41,11	41	533	9,59
10		24	46	50	50	0,25	20,83	8,69	8	20	20	160	3,84
11		28	46	50	50	0,25	17,85	8,69	8	20	20	160	4,48
12		26	20	48	50	0,24	18,46	20	18	20,83	20	360	9,36
13		10	20	26	44	0,1144	22,88	20	20	43,70	43	860	8,6
14		11	20	25	50	0,125	22,72	20	20	40	40	800	8,8
15	3	60	30	50	50	0,25	8,33	13,33	8	20	20	160	9,6
16		54	22	32	108	0,3456	12,8	18,18	12	14,4	14	168	9,072
17		60	20	32	117	0,37	12,48	20	12	13,35	13	156	9,36
18		57	18	50	120	0,6	21,05	22,22	21	8,33	8	168	9,57
19		61	22	36	116	0,417	13,69	18,18	13	11,97	11	143	8,72
20		52	22	36	116	0,417	16,06	18,18	16	11,97	11	176	9,15
21		59	28	50	120	0,60	20,34	14,29	14,00	8,33	8	112	6,61
22		332	30	34	68	0,23	1,39	13,33	1,00	21,63	21	21	6,97
23		142	104	110	128	1,41	19,83	3,85	3,00	3,55	3	9	1,28
24		25	36	36	74	0,27	21,31	11,11	11,00	18,77	18	198	4,95
25	4	362	44	66	100	0,66	3,65	9,09	3,00	7,58	7	21	7,60
26		115	20	46	90	0,41	7,20	20,00	7,00	12,08	12	84	9,66
27		365	34	64	78	0,50	2,74	11,76	2,00	10,02	10	20	7,30
28		397	36	74	94	0,70	3,51	11,11	3,00	7,19	7	21	8,33
29		386	36	74	96	0,71	3,68	11,11	3,00	7,04	7	21	8,11
30		399	36	74	96	0,71	3,56	11,11	3,00	7,04	7	21	8,38

**Çizelge 4.3. (Devam)**

Ş.NU.	GRUP	KUTU AĞ.(KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	BİR YIĞINDAKİ KATMAN (2X2,5X4 M) SAYISI (ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI)			BİR YIĞINA (2*2,5*4 M) KONABİLEN KUTU SAYISI			YIĞIN AĞIRLIĞI (TON)
			YÜKSEKLİK	EN	BOY		M <sup>2</sup> YE 2 TON KISITINA GÖRE	YÜKSEKLİK KISITIN A GÖRE	SONUÇ (TAMSAYI )	YIĞININ BİRİNCİ SIRASINDAKİ KUTU SAYISI		SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)	
										GERÇEK DEĞER	SONUÇ (TAMSAYI YUVARLAMA)		
31	4	389	36	74	96	0,71	3,65	11,11	3,00	7,04	7	21	8,18
32		399	36	74	96	0,71	3,56	11,11	3,00	7,04	7	21	8,38
33		406	36	74	96	0,71	3,50	11,11	3,00	7,04	7	21	8,52
34		401	70	84	146	1,23	6,12	5,71	5,00	4,08	4	20	8,02
35		571	50	72	100	0,72	2,52	8,00	2,00	6,94	6	12	6,85
36		599	58	80	122	0,98	3,26	6,90	3,00	5,12	5	15	8,99
37		577	58	80	116	0,93	3,22	6,90	3,00	5,39	5	15	8,66
38	5	55	20	32	114	0,36	13,27	20,00	3,00	13,71	13	39	2,15
39		60	36	42	52	0,22	7,28	11,11	7	22,89	22	154	9,24
40		60	36	42	52	0,22	7,28	11,11	7	22,89	22	154	9,24
41		50	20	32	56	0,18	7,17	20	7	27,90	27	189	9,45
42		55	20	30	94	0,28	10,25	20	10	17,73	17	170	9,35
43		55	20	30	94	0,28	10,25	20	10	17,73	17	170	9,35
44		37	24	26	62	0,16	8,71	16,67	8	31,02	31	248	9,18
45		53	22	32	96	0,31	11,59	18,18	11,00	16,28	16	176	9,33
46		28	26	46	80	0,37	26,29	15,38	15	13,59	13	195	5,00
46		28	26	46	80	0,37	26,29	15,38	15	13,59	13	195	5,00
47		33	26	46	80	0,37	22,30	15,38	10	13,59	13	195	6,44
48		37	24	42	80	0,34	18,16	16,67	16	14,88	14	224	8,29
49		57	24	22	160	0,35	12,35	16,67	12	14,20	14	168	9,58
50	6	60	20	34	110	0,37	12,47	20,00	12	13,37	13	156	9,36
51		21	22	34	44	0,15	14,25	18,18	14	33,42	33	462	9,70
52		28	30	40	55	0,22	15,71	13,33	13	22,73	22	286	8,01
53		28	30	40	55	0,22	15,71	13,33	13	22,73	22	286	8,01
54		48	22	52	64	0,33	13,87	18,18	13	15,02	15	195	9,36
55		26	20	40	46	0,18	14,15	20,00	14	27,17	27	378	9,83
56		40	28	38	58	0,22	11,02	14,29	11	22,69	22	242	9,68
57		40	28	38	58	0,22	11,02	14,29	11	22,69	22	242	9,68
58		24	28	28	48	0,13	11,20	14,29	11	37,20	37	407	9,77
59		223	20	34	48	0,16	1,46	20,00	1	30,64	30	30	6,69
60		42	28	28	48	0,13	6,40	14,29	6	37,20	37	222	9,32



**Çizelge 4.3. (Devam)**

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ.(KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	BİR YIĞINDAKİ KATMAN (2X2,5X4 M) SAYISI (ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI)			BİR YIĞINA (2*2,5*4 M) KONABİLEN KUTU SAYISI			YIĞIN AĞIRLIĞI (TON)
			YÜKSEKLİK	EN	BOY		M <sup>2</sup> YE 2 TON KISITINA GÖRE	YÜKSEKLİK KISITIN A GÖRE	SONUÇ (TAMSAYI )	YIĞININ BİRİNCİ SIRASINDAKİ KUTU SAYISI		SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)	
										GERÇEK DEĞER	SONUÇ (TAMSAYI YUVARLAMA)		
61	7	55	20	30	94	0,28	10,20	20,00	10	17,73	17	170	9,40
62		56	20	30	94	0,28	10,02	20,00	10	17,73	17	170	9,57
63		365	34	68	80	0,54	2,98	11,76	2	9,19	9	18	6,57
64		26	18	36	76	0,27	21,13	22,22	21,00	18,27	18	378	9,79
65		6	18	36	76	0,27	21,13	22,22	21	18,27	18	378	9,79
66		58	24	32	96	0,31	10,59	16,67	10	16,28	16	160	9,28
67		51	24	32	96	0,31	12,05	16,67	12	16,28	16	192	9,79
68		52	20	32	98	0,31	12,06	20,00	12	15,94	15	180	9,36
69		23	22	48	54	0,26	22,54	18,18	18	19,29	19	342	7,87
70		39	28	38	58	0,22	11,30	14,29	11	22,69	22	242	9,44
71	8	55	30	32	96	0,31	11,11	13,33	11	16,28	16	176	9,73
72		382	34	68	82	0,56	2,92	11,76	2,00	8,97	8	16	6,12
73		38	18	30	82	0,25	12,98	22,22	12	20,33	20	240	9,10
74		37	24	32	96	0,31	16,70	16,67	16	16,28	16	256	9,42
75		24	36	42	74	0,31	25,90	11,11	11	16,09	16	176	4,22
76	9	12	10	50	100	0,50	83,33	40,00	40	10,00	10	400	4,80
77	10	23	20	32	36	0,12	10,24	20,00	10	43,40	43	430	9,68
78		20	22	26	66	0,17	17,16	18,18	17	29,14	29	493	9,86
79		10	20	30	46	0,14	27,60	20,00	20	36,23	36	720	7,20
80		23	28	28	38	0,11	9,25	14,29	9	46,99	46	414	9,52
81		17	28	28	40	0,11	13,18	14,29	13	44,64	44	572	9,72
82		22	28	32	54	0,17	15,71	14,29	14	28,94	28	392	8,62
83		37	26	32	70	0,22	12,11	15,38	12	22,32	22	264	9,77
84		50	22	26	36	0,09	3,74	18,18	3	53,42	53	159	7,95
85		38	28	34	38	0,13	6,80	14,29	6	38,70	38	228	8,66
86		52	24	38	48	0,18	7,02	16,67	7	27,41	27	189	9,83
87		38	20	30	46	0,14	7,26	20,00	7	36,23	36	252	9,58
88		44	20	30	50	0,15	6,82	20,00	6	33,33	33	198	8,71
89		43	26	26	32	0,08	3,87	15,38	3	60,10	60	180	7,74

