

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKMAL FREKANSLI, DEPO VE TAŞIMA MALİYETİNDE ÖLÇEK  
EKONOMİSİ İÇEREN BİR TEDARİK ZİNCİRİ TASARIM MODELİ VE  
ÇÖZÜM YAKLAŞIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Aycan BAŞBOZKURT AKYOL**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL**

**Aralık 2021**



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Aycan BAŞBOZKURT AKYOL

İMZA



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İKMAL FREKANSLI, DEPO VE TAŞIMA MALİYETİNDE ÖLÇEK EKONOMİSİ  
İÇEREN BİR TEDARİK ZİNCİRİ TASARIM MODELİ VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Aycan BAŞBOZKURT AKYOL

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL

Tarih: Aralık 2021

Bu çalışmada, bir tedarikçi, çok sayıda depo ve çok sayıda perakendeciden oluşan üç katmanlı bir tedarik zinciri tasarım modeli ele alınmaktadır. Problemden, açılacak depoların sayısına ve kapasitesine, hangi perakendecinin hangi depoya atanacağına ve her depo ve perakendeci için ikmal sıklıklarına karar verilmektedir. Model, bu kararlar verilirken depoların açma ve işletme maliyetlerini, depolardaki ve perakendecilerdeki envanter maliyetlerini ve hem tedarikçiden depolara hem de depolardan perakendecilere taşıma maliyetlerini içeren toplam sistem maliyetleri en azlanmasını amaçlamaktadır. Tüm kademeler arasında hesaplanan taşıma maliyetlerinde miktar indirimi ve depo maliyetlerinde skala ekonomisi olduğu göz önüne alınmaktadır. Optimize yakın bir çözüme ulaşmak için, depolardaki gelen ve giden partiler arasında çapraz sevkiyatı kolaylaştırmak için depolarda ve perakendecilerde 2 üssü katları ikmal frekansı politikasına sahip periyodik envanter kontrol politikası kullanılmaktadır. Önerilen modelin ayırt edici özelliği, stratejik depo açma kararının ve taktiksel kararlar olan depo-perakendeci atama ve ikmal frekansı belirleme kararlarıyla bütünleşik olarak alınmasıdır. Bu kararlar alınırken depolardaki çapraz sevkiyatın envanter ve nakliye maliyetleri üzerindeki etkileri açıkça modellenmekte, taşıma maliyetinde ve depo açma ve işletme maliyetlerinde miktara bağımlılık göz önüne alınmaktadır. Problem, doğrusal olmayan bir karma tamsayı programlama modeli olarak formüle edilerek çözümü için sezgisel arama tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımın ikmal frekanslarını göz önüne almadan bulunacak çözüme göre üstünlüğü nümerik analizlerde gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tedarik zinciri tasarımı, İkmal frekansı, Çapraz sevkiyat, Miktar indirimli taşıma maliyeti.



## **ABSTRACT**

Master of Science

### **A SUPPLY CHAIN DESIGN MODEL WITH REPLENISHMENT FREQUENCY AND SOLUTION APPROACH CONSIDERING ECONOMIES OF SCALE IN COST OF DEPOT AND TRANSPORTATION**

Aycan BAŞBOZKURT AKYOL

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL

Date: December 2021

In this study, a three-layer supply chain design model consisting of one supplier, many depots and many retailers is discussed. The problem is to determine the number and capacity of the depots to open, which retailer to be assigned to which opened depot, and the replenishment frequencies for each depot and retailer are decided. While making these decisions, the model aims to minimize the total system costs, which include the cost of opening and operating depots, inventory costs in depots and retailers, and transportation costs both from supplier to depots and from depots to retailers. It is taken into account that there is quantity reduction in transportation costs calculated between all stages and economies of scale in depot costs. To achieve a near-optimal solution, a periodic inventory control policy with a power of 2 replenishment frequency policy is used in depots and retailers to facilitate cross-docking between inbound and outbound parties in depots. The distinguishing feature of the proposed model is that facility location decisions as the strategic decision is integrated with the tactical decisions of depot-retailer assignment and replenishment frequency determination. While making these decisions, the effects of cross-docking in depots on inventory and transportation costs are explicitly modelled, and the quantity dependence in transportation cost and depot opening and operating costs are considered. The problem is formulated as a nonlinear mixed integer programming model and a heuristic search-based approach is proposed for its solution. The superiority of the proposed approach over the solution to be found without considering the supply frequencies has been demonstrated in the numerical analysis.

**Keywords:** Supply chain design, Replenishment frequency, Cross docking, Transportation cost with quantity discount.





## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine çok teşekkür ederim.