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MİN. İHTİYAÇ MİKTARI(MİNİM)	MİNİM HACMİ	MİNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKS. İHTİYAÇ MİKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
1	1	25	12	20	50	0,1	0,012	8	33,3	8	50	50	400	0,121	182,000	400,000	48,520	72800,000	1600,000	194,080	291200,000
2		27	15	15	20	0,03	0,005	2,22	26,67	2	167	166	332								
3		33	20	20	25	0,05	0,01	3,03	20	3	100	100	300								
4		27	20	20	40	0,08	0,016	5,92	20	5	62,5	62	310								
5		29	24	24	50	0,12	0,029	8,27	16,67	8	41,7	41	328								
6		41	20	50	50	0,25	0,05	12,1	20	12	20	20	240								
7	2	29	24	32	38	0,12	0,029	8,38	16,67	8	41,1	41	328	0,388	160,000	860,000	334,052	137600,000	3440,000	1336,206	550400,000
8		25	24	32	38	0,12	0,029	9,728	16,67	9	41,1	41	369								
9		18	24	32	38	0,12	0,029	13,511	16,67	13	41,1	41	533								
10		24	46	50	50	0,25	0,115	20,833	8,70	8	20	20	160								
11		28	46	50	50	0,25	0,115	17,8	8,70	8	20	20	160								
12		26	20	48	50	0,24	0,048	18,4	20	18	20,8	20	360								
13		10	20	26	44	0,11	0,023	22,8	20	20	43,7	43	860								
14		11	20	25	50	0,13	0,025	22,727	20	20	40	40	800								
15	3	60	30	50	50	0,25	0,075	8,3333	13,33	8	20	20	160	2,35	902	168	388,90	151536	672	1555,84	606144
16		54	22	32	108	0,35	0,076	12,8	18,18	12	14,5	14	168								
17		60	20	32	117	0,37	0,075	12,48	20,00	12	13,4	13	156								

Çizelge 4.4. Aile Malzeme Gruplarına Ait Bilgiler

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMI	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MİN.İHTİYAÇ MİKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKSİMUM İHTİYAÇ MİKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
18	3	57	18	50	120	0,6	0,108	21,053	22,22	21	8,33	8	168	2,35	902	168	388,90	151536	672	1555,84	606144
19		61	22	36	116	0,42	0,092	13,692	18,18	13	12	11	143								
20		52	22	36	116	0,42	0,092	16,062	18,18	16	12	11	176								
21		59	28	50	120	0,6	0,168	20,339	14,29	14	8,33	8	112								
22		332	30	34	68	0,23	0,069	1,3928	13,33	1	21,6	21	21								
23		142	104	110	128	1,41	1,464	19,831	3,85	3	3,55	3	9								
24		25	36	36	74	0,27	0,096	21,312	11,11	11	18,8	18	198								
25		362	44	66	100	0,66	0,29	3,6464	9,09	3	7,58	7	21								
26	4	115	20	46	90	0,41	0,083	7,2	20,00	7	12,1	12	84	4,395	5365,600	84,000	369,169	450710,400	420,000	1845,843	2253552,000
27		365	34	64	78	0,5	0,17	2,7368	11,76	2	10	10	20								
28		397	36	74	94	0,7	0,25	3,5069	11,11	3	7,19	7	21								
29		386	36	74	96	0,71	0,256	3,6808	11,11	3	7,04	7	21								
30		399	36	74	96	0,71	0,256	3,5609	11,11	3	7,04	7	21								
31		389	36	74	96	0,71	0,256	3,6487	11,11	3	7,04	7	21								

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMI	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MIN.İHTİYAÇ MIKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKSİMUM İHTİYAÇ MIKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	SONUÇ(TAMSAYI KISITI)	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
32	4	399	36	74	96	0,71	0,256	3,5609	11,11	3	7,04	7	21	4,395	5365,600	84,000	369,169	450710,400	420,000	1845,843	2253552,000
33		406	36	74	96	0,71	0,256	3,5021	11,11	3	7,04	7	21								
34		401	70	84	146	1,23	0,858	6,1167	5,71	5	4,08	4	20								
35		571	50	72	100	0,72	0,36	2,5219	8,00	2	6,94	6	12								
36		599	58	80	122	0,98	0,566	3,2588	6,90	3	5,12	5	15								
37		577	58	80	116	0,93	0,538	3,2166	6,90	3	5,39	5	15								
38		5	55	20	32	114	0,36	0,073	13,265	20,00	3	13,7	13								
39	60		36	42	52	0,22	0,079	7,28	11,11	7	22,9	22	154								
40	60		36	42	52	0,22	0,079	7,28	11,11	7	22,9	22	154								
41	50		20	32	56	0,18	0,036	7,168	20,00	7	27,9	27	189								
42	55		20	30	94	0,28	0,056	10,255	20,00	10	17,7	17	170								
43	55		20	30	94	0,28	0,056	10,255	20,00	10	17,7	17	170								
45	53		22	32	96	0,31	0,068	11,592	18,18	11	16,3	16	176								
46	28		26	46	80	0,37	0,096	26,286	15,38	15	13,6	13	195								
47	33		26	46	80	0,37	0,096	22,303	15,38	15	13,6	13	195								
48	37		24	42	80	0,34	0,081	18,162	16,67	16	14,9	14	224								
45	53		22	32	96	0,31	0,068	11,592	18,18	11	16,3	16	176								

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MIN.İHTİYAÇ MIKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKS.İHTİYAÇ MIKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	DEĞER	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
46	5	28	26	46	80	0,37	0,096	26,286	15,38	15	13,6	13	195	0,842	580	248	208,717	143840	992	834,867	575360
47		33	26	46	80	0,37	0,096	22,303	15,38	15	13,6	13	195								
48		37	24	42	80	0,34	0,081	18,162	16,67	16	14,9	14	224								
49		57	24	22	160	0,35	0,084	12,351	16,67	12	14,2	14	168								
50	6	60	20	34	110	0,37	0,075	12,467	20,00	12	13,4	13	156	0,581056	580	462	268,447872	267960	1848	1073,791488	1071840
51		21	22	34	44	0,15	0,033	14,248	18,18	14	33,4	33	462								
52		28	30	40	55	0,22	0,066	15,714	13,33	13	22,7	22	286								
53		28	30	40	55	0,22	0,066	15,714	13,33	13	22,7	22	286								
54		48	22	52	64	0,33	0,073	13,867	18,18	13	15	15	195								
55		26	20	40	46	0,18	0,037	14,154	20,00	14	27,2	27	378								
56		40	28	38	58	0,22	0,062	11,02	14,29	11	22,7	22	242								
57		40	28	38	58	0,22	0,062	11,02	14,29	11	22,7	22	242								
58		24	28	28	48	0,13	0,038	11,2	14,29	11	37,2	37	407								
59		223	20	34	48	0,16	0,033	1,4637	20,00	1	30,6	30	30								
60		42	28	28	48	0,13	0,038	6,4	14,29	6	37,2	37	222								

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI			MALZEME GRUP HACMİ	MALZEME GRUP AĞIRLIĞI	MİN.İHTİYAÇ MİKTARI(MNİM)	MNİM HACMİ	MNİM TOPLAM AĞIRLIĞI	MAKS.İHTİYAÇ MİKTARI(MİM)	MİM HACİM	MİM AĞIRLIK
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	DEĞER	SONUÇ(TAMSAYI KISITI)								
61	7	55,3	20	30	94	0,28	0,056	10,199	20,00	10	17,7	17	170	0,725	751,600	378,000	274,114	284104,800	1512,000	1096,454	1136419,200
62		56,3	20	30	94	0,28	0,056	10,018	20,00	10	17,7	17	170								
63		365	34	68	80	0,54	0,185	2,9792	11,76	2	9,19	9	18								
64		25,9	18	36	76	0,27	0,049	21,127	22,22	21	18,3	18	378								
65		25,9	18	36	76	0,27	0,049	21,127	22,22	21	18,3	18	378								
66		58	24	32	96	0,31	0,074	10,593	16,67	10	16,3	16	160								
67		51	24	32	96	0,31	0,074	12,047	16,67	12	16,3	16	192								
68		52	20	32	98	0,31	0,063	12,062	20,00	12	15,9	15	180								
69		23	22	48	54	0,26	0,057	22,539	18,18	18	19,3	19	342								
70		39	28	38	58	0,22	0,062	11,303	14,29	11	22,7	22	242								
71	8	55,3	30	32	96	0,31	0,092	11,11	13,33	11	16,3	16	176	0,512	536,3	240	122,794	128712	960	491,174	514848
72		382	34	68	82	0,56	0,19	2,9171	11,76	2	8,97	8	16								
73		37,9	18	30	82	0,25	0,044	12,982	22,22	12	20,3	20	240								
74		36,8	24	32	96	0,31	0,074	16,696	16,67	16	16,3	16	256								
75		24	36	42	74	0,31	0,112	25,9	11,11	11	16,1	16	176								
76	9	12	10	50	100	0,5	0,05	83,333	40,00	40	10	10	400	0,05	12	400	20	4800	1600	130	19200

Çizelge 4.4. (Devam)

S.NU.	GRUP	KUTU AĞ. (KG.)	EBATLARI (CM)			TABAN ALANI (M2)	HACİM (M3)	ÜST ÜSTE KONABİLEN KUTU SAYISI			BİR YIĞINA (5 M2 'YE) KONABİLEN KUTU SAYISI										
			YÜKSEKLİK	EN	BOY			M2' YE 2 TON KISITINA	YÜKSEKLİK KISITI	SONUÇ (TAMSAYI KISITI)	BİRİNCİ SIRADAKİ KUTU SAYISI	DEĞER	SONUÇ (İLK SIRA X SIRA SAYISI)								
77	10	22,5	20	32	36	0,12	0,023	10,24	20,00	10	43,4	43	430	0,436	416,5	720	313,88	299880	2880	1255,519	1199520
78		20	22	26	66	0,17	0,038	17,16	18,18	17	29,1	29	493								
79		10	20	30	46	0,14	0,028	27,6	20,00	20	36,2	36	720								
80		23	28	28	38	0,11	0,03	9,2522	14,29	9	47	46	414								
81		17	28	28	40	0,11	0,031	13,176	14,29	13	44,6	44	572								
82		22	28	32	54	0,17	0,048	15,709	14,29	14	28,9	28	392								
83		37	26	32	70	0,22	0,058	12,108	15,38	12	22,3	22	264								
84		50	22	26	36	0,09	0,021	3,744	18,18	3	53,4	53	159								
85		38	28	34	38	0,13	0,036	6,8	14,29	6	38,7	38	228								
86		52	24	38	48	0,18	0,044	7,0154	16,67	7	27,4	27	189								
87		38	20	30	46	0,14	0,028	7,2632	20,00	7	36,2	36	252								
88		44	20	30	50	0,15	0,03	6,8182	20,00	6	33,3	33	198								
89		43	26	26	32	0,08	0,022	3,8698	15,38	3	60,1	60	180								

Çizelge 4.4. (Devam)

Çalışmamızdaki modelde 3 farklı karar değişkeni kullanılmıştır. Birinci karar değişkenimiz “bir depoya herhangi bir aile malzeme grubunun atanıp atanmaması”, ikinci karar değişkenimiz “deponun açılıp açılmayacağı” durumu ile “ depoya atanan aile malzeme grubu miktarı”dır.

Modelde kullandığımız parametreler; Depolar dizi (string) olarak, aile gruplarına ve tam devir(ciro) esasına göre belirlenmiş malzeme grupları tamsayı (integer) olarak, depo hacimleri tamsayı (integer) olarak, depolama katsayıları float olarak, deponun taşıyabileceği maksimum ağırlık tamsayı (integer) olarak, aile malzeme grubu ağırlığı float olarak, aile malzeme grubu hacmi float olarak, minimum ihtiyaç miktarı tamsayı (integer) olarak, maksimum ihtiyaç miktarı tamsayı (integer) olarak modelde ifade edilmiştir. Model EK 1’de sunulmuştur.

Çalışmamızda kullandığımız modelin karar değişkenleri, parametreleri ve kısıtları ile matematiksel olarak formüle edilmiş hali aşağıda belirtilmiştir:

#### 4.3.1. Karar Değişkenleri

**$X_{sw}$**  : w’nci depoya s’inci aile malzeme grubunun atanıp atanmamasını ifade etmek maksadıyla oluşturulan ikili (binary,0/1 ) bir karar değişkenidir.

$X_{sw} = 0$  : w’nci depoya s’inci aile malzeme grubunun atanmaması,

$X_{sw} = 1$  : w’nci depoya s’inci aile malzeme grubunun atanması durumunda.

**$Y_{sw}$**  : w’nci depoya atanan s’inci aile malzeme grubu miktarını ifade etmek maksadıyla oluşturulan tamsayı (integer) bir karar değişkenidir.

**$O_w$**  : w’nci deponun açılıp açılmayacağını ifade etmek maksadıyla oluşturulan ikili (binary,0/1 ) bir karar değişkenidir.

$O_w = 1$  : w’nci deponun açılması durumunda,

$O_w = 0$  : w’nci deponun açılmaması durumunda.



#### 4.3.2. Parametreler:

**Depolar:** 20 adet depo modelde dizi (string) olarak 'w' harfiyle simgelenmiştir.

**Aile Malzeme Grupları:** 10 adet aile malzeme grubu tamsayı (integer) 's' harfiyle simgelenmiştir.

**Depo Hacimleri:** Depoların hacimleri modelde tamsayı (integer) olarak depohacmi(w) olarak ifade edilmiştir.

**Depolama Katsayısı:** Her bir aile malzeme grubu ve her bir deponun karşılıklı eşleştirilmesi oluşturulan depolama katsayısı ikili matris şeklinde oluşturulmuş ve modelde float olarak depolamakatsayısı(s)(w) olarak ifade edilmiştir.

**Deponun Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık:** Her bir deponun taşıyabileceği maksimum ağırlı modelde tamsayı (integer) olarak deponunabilecigimaxagirlik(w) olarak ifade edilmiştir.

**Aile Malzeme Grubu Ağırlığı(mga):** Her bir malzeme grubunun ağırlığı modelde float olarak ailemalzemegrubuagirligi[s] olarak ifade edilmiştir.

**Aile Malzeme Grubu Hacmi:** Her bir malzeme grubunun hacmi modelde float olarak ailemalzemegrubuhacmi[s] olarak ifade edilmiştir.

**Minimum İhtiyaç Miktarı:** Her bir malzeme grubunun minimum ihtiyaç miktarı modelde tamsayı(integer) olarak mnim[s] olarak ifade edilmiştir.

**Elde Bulundurulabilecek Maksimum İhtiyaç Miktarı:** Her bir malzeme grubunun elde bulundurulabilecek maksimum ihtiyaç miktarı modelde tamsayı (integer) olarak mim[s] olarak ifade edilmiştir.

#### 4.3.3. Amaç Fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu kısıtlar dâhilinde en fazla miktarda depolama katsayısı en yüksek malzeme grubunun en yakın depoya ve atanmasını sağlamaktadır.

$$MaxZ = \sum_{s=1}^{10} \sum_{w=1}^{20} Y_{sw} * C_{sw}; \quad (4.1)$$

#### 4.3.4. Kısıtlar:

**Depo Yerleşim Kısıdı-1** (Herhangi Bir Malzeme Grubunun En Fazla 3 Farklı Depoya Farklı Atanması Kısıdı): Her bir malzeme grubunun mutlaka bir depoya atanmasını ancak söz konusu atamanın en fazla 3 farklı depoya olmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.

$$\sum_{w=1}^{20} X_{sw} \leq 3, s; \quad (4.2)$$

**Depo Yerleşim Kısıdı-2** (Herhangi Bir Depoya En Fazla 3 Farklı Malzeme Grubunun Atanması Kısıdı) Deponun açılması halinde her bir depoya mutlaka en fazla bir malzeme grubunun atanmasını garanti etmek maksadıyla oluşturulmuş bir kısıttır.

$$\sum_{s=1}^{10} X_{sw} \leq 3, w; \quad (4.3)$$

**Deponun Taşıyabileceği Maksimum Ağırlık Kısıdı:** Deponun açılması halinde her bir depoya atanan toplam aile malzeme grubu ağırlığının taşıyabileceği maksimum ağırlığı sınırını aşmamasını sağlayan kısıttır [13].

$$\sum_s^{10} Y_{sw} * ailemalzemegrubuagirligi[s] \leq deponunlabilecegi \max \ agirlik[s], w; \quad (4.4)$$

**Depo Hacim Kısıdı:** Deponun açılması halinde her bir depoya atanan toplam aile malzeme grubu hacminin, deponun alabileceği maksimum hacim sınırını aşmamasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_s^{10} Y_{sw} * malzemegrubuhacmi[s] \leq depohacmi[s], w; \quad (4.5)$$

**Minimum İhtiyaç Miktarı(mnim):** Elde bulundurulması istenen her bir malzeme grubunun minimum ihtiyaç miktarı depolara atanmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_s^{10} Y_{sw} \geq mnim[s], [w]; \quad (4.6)$$