Bu tezin yazılmasında her türlü yardım ve katkıları için Şerife YETİŞKİN'e ve Fatih ASLAN'a, bu süreçte daima beni yoklayan ve hiç yalnız bırakmayan dostum Fethiye ŞAHİN'e, bu sürecin başından sonuna kadar sonsuz motivasyon sağlayan Yağmur SOYDEMİR'e, çok değerli arkadaşlarım, Asal AKBARPOUR'a, Ekin TANIR'a, Cemre ERDOĞAN'a, Havza Nur ÖZTÜRK'e, Betül GÜNDOĞDU'ya ve Kübra KARAKUŞ'a çok teşekkür ederim.

Bugüne kadar eğitimim ve kariyerimle ilgili aldığım kararlarda her zaman arkamda duran, tez sürecinde sabırla destek ve motivasyon sağlayan sevgili ablam, Gökçen ÖZKAPLAN ve ağabeyim, Dr.Gökalp BAŞBOZKURT'a, beni bugüne kadar sevgi, özveri ve sabırla yetiştiren, maddi ve manevi anlamda hiç bir zaman desteğini esirgemeyen, büyük bir inançla her daim elimden tutan canım babam Prof.Dr. Mustafa BAŞBOZKURT'a ve canım annem Ayşe BAŞBOZKURT'a en büyük teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, tez sürecinde her türlü bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, sevgisini ve desteğini kalben hissettiğim ve bu süreçteki her türlü zorluğu birlikte paylaşabildiğim sevgili eşim, Ali Alp AKYOL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET . . . . .	vii
ABSTRACT . . . . .	viii
TEŞEKKÜR . . . . .	xi
İÇİNDEKİLER . . . . .	xiii
ŞEKİL LİSTESİ . . . . .	xv
ÇİZELGE LİSTESİ . . . . .	xvii
KISALTMALAR . . . . .	xix
SEMBOL LİSTESİ . . . . .	xxi
<b>1. GİRİŞ</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2. PROBLEM TANIMI</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>3. LİTERATÜR TARAMASI</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>4. MATEMATİKSEL MODEL</b> . . . . .	<b>7</b>
4.1 Model . . . . .	8
4.2 Amaç Fonksiyonu . . . . .	9
4.3 Kısıtlar . . . . .	9
4.4 Maliyet Fonksiyonları . . . . .	9
4.4.1 Depo açma ve işletme yıllık maliyeti . . . . .	10
4.4.2 Yıllık envanter tutma maliyeti . . . . .	11
4.4.2.1 Perakende mağazalarında yıllık envanter ve güvenlik stokları maliyetinin hesaplaması . . . . .	11
4.4.2.2 Depolarda yıllık envanter tutma maliyeti . . . . .	12
4.4.3 Yıllık taşıma maliyeti . . . . .	13
4.4.3.1 Depolardan perakende mağazalarına yıllık taşıma maliyeti	13
4.4.3.2 Tedarikçiden depolara yıllık taşıma maliyeti . . . . .	14
<b>5. SEZGİSEL OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI</b> . . . . .	<b>27</b>
5.1 Başlangıç Fazı . . . . .	27
5.1.1 Ön hazırlık . . . . .	27
5.1.2 Başlangıç . . . . .	28
5.2 Depo Kapatma Fazı . . . . .	29
5.3 Perakende Mağazası Yer Değiştirme Fazı . . . . .	31
5.4 Perakende Mağaza Takas Fazı . . . . .	33
<b>6. NUMERİK ANALİZLER</b> . . . . .	<b>37</b>
6.1 Sistem Maliyetlerinin İkmal Frekanslarına, Açık Depo Sayısına, İyileşme Yüzdesine Etkileri . . . . .	41
6.2 Sistem Maliyetlerinin Taşıma Miktarlarına Etkisi . . . . .	46
6.3 İkmal Frekans Seçiminin Sistem Maliyetlerine Etkisi . . . . .	48
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> . . . . .	<b>53</b>
<b>KAYNAKLAR</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> . . . . .	<b>57</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1: Depo ve perakende mağazalarının ikmal frekanslarına göre oluşturduğu durumların özellikleri . . . . .	10
Şekil 4.2: Durum 1'deki depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği. . . . .	16
Şekil 4.3: Durum 2'deki depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği. . . . .	18
Şekil 4.4: Durum 3'teki 1. varsayımda depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği. . . . .	20
Şekil 4.5: Durum 3'teki 2. varsayımda depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği. . . . .	24
Şekil 5.1: Arama algoritması akış şeması. . . . .	27
Şekil 5.2: Başlangıç fazı akış şeması. . . . .	29
Şekil 5.3: Depo kapatma fazı akış şeması. . . . .	30
Şekil 5.4: Depo Kapatma Fazı örneği. . . . .	31
Şekil 5.5: Mağaza yer değiştirme fazı akış şeması. . . . .	32
Şekil 5.6: Mağaza yer değiştirme fazı örneği. . . . .	33
Şekil 5.7: Mağaza yer değiştirme fazı akış şeması. . . . .	34
Şekil 5.8: Mağaza Takas Fazı örneği. . . . .	35
Şekil 6.1: Rastgele oluşturulan tedarikçi, depolar ve perakende mağazalarının konumları. . . . .	37
Şekil 6.2: Taşıma maliyeti ve depolar ve perakendeciler için ortalama ikmal frekansları (haftalık) değişimi. . . . .	41
Şekil 6.3: Envanter maliyeti ve depolar ve perakendeciler için ortalama ikmal frekansları (haftalık) değişimi. . . . .	42
Şekil 6.4: Depo açma ve işletme maliyeti ve depolar ve perakendeciler için ortalama ikmal frekansları (haftalık) değişimi. . . . .	42
Şekil 6.5: Taşıma maliyetlerinin %80 daha fazla ve %80 daha az olduğu koşullarda açılan depo sayısı. . . . .	43
Şekil 6.6: Envanter maliyetlerinin %80 daha fazla ve %80 daha az olduğu koşullarda açılan depo sayısı. . . . .	43
Şekil 6.7: Depo açma ve işletme maliyetlerinin %80 daha fazla ve %80 daha az olduğu koşullarda açılan depo sayısı. . . . .	43
Şekil 6.8: Taşıma maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullardaki ortalama son sistem maliyetleri. . . . .	44
Şekil 6.9: Envanter maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullardaki ortalama son sistem maliyetleri. . . . .	44
Şekil 6.10: Depo açma ve işletme maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullardaki ortalama son sistem maliyetleri. . . . .	45