**Aile malzeme grubu Elde Bulundurulabilecek Maksimum İhtiyaç Miktarı Kısıdı(mim):** Elde bulundurulması istenen her bir malzeme grubunun en fazla maksimum ihtiyaç miktarı kadar depolara atanmasını sağlayan kısıttır.

$$\sum_{s=1}^{10} Y_{sw} \leq mim[s], [w] \quad (4.7)$$

**Depoda Yalnız Depolanacak Aile Malzeme Grubu Kısıdı:** 1 no.lu malzeme gruplarının herhangi bir depoya atanması durumunda yalnız olarak atanmalarını sağlayan kısıttır.

$$X_{1w} + X_{1/sw} = 1, ; \quad (4.8)$$

**Depoda Birlikte Depolanmayacak Malzeme Grupları Kısıdı:** Bazı malzeme gruplarının herhangi bir depoya atanması durumunda, birlikte depolanmaması gereken diğer bazı malzeme grupları ile birlikte aynı depoya atanmasını engelleyen kısıtlardır. 8 ve 9 nu.lu malzeme grupları sadece 10 nu.lu aile malzeme grubu ile birlikte depolanmaktadır; diğerleri ile birlikte depolanmamaktadır.

$$X_{2w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.9)$$

$$X_{3w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.10)$$

$$X_{4w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.11)$$

$$X_{5w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.12)$$

$$X_{6w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.13)$$

$$X_{7w} + X_{8w} + X_{9w} \leq 1, \quad (4.14)$$

**Big M Kısıdı:** Depolara atanan malzeme miktarının toplanmasını sağlayan kısıttır.

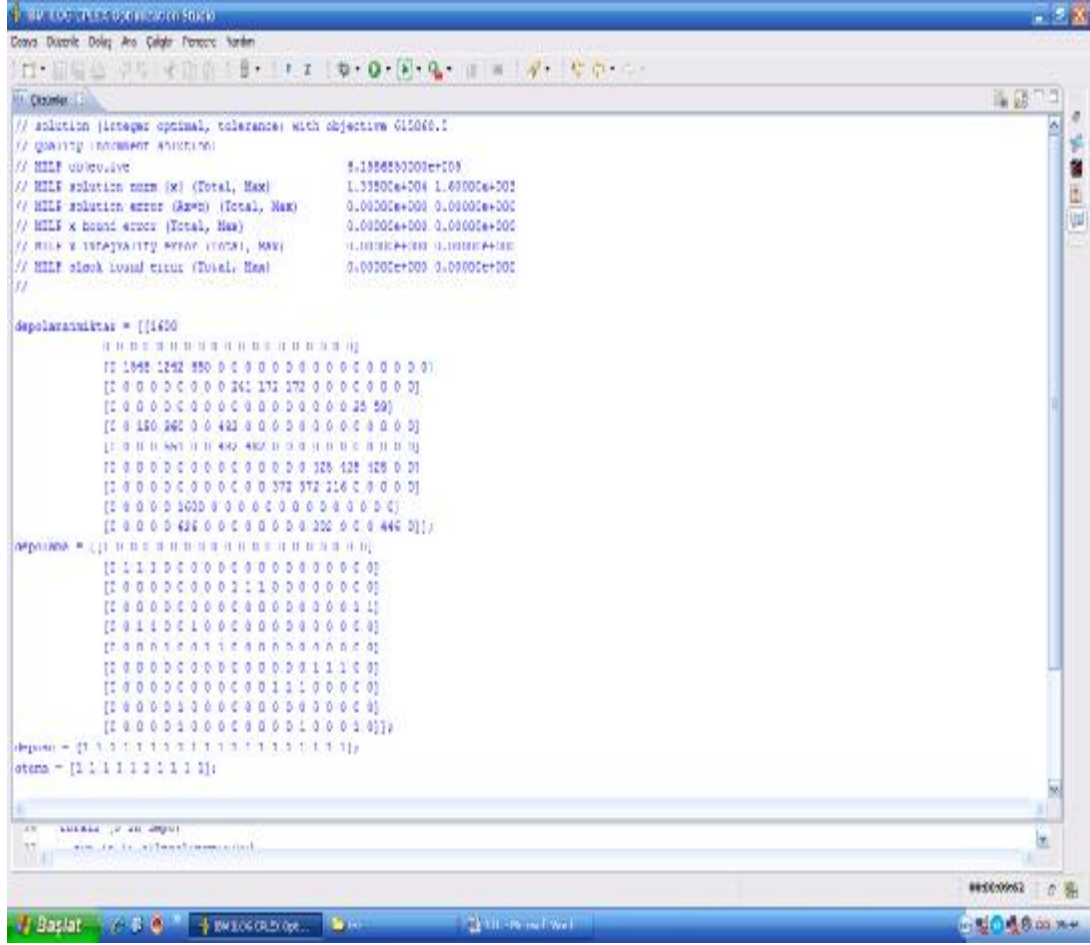
$$\sum_{s=1}^{10} \sum_{w=1}^{20} Y_{sw} \leq 10.000 * X_{sw}; \quad (4.15)$$

**Bir Depoya en Fazla Aynı Cins Malzeme Grubundan 20 Adet Atanması:** Depolara atanan malzeme miktarının alt sınırını belirleyen kısıttır; depoya atama olması durumunda az 20 aile malzeme grubu atanmalıdır.

$$\sum_{s=1}^{10} \sum_{w=1}^{20} Y_{sw} \geq 20 * X_{sw}; \quad (4.16)$$

#### 4.3.5. Modelin Çözümü

Modelin; çözümlenmesinde eniyileme programı olan OPL kullanılmıştır. Sonuçlara ait ekran çıktısı Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Optimal Tamsayı Çözüm Ekranı.

Şekil 4.1’deki çözüm çıktısı incelendiğinde;

- Bütün depolara atama yapıldığı, atıl kalan herhangi bir depo bulunmadığı,
- Bütün aile malzeme gruplarının depolara atamalarının yapıldığı (Çizelge 4.1’de),
- Bütün aile malzeme gruplarının en az minimum ihtiyaç miktarı kadar veya daha fazla atamasının yapıldığı,
- Sonuçların modelde ifade edilen bütün kısıtları karşıladığı,
- Depolama katsayısına göre 1, 2, 5 ve 6’ncı aile malzeme gruplarının ilk depolara atandığı,
- Ancak kısıtların sonucu olarak 3 no.lu aile malzeme grubunun 10, 11 ve 12’nci depoya ve 4’üncü aile malzeme gruplarının ise 19 ve 20’nci depoya atandığı,

- En fazla miktarda atamanın 2 no.lu aile malzeme grubundan olduğu, no. lu aile malzeme grubunun, minimum ihtiyaç miktarı kadar atandığı,
- 1, 2, 5, 8 ve 9 no.lu aile malzeme grubunun, maksimum ihtiyaç miktarı kadar atandığı,
- Herhangi bir depoya en fazla 2 farklı malzeme grubunun atandığı,
- Herhangi bir malzeme grubunun en fazla 3 farklı depoya atandığı, söz konusu malzeme gruplarının 2, 3, 5, 6, 7,8 ve 10 no.lu aile malzeme grubu olduğu,
- Depolama katsayısı ile atanan miktarlar arasında doğrusal bir ilişki olmadığı, duruma örnek olarak yine 4 ve 3 nu. lu aile malzeme gruplarının verebileceği tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Depolara Atanan Aile Malzeme Grup Miktarları.

Aile Malz.Gr. Depolar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Depo1	1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Depo2	-	1548	-	-	-	-	-	-	-	-
Depo3	-	1242	-	-	150	-	-	-	-	-
Depo4	-	650	-	-	360	-	-	-	-	-
Depo5	-	-	-	-	-	551	-	-	-	-
Depo6	-	-	-	-	-	-	-	-	1600	626
Depo7	-	-	-	-	482	-	-	-	-	-
Depo8	-	-	-	-	-	482	-	-	-	-
Depo9	-	-	-	-	-	482	-	-	-	-
Depo10	-	-	241	-	-	-	-	-	-	-
Depo11	-	-	172	-	-	-	-	-	-	-
Depo12	-	-	172	-	-	-	-	-	-	-
Depo13	-	-	-	-	-	-	-	372	-	-
Depo14	-	-	-	-	-	-	-	372	-	-
Depo15	-	-	-	-	-	-	-	216	-	202
Depo16	-	-	-	-	-	-	425	-	-	-
Depo17	-	-	-	-	-	-	425	-	-	-
Depo18	-	-	-	-	-	-	425	-	-	-
Depo19	-	-	-	25	-	-	-	-	-	446
Depo20	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-

#### 4.4. Duyarlılık Analizi

Modelimizde çeşitli kısıtlar üzerinde yapılan değişikliklerin optimal çözüme olan etkisinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Eğer orijinal modelin parametrelerinde bazı değişiklikler meydana gelirse optimal çözüm değişecek midir? Bu maksatla depo sayısı, depo hacmi, depo yerleşim ve depoya atanacak en az aile grubu malzeme miktarları kısıtlarında 11 farklı değişiklik yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Modelimizde 20 adet olan depo sayısı 15 olarak değiştirilmiş ve model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 2’de gösterilmiştir. Çözümde 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir(Çizelge 4.2.).

Daha sonra depo sayısı sırayla 16, 17, 18 ve 19 olarak değiştirilerek model çalıştırılmış ancak her durumda da 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir. 19 adet depoya ait çözüm EK 3’de gösterilmiştir. Mevcut kısıtlarda herhangi bir değişiklik olmaması halinde depo sayılarında herhangi değişikliğin yapılamayacağı yani depolarda azaltmanın/ tasarrufun söz konusu olmayacağı değerlendirilmiştir(Çizelge 4.3.).

**Çizelge 4.2.** 1’inci Analiz: Depo Sayısının 15’e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonksiyonun Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen
<b>Optimal Çözüm</b>	10 büyük, 5 orta, 5 küçük tip	7,585440	-	-
<b>Depo Sayısı</b>	15	6,073545	4 no.lu malz.	-
<b>Fark</b>	-5	<b>1,511895</b>	-1	-

**Çizelge 4.3.** 2'inci Analiz: Depo Sayısının 19'e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonksiyonunun Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen
<b>Optimal Çözüm</b>	9 büyük, 5 orta , 5 küçük	7,585440	-	-
<b>Depo Sayısı</b>	19	<b>6,158090</b>	4 no.lu mal.	-
<b>Fark</b>	-1	<b>1,427350</b>	-1	-

Modelimizde bulunan 10 adet büyük tip deponun (BTD) (640 m3) hepsi; orta tip olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 4'de gösterilmiştir. Çözümde 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.).

**Çizelge 4.4.** 3'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonk.Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen
<b>Optimal Çözüm</b>	10 büyük, 5 orta, 5 küçük tip	7,585440	-	-
<b>BTD, OTD'ya Dönüştürülmesi</b>	<b>15 orta tip</b> , 5 küçük tip	<b>5,978200</b>	4 no.lu malz.	-
<b>Fark</b>	Tip değişimi	<b>1,607240</b>	-	-

Daha sonra modeldeki 10 adet büyük tip deponun (640 m3) sadece ilk 5 adeti; orta tip olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 5'de gösterilmiştir ancak her durumda da amaç fonksiyonunda bir azalmanın olduğu, 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı ve 8 ile 10 nu.lı aile malzeme gruplarının atanan miktarlarında bir miktar azalma olduğu tespit edilmiştir. Mevcut kısıtlarda herhangi bir değişiklik olmaması halinde depo hacimlerinde herhangi değişikliğin yapılamayacağı yani depo hacimlerinde tasarrufun söz konusu olmayacağı değerlendirilmiştir(Çizelge 4.5.). Depo sayısı kısıtında yapılan değişikliklerin amaç fonksiyonu ve malzeme grupları değişkenleri üzerindeki etkileri Çizelge 4.2., Çizelge 4.3., Çizelge 4.4., ve Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5.** 4'üncü Analiz: Depo Sayısının 15'e İndirilmesi.

	Depo Sayısı ve Tipi Kısıtı	Amaç Fonk. Değeri	Malz.Grubu Değişkenleri	
			Hiç Atanmayan Malz.Grubu	Miktarı Değişen Grup
<b>Optimal Çözüm</b>	10 büyük, 5 orta, 5 küçük tip	7,585440	-	-
<b>5 BTD, OTD'ya Dönüştürülmesi</b>	<b>5 büyük, 10 orta, 5 küçük</b>	<b>5,972009</b>	4 no.lu malz.	8 ve 10 no
Fark	Tip değişimi	<b>1,613431</b>	-1	2 no.lu

Modelimizde bulunan 5 adet orta tip (560 m<sup>3</sup>) deponun hepsi; büyük tip (640 m<sup>3</sup>) olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır. Amaç fonksiyonunda bir artış olduğu; 3, 5, 7 nu.lı aile malzeme grupları miktarlarında azalma, 4, 6 ve 10 aile malzeme grupları miktarlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Depo hacimlerinin arttırılmasının amaç fonksiyonunu arttıracakları değerlendirilmiştir.

Modelimizde her depoda en fazla 3 çeşit aile grubu malzeme bulunması kısıdı bulunmaktadır. Söz konusu kısıd;  $\leq 5$  olarak değiştirilmiş ve model tekrar çalıştırılmıştır ve çözüm EK 6'da gösterilmiştir. Çözümde bazı aile grubu malzeme atama miktarının ve amaç fonksiyonunda bir artış olduğu arttığı ancak 4 nu.lı malzeme grubunun atanmasının yapılmadığı tespit edilmiştir. Yerleşim kısıdının arttırılmasının çözümü olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir.

Modelimizde her hangi bir aile grubu malzemenin atanması durumunda en az 20 adet atanmasını sağlayan kısıd bulunmaktadır. Söz konusu kısıdın  $\geq 10$  olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözümün değişmediği tespit edilmiştir. Söz konusu kısıdın  $\geq 40$  olarak değiştirilmiş, model tekrar çalıştırılmıştır ve çözümde amaç fonksiyonunda kısmi bir azalmanın olduğu; 4 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının arttığı, 10 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir. Söz konusu değişikliğe ait çözüm ekranı EK 7'de gösterilmiştir.

Matematiksel programlama problemlerinde kullanılan katsayıların zamanla değişme ihtimali her zaman mevcuttur. Gerçek hayatta katsayılar daima belirli ve sabit değildir. Burada katsayıların değişim aralıkları bulunmaya çalışılmaktadır ve bu



isleme duyarlılık analizleri denir (Halaç, 1983; Lawrence ve Pasternak, 2002). Problem çözümü ile elde edilen sonuçları analiz etmek çözümün anlamını belirlemekle baslar (Render vd., 2003). Yöneticiler bu nedenle çoğu kez matematiksel programlama problemlerinin bileşenlerinde meydana gelebilecek değişmelerin optimum çözüme etkisini bilmek isterler. Çünkü yöneticiler sadece problemin optimal çözümü ile ilgilenmemelidirler. Ulaşılan optimal çözüm, problemin katsayıları sabit kaldığı sürece geçerlidir. Halbuki yönetici, yeni bir faaliyetin eklenmesi halinde daha önce elde ettiği optimal çözümün optimallıktan çıkarak değişeceğini bilir. Ayrıca söz konusu değişmelerin optimal çözümü ne ölçüde değiştireceğini bilmek isterler (Öztürk, 2002) ve bu amaçla duyarlılık analizleri model parametreleri üzerinde yapılmaktadır (Taylor, 2002). Bu sayede, girdilerden herhangi birinde değişiklik meydana gelirse problemin optimal çözümünün nasıl etkileneceği sorusuna cevap bulunmuş olur (Levin vd., 1992; Heizer ve Render, 2006). Örnek olarak, bir şirket daha fazla para kazanabilmek amacıyla ekstra işçilik saati için ne kadar para ödemeye razı olacağını bulmak için duyarlılık analizlerinden yararlanır (Winston, 2004). Kısıtların sağ taraflarının değişimi, amaç fonksiyon katsayılarının değişimi, soruna yeni bir değişkenin eklenmesi, teknoloji katsayılarının değişimi ve soruna yeni bir kısıtın eklenmesi duyarlılık analizleri ile incelenir (Tütek ve Gümüşoğlu, 2000).

Modelimizdeki problem, tamsayılı programlama ile çözülmüştür. Bu nedenle duyarlılık analizi yapılamamaktadır. Duyarlılık analizi yapılamadığından tamsayılı programlama, doğrusal programlamaya dönüştürülmüş ve dönüşüm parametreleri Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Karar Değişkenlerinin Doğrusal Programlamaya Uygun Hale Getirilmesi.

<b>T P KARAR DEĞİŞKENİ</b>	<b>DP KARAR DEĞİŞKENİ</b>
dvar boolean depoac[depo];	dvar float depoac[depo] in 0..1;
dvarboolean atama[ailemalzemegrubu]	dvar float atama[ailemalzemegrubu] in 0..1 ;
dvarboolean depolama[ailemalzemegrubu][depo]	dvar float depolama[ailemalzemegrubu][depo] in 0..1;
dvarint+ depolananmiktar[ailemalzemegrubu][depo]	dvarint+ depolananmiktar[ailemalzemegrubu][depo]

Dönüşüm kapsamında tamsayılar doğrusal sayılara, ikili tamsayılar (binary) ise 0-1 arasındaki doğrusal sayılara dönüştürülmüştür.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Savunma ihtiyacı kapsamına giren her çeşit malzeme için yapılan harcamaların büyüklüğü ve gerekliliği herkesçe bilinen bir gerçektir. Depolanan malzemenin özelliğine ve müşterinin ihtiyacına göre istenen malzemenin, istenen yerde, istenen zamanda ve istenen miktarda bulunması hayati öneme haizdir. Meydana gelen gecikmelerin istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olabileceği değerlendirilmektedir.

Savunma sektöründe depolama genel olarak Uluslararası Standartlar dikkate alınarak icra edilmektedir. Depolamada dikkat edilen önemli hususlardan bazıları müteakip maddelerde sıralanmıştır.

Uygun olmayan ve rast gele yapılan depo ataması ve depo yerleşimi sonucunda; gerçek depo ihtiyacının hesaplanamaması, depolama kapasitesinin verimli kullanılamaması, zaman ve işgücü kaybının oluşması, planlama ihtiyacının artması, envanter kontrol ve takibinin zorlaşması; mükerrer malzeme siparişleri meydana gelmesi, depo içinde bakımının yapılamaması, müşteriye malzemelerin istenen zamanda transfer edilememesi, ihtiyaç fazlası malzemelerin depolanması gibi istenmeyen durumların meydana geldiği tespit edilmektedir. Söz konusu istenmeyen durumlar ise zaman, kaynak ve işgücü kaybına ve malzeme ikmal sisteminin etkinliğinin ve verimliliğinin azalmasına sebep olmaktadır.

Bizim çalışmamızın temel maksadı da maliyeti yüksek, özel bir ikmal ve bakım sistemine sahip çeşitli özel veya genel maksatla kullanılan malzemelerin depolara atanmasında kullanılacak uygun matematiksel çoklu depo atama modelini oluşturmaktır.

Modelimizde depo atama yöntemi olarak; belirli kısıtlar dâhilinde aile grubu temelli depolama atama yönetimi esas alınmıştır. İlk aşamada, öncelikle atamaya tabi tutulacak malzemeler, aile gruplarına göre (malzeme grubu) sınıflandırılmıştır. Malzemelerin çeşitliliği ve benzerlikleri aile gruplandırmasını hem gerekli hale getirmekte hem de malzemelerin ikmal bakımından işletmene ve müşterilere

kolaylıklar sağlamaktadır. Bu durumda, benzer ürünleri birbirine yakın olarak yerleştirmek etkin ve verimli bir yöntem olabilir. Bu kapsamda modelde, depolara atanması ve yerleştirmesi amaçlanan 89 kalem malzeme temel ortak kimyasal, fiziksel ve ikame özellikleri dikkate alınarak 10 farklı aile malzeme grubuna ayrılmıştır. Modelde her malzeme için minimum ve maksimum ihtiyaç miktarlarını belirleyen kısıtlar bulunmaktadır. Modelde depo sayısı 20 olarak kabul edilmiştir.

Bu yöntem diğer bir depo atama yöntemi ile birleştirilmiştir. Modelde aile grubu atama yöntemi, tam devir (ciro) esaslı depo ataması yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. Aile malzeme gruplarının oluşturulmasını müteakiben ikinci öncelikli olarak aile grupları arasında depo atamasında öncelik sağlayacak olan sıralama yapılmıştır. Söz konusu sıralama; her aile malzeme grubunu birer grup olarak kabul ederek aile malzeme gruplarının kendi aralarında dönem içindeki devir miktarlarına göre sıralaması / sınıflandırması yapılmıştır. Bu atama yöntemi, tam devir (ciro) esasına göre depo ataması yöntemi olarak tanımlanmaktadır.

Modelde 10 farklı gruptan oluşan 89 çeşit malzemenin atanması ve yerleştirilmesi tasarlanmıştır. Gruplar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 rakamlarıyla sembolize edilmiştir. 1'inci grup 6, 2'nci grup 8, 3'üncü grup 10, 4'üncü grup 13, 5'inci grup 12, 6'ıncı grup 11, 7'inci grup 10, 8'inci grup 5, 9'uncu grup 1 ve 10'uncu grup ise 13 kalem malzemedan oluşmaktadır. Grup içindeki malzemeler, aile grubu numarası ve malzeme numarası eklenerek kodlandırılmıştır.

Çalışmamızda ele alınan problemin çözümüne yönelik ihtiyaç duyulan depolama şartları detaylı olarak incelenmiş ve uygun çözüm şekli ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada malzeme ve yığınların özellikleri, adedi bilgileri, ebatları; depoların ebatları, alanı, hacimleri; malzemelerin benzer/faklı özellikleri ve tam devir sayıları ile ihtiyaç duyulan minimum/maksimum miktarlar dikkate alınarak bir model oluşturulmuştur.

Uygun depo atama yöntemi ve matematiksel modelin temel esaslarının tespit edilmesini müteakip modelin tasarımına yönelik olarak 3 aşamalı bir çalışma yapılmıştır. Birinci aşamada depolanacak malzeme, aile malzeme grubu ve yığınlarla, ikinci aşamada depolarla ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise model matematiksel olarak formüle edilmiştir.

Amaç; en fazla fayda sağlayan aile grup malzemesini, belirlenmiş kıstaslar dâhilinde en uygun depoya atanmasını sağlamaktır. Her bir aile malzeme grubu için kullanılan depolama katsayısı, aile malzeme grubu devir katsayısı ve en yakın depo ölçütüne göre oluşturulan matris sonucunda meydana gelmiştir.

Çözüm incelendiğinde; **sonucun bütün kısıtları karşıladığı**, depoların hepsine mutlaka en az bir aile malzeme grubunun atanmasının gerçekleştiği, tüm aile malzeme gruplarının bir, iki veya üç depoya atamalarının yapıldığı anlaşılmaktadır.

Bu modelin kullanılabileceği değerlendirilen **bazı problem sahaları ve geliştirilmesine ihtiyaç duyulan alanlar** şunlardır:

- Mevcut depo sisteminin yeniden tasarlanmasında,
- Depo kapasitesinin çok kısıtlı olması durumunda depolanmamasına karar verilecek malzeme/malzemelerin tespit edilmesinde,
- Depo tasarımı çalışması kapsamında depolar arası transfer edilmesi gereken malzemelerin tespitinde,
- Mevcut depolama sistemi için ihtiyaç duyulan depo kapasitesinin hesaplanmasında,
- Atıl depo kapasitesinin hesaplanmasında,
- Yeni kurulan bir depolama sistemine malzeme atamasında,
- Yeni kurulan bir depolama sistemi için ihtiyaç duyulan depo kapasitesinin hesaplanmasında.
- Depo dahil depolamayla ilgili tesis ve binaların düzen tasarımı,
- Modelin geliştirilmesi halinde depo içi malzeme yerleşiminde faydalanılabilir.
- Malzemeleri kendi aralarında gruplandırarak atama problemlerine örnek teşkil edebilir.

Modelimizde çeşitli kısıtlar üzerinde yapılan değişikliklerin optimal çözüme olan etkisinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla depo sayısı, depo hacmi, depo yerleşim ve depoya atanacak en az aile grubu malzeme miktarları kısıtlarında 11 farklı değişiklik yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Mevcut kısıtlarda herhangi bir değişiklik olmaması halinde depo sayıları ile depo hacimlerinde herhangi değişikliğin yapılamayacağı yani depo sayı ve hacimlerini azaltmanın / tasarrufun söz konusu olmayacağı değerlendirilmiştir.

Modelimizdeki her depoda en fazla 3 çeşit aile grubu malzeme bulunması kısıdının  $\leq 5$  olarak değiştirilmesinin çözümü etkilediği ve bazı aile grubu malzeme atama miktarının ve amaç fonksiyonunda bir artış olduğu ancak 4 nu.lı malzeme grubunun atamasının yapılmadığı tespit edilmiştir. Yerleşim kısıdının arttırılmasının çözümü olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir.

Her hangi bir aile grubu malzemenin atanması durumunda en az 20 adet atanmasını sağlayan kısıt  $\geq 40$  olarak değiştirilmiş ve çözümde amaç fonksiyonunda kısmi bir azalmanın olduğu; 4 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının arttığı, 10 nu.lı aile grubu malzemenin miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmada; çoklu sayıda depoya çoklu malzeme atanması maksadıyla belirli kısıtlar dâhilinde doğrusal matematiksel bir model önerilmiştir. Önerilen modelin uygunluğu ve performansı kapsamlı bir örnek üzerinde denenmiştir.

Oluşturulan modelde malzemenin depoya giriş çıkışını hızlandırmak maksadıyla aynı yığında aynı malzeme grubu malzeme olması hedeflenmiştir. Ancak bu model bir depo içersine atanan aile malzeme grupları arasında da sıralama yaparak depo içi yerleştirme önceliğini belirleyen bir model değildir.

Bu çalışmanın devamı olarak ikinci aşamada ise depo içersinde malzemelerin çok katmanlı (multi layer) olarak, yığınlar arasında aile grubu bütünlüğü sağlayacak şekilde malzemelerin depo içi yerleşimi ilk aşamada kullanılan modelden faydalanarak aynı esaslar ve benzer kısıtlar dâhilinde yapılabilir.

Bir aile malzeme grubuna ait malzemeler ait minimum ve maksimum ihtiyaç miktarları eşit olarak kabul edilmiştir. Her bir malzemeye ait minimum ve

maksimum ihtiyaç miktarları dikkate alınarak ayrı bir model ve çözüm oluşturulabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ali Deran, Stratejik Maliyet Yönetimi, T.C. Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Eğitim ve Doktrin Komutanlığı, (Ankara: 2006), s. 173.
- [2.] Sürmen ve Aygün, 'Türkiye'de Lojistik Faaliyetler ve Muhasebe İşlemleri-I', s. 55.
- [3] Hayri Ülgen ve S. Kadri Mirze, İşletmelerde Stratejik Yönetim, (İstanbul: Literatür Yayıncılık 2004), s. 292.
- [4] Derman Aydoğan, İnternet,8 Kasım 2011.
- [5] TERSINE J. Richard. Principles Of Inventory and Materials Management. Elsevier Science Publishing Co.,Inc.New York.1988.
- [6] SILVER Edward A., PETERSON Rein, Decision Systems For Inventory Management And Production Plannig, John Wiley & Sons Inc., USA, 1985.
- [7] SAYGILI İrfan, Üretim Yönetiminin Fonksiyonları, İ.Ü. İşletme İktisadi Yayınları, İstanbul, 1991.
- [8] KOBU Bülent, Üretim Yönetimi, Avcıol Basım Yayın, İstanbul, 1998.
- [9] R.L.Van DeMark. Inventory Control Techniques, Dallas.Van DeMark Inc., 1981
- [10] AKGÜÇ Öztin, Finansal Yönetim, İ.Ü. Muhasebe Ens. Yayın 10:60, İstanbul, 1994
- [11] R. De Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodbergen, Design and control of warehouse order picking: a literature review, Eur. J. Oper. Res.194 (2) (2007) 343–362.



- [12] F.Guerriero, R.Musmanno, O.Pisacane, F.Rende; A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints,2013.
- [13] M. Goetschalckx, H.D. Ratliff, Shared storage policies based on the duration stay of unit loads, *Manage. Sci.* 36 (9) (1990) 1120–1132.
- [14] J.P.Van den Berg, Class-based storage allocation in a single command warehouse with space requirement constraints, *Int.J.Ind.Eng.* 3(1) (1996)
- [15] L.B. Shwarz, S.C. Graves, W.H. Hausman, Scheduling policies for automatic warehousing systems: simulation results, *IIE Trans.* 10 (3) (1978) 260–270.
- [16] W.H. Hausman, L.B. Schwarz, S.C. Graves, Optimal storage assignment in automatic warehousing systems, *Manage. Sci.* 22 (6) (1976) 629–638.
- [17] S.C. Graves, W.H. Hausman, L.B. Schwarz, Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems, *Manage. Sci.* 23 (1977) 935–945. Fig. 4. Solution decentralization. F.Guerriero et al./*Applied Mathematical Modelling* 37 (2013) 4385–4398
- [18] H. Hwang, H.O. Yong, C.N. Cha, A stock location rule for a low level picker-to-part system, *Eng. Optimization* 35 (3) (2003) 285–295.
- [19] J.L. Heskett, Cube-per-order index – a key to warehouse stock location, *Transport. Distribution Manage.* 3 (1963) 27–31.
- [20] J.L. Heskett, Putting the Cube-per-order index to work in warehouse layout, *Transport. Distribution Manage.* 4 (1964) 23–30.
- [21] A.J. Mallette, R.L. Francis, A generalized assignment approach to optimal facility layout, *AIIE Trans.* 4 (2) (1972) 144–147.
- [22] D.J. Harmatuck, A comparison of two approaches to stock location, *Logist. Transport. Rev.* 12 (4) (1976) 282–284.

- [23] C. Kallina, J. e Lynn, Application of the cube-per-order index rule for stock location in a distribution warehouse, *Interfaces* 7 (1) (1976) 37–46.
- [24] C.J. Malmberg, K. Bhaskaran, A revised proof of optimality for cube-per-order index rule for stored item location, *Appl. Math. Modell.* 14 (1990) 87–95.
- [25] F. Caron, G. Marchet, A. Perego, Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems, *Int. J. Prod. Res.* 36 (3) (1998) 713–732.
- [26] Ballou, H. Ronald, *Business Logistics Management. Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*, fourth ed., S.L., Prentice-Hall International, Inc., 1992.
- [27] M. Muppani, G.K. Adil, Storage class formation considering space and handling cost for warehouse planning, in: IX Annual International Conference of the Society of Operations Management, Pondicherry University, Pondicherry, India, 2005.
- [28] T.N. Larson, H. March, A. Kusiak, A heuristic approach to warehouse layout with classe-based storage, *IIE Trans.* 29 (1997) 337–348.
- [29] S.S. Heragu, Mathematical model for warehouse design and product allocation, *Int. J.Prod. Res.* 43 (2) (2005) 327–338.
- [30] S. Onut, U.R. Tuzkaya, B. Dog˘ac, A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem, *Comp. Ind. Eng.* 54 (4) (2008) 783–799.
- [31] Y. Bassan, Y. Roll, M.J. Rosenblatt, Internal layout design of a warehouse, *AIIE Trans.* 12 (4) (1980) 317–322.
- [32] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle Swarm Optimization, in: *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995, p. 19421948.

- [33] J.M. Jarvis, E.D. McDowell, Optimal product layout in an order picking warehouse, *IIE Trans.* 23 (1) (1991) 93–102.
- [34] O.Sanei, V.Nasiri, M.R.Marjani, S.M.Moattar Husseini, A heuristic algorithm for the warehouse space assignment problem considering operational constraints: with application in a case study, in: *Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Kuala Lumpur, Malaysia, January 22–24, 2011.

## EK 1. MODEL

```
/******  
* OPL 12.5 Model  
* Author: Tarkan Yenyayla  
* Creation Date: 18 Eki 2013 at 13:15:02  
*****/  
{string} depo = ...;  
int Nbailemalzemegrubu = ...;  
range ailemalzemegrubu = 1..Nbailemalzemegrubu;  
int depohacmi[depo] = ...;  
float depolamakatsayisi[ailemalzemegrubu][depo] = ...;  
dvar boolean depoac[depo]; /* depoya atama oluyor mu? */  
dvar boolean atama[ailemalzemegrubu]; /* i malzeme grubu depoya ataniyor mu? */  
dvar boolean depolama[ailemalzemegrubu][depo]; /* i. malzeme j. depoya ataniyor  
ise */  
dvar int+ depolananmiktar[ailemalzemegrubu][depo]; /* i. malzemenin j. depoya  
atanan miktarı */  
float ailemalzemegrubuagirliigi[ailemalzemegrubu]=...;  
float ailemalzemegrubuhacmi[ailemalzemegrubu]=...;  
int mnim[ailemalzemegrubu]=...;  
int mim[ailemalzemegrubu]=...;  
int deponuntasiyabilecegimaxagirlik[depo] = ...;
```

### **maximize**

```
sum( w in depo, s in ailemalzemegrubu)  
    depolamakatsayisi[s][w] * depolananmiktar[s][w];
```

### **subject to {**

```
/* depo yerlesimi kisiti-1 */  
forall( s in ailemalzemegrubu )  
    sum( w in depo )  
        depolama[s][w] <=3;
```

## EK 1. Devam

```
/* depo yerlesimi kisiti-2 */
    forall( w in depo )
        sum( s in ailemalzemegrubu )
            depolama[s][w] <=3;

/* depo ağırlık kisiti */
    forall (w in depo)
        sum (s in ailemalzemegrubu)
            ailemalzemegrubuagirliği[s]*depolananmiktar[s][w]<=deponuntasiyabileceği
maxagirlik[w]* depoac[w];

/* depo hacim kisiti */
    forall (w in depo)
        sum (s in ailemalzemegrubu)
            ailemalzemegrubuhacmi[s]*depolananmiktar[s][w] <=
depoacmi[w]* depoac[w];

/* minimum ihtiyaç miktarı kisiti */
    forall( s in ailemalzemegrubu )
        sum ( w in depo )
            depolananmiktar[s][w]>=mnim[s]*atama[s];

/* maksimum malzeme ihtiyaç miktarı kisiti */
    forall( s in ailemalzemegrubu )
        sum ( w in depo )
            depolananmiktar[s][w]<=mim[s]*atama[s];

/* 1 nu.lu malzeme depoda yalnız olacak*/
    forall (w in depo, s in ailemalzemegrubu)
        if (s!=1)
            depolama[1][w]+depolama[s][w]<=1;
```

## EK 1. Devam

/\*8 ve 9 nu.lı malzeme grupları sadece 10 nu.lı malzeme grubu ile depoda depolanabilir\*/

forall (w in depo)

depolama[2][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[3][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[4][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[5][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[6][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

forall (w in depo)

depolama[7][w]+depolama[8][w]+depolama[9][w]<=1;

/\* Big M\*/

forall (s in ailemalzemegrubu, w in depo)

depolananmiktar[s][w] <= 5000\*depolama[s][w];

/\* Depoya atama olması durumunda az 20 ailemalzemegrubu atanmalıdır\*/

forall (s in ailemalzemegrubu, w in depo)

depolananmiktar[s][w]>=20\*depolama[s][w]; }

{int} ailemalzemegrubuof[w in depo] = { s | s in ailemalzemegrubu : depolama[s][w] == 1 };

execute DISPLAY\_RESULTS{

writeln("depoac=",depoac);

writeln("ailemalzemegrubuof=",ailemalzemegrubuof); }

## EK 2. 15 ADET DEPOYA AİT ÇÖZÜM EKRANI

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 607354.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                6.0735450000e+005
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.16500e+004 1.60000e+003
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)   0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     0.00000e+000 0.00000e+000 //
depolananmiktar =
    [[1600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1425 1063 952 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 200 172 155 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 238 271 0 0 482 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 551 0 0 482 482 0 0 0 0 0 0]
    [0 70 0 0 0 0 0 0 0 132 0 0 0 0 266]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 372 372 0]
    [0 0 0 0 0 1600 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 626 0 0 0 0 0 94 0 0 0]];
depolama =
    [[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0]];
depoac = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
atama = [1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1]
```

\*Depo Sayısı 20 den 15 e indirilmiştir.





**EK 4. 10 ADET BÜYÜK TİP DEPONUN ORTA TİP DEPOYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNE AİT DATA DOSYASI VE OLUŞAN ÇÖZÜM EKRANI.**

```
/******  
* OPL 12.5 Data  
* Author: Tarkan Yeniayla  
* Creation Date: 03 Kasım 2013  
*****/  
depo =  
{depo1,depo2,depo3,depo4,depo5,depo6,depo7,depo8,depo9,depo10,depo11,depo12,depo13,depo14,  
depo15,depo16,depo17,depo18,depo19,depo20};  
  
Nbailemalzemegrubu= 10;  
  
depo hacmi= [560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 400, 400, 400, 400, 400, 560, 560,  
560, 560, 560];  
  
depolamakatsayisi = [[100,95,90,85,80,75,70,65,60,55,50,45,40,35,30,25,20,15,10,5],  
[90,85.5,81,76.5,72,67.5,63,58.5,54,49.5,45,40.5,36,31.5,27,22.5,18,13.5,9,4.5],  
[80,76,72,68,64,60,56,52,48,44,40,36,32,28,24,20,16,12,8,4],  
[70,66.5,63,59.5,56,52.5,49,45.5,42,38.5,35,31.5,28,24.5,21,17.5,14,10.5,7,4.5],  
[60,57,54,51,48,45,42,39,36,33,30,27,24,21,18,15,12,9,6,3],  
[50,47.5,45,42.5,40,37.5,35,32.5,30,27.5,25,22.5,20,17.5,15,12.5,10,7.5,5,2.5],  
[40,38,36,34,32,30,28,26,24,22,20,18,16,14,12,10,8,6,4,2],  
[30,28.5,27,25.5,24,22.5,21,19.5,18,16.5,15,13.5,12,10.5,9,7.5,6,4.5,3,1.5],  
[20,19,18,17,16,15,14,13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1],  
[10,9.5,9,8.5,8,7.5,7,6.5,6,5.5,5,4.5,4,3.5,3,2.5,2,1.5,1,0.5]];  
  
ailemalzemegrubuagirli = [182,171,902,5365.6,580,580,751.6,536.3,12, 416.5];  
  
ailemalzemegrubuhacmi = [0.1213, 0.413432, 2.31524, 4.394864, 0.8416,  
0.581056,0.725168,0.51164, 0.05,0.435944 ];  
mnim = [400, 860, 168, 84, 248, 462, 378, 240, 400, 720];  
mim = [1600, 3440, 672,420, 992, 1848, 1512, 960, 1600, 2880];  
  
deponuntasiyabilecegimaxagirlik = [280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000,  
280000, 280000, 280000,200000,200000,200000, 200000,200000,280000, 280000, 280000, 280000,  
280000];
```



**EK 5. 5 ADET BÜYÜK TİP DEPONUN ORTA TİP DEPOYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNE AİT DATA DOSYASI VE OLUŞAN ÇÖZÜM EKRANI.**

```
/******  
* OPL 12.5 Data  
* Author: Tarkan Yeniyayla  
* Creation Date: 03 Kasım 2013  
*****/  
depo =  
{depo1,depo2,depo3,depo4,depo5,depo6,depo7,depo8,depo9,depo10,depo11,depo12,depo13,depo14,  
depo15,depo16,depo17,depo18,depo19,depo20};  
  
Nbailemalzemegrubu= 10;  
  
depo hacmi= [560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560, 560,560,400,400, 400, 400, 400, 640, 640, 640,  
640, 640];  
  
depolamakatsayisi = [[100,95,90,85,80,75,70,65,60,55,50,45,40,35,30,25,20,15,10,5],  
[90,85.5,81,76.5,72,67.5,63,58.5,54,49.5,45,40.5,36,31.5,27,22.5,18,13.5,9,4.5],  
[80,76,72,68,64,60,56,52,48,44,40,36,32,28,24,20,16,12,8,4],  
[70,66.5,63,59.5,56,52.5,49,45.5,42,38.5,35,31.5,28,24.5,21,17.5,14,10.5,7,4.5],  
[60,57,54,51,48,45,42,39,36,33,30,27,24,21,18,15,12,9,6,3],  
[50,47.5,45,42.5,40,37.5,35,32.5,30,27.5,25,22.5,20,17.5,15,12.5,10,7.5,5,2.5],  
[40,38,36,34,32,30,28,26,24,22,20,18,16,14,12,10,8,6,4,2],  
[30,28.5,27,25.5,24,22.5,21,19.5,18,16.5,15,13.5,12,10.5,9,7.5,6,4.5,3,1.5],  
[20,19,18,17,16,15,14,13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1],  
[10,9.5,9,8.5,8,7.5,7,6.5,6,5.5,5,4.5,4,3.5,3,2.5,2,1.5,1,0.5]];  
  
ailemalzemegrubuagirli = [182,171,902,5365.6,580,580,751.6,536.3,12, 416.5];  
  
ailemalzemegrubuhacmi = [0.1213, 0.413432, 2.31524, 4.394864, 0.8416,  
0.581056,0.725168,0.51164, 0.05,0.435944 ];  
  
mnim = [400, 860, 168, 84, 248, 462, 378, 240, 400, 720];  
  
mim = [1600, 3440, 672,420, 992, 1848, 1512, 960, 1600, 2880];  
  
deponuntasiyabilecegimaxagirlik = [280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000, 280000,  
280000, 280000, 280000,200000,200000,200000, 200000,200000,320000, 320000, 320000, 320000,  
320000];
```



**EK 6. DEPO YERLEŞİM KISIDININ  $\leq 5$  OLARAK DEĞİŞTİRİLMESİ  
DURUMUNDA ORTAYA ÇIKAN ÇÖZÜM EKRANI.**

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 628369.5
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                6.2836950000e+005
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.45340e+004 1.60000e+003
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)   0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     0.00000e+000 0.00000e+000 //

depolananmiktar = [[1600
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1318 1065 1057 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 175 0 156 68 0 0 0 143 130 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 237 240 279 0 236 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 163 0 0 0 0 0 377 482 482 344 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 94 110 0 0 425 425 425 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 372 372 0 0 0 216 0]
    [0 0 0 0 0 1600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 626 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 490 768]];

depolama = [[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0]
    [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
    [0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1]];

depoac = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
atama = [1 1 1 0 1 1 1 1 1 1];
```