Şekil 6.11: Taşıma maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda sistemin toplam maliyet üzerinden ortalama iyileşme yüzdeleri.	45
Şekil 6.12: Envanter maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda sistemin toplam maliyet üzerinden ortalama iyileşme yüzdeleri.	46
Şekil 6.13: Depo açma ve işletme maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda sistemin toplam maliyet üzerinden ortalama iyileşme yüzdeleri.	46
Şekil 6.14: Taşıma maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda depolara ve perakende mağazalarına gelen ortalama taşıma miktarı.	47
Şekil 6.15: Envanter maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda depolara ve perakende mağazalarına gelen ortalama taşıma miktarı.	47
Şekil 6.16: Depo açma ve işletme maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda depolara ve perakende mağazalarına gelen ortalama taşıma miktarı.	48
Şekil 6.17: Farklı ikmal frekansları ve sabit ikmal frekansları koşullarında açık depo sayısı.	49
Şekil 6.18: Farklı ikmal frekansları ve sabit ikmal frekansları koşullarında son sistem maliyet değerleri.	49
Şekil 6.19: İkmal frekansının farklı olduğu çözümlerde taşıma, envanter ve depo açma-işletme maliyetlerinin dağılımı	50
Şekil 6.20: İkmal frekansının sabit 1 hafta seçildiği çözümlerde taşıma, envanter ve depo açma-işletme maliyetlerinin dağılımı	51

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1: Matematiksel modelde yer alan kümeler. . . . .	7
Çizelge 4.2: Matematiksel modelde yer alan karar değişkenleri. . . . .	7
Çizelge 4.3: Matematiksel modelde yer alan maliyet fonksiyonları. . . . .	7
Çizelge 4.4: Matematiksel modelde yer alan parametreler. . . . .	8
Çizelge 6.1: Problem setleri (ÖEF: Ölçek Ekonomisi Faktörü, M1 and M2: Taşıma miktarı kırılma noktaları) . . . . .	39
Çizelge 6.2: Ölçek ekonomisi faktörüne göre değişen parametrelerin baz modele göre %80 düşük ve %80 yüksek değerleri. . . . .	40
Çizelge 6.3: Yıllık envanter tutma maliyetlerinin, baz model, %80 düşük ve yüksek değerleri. . . . .	40
Çizelge 6.4: Taşıma miktarı kırılım noktalarının baz modeldeki ve baz modele göre %30 düşük değerleri. . . . .	40
Çizelge 6.5: İkmal frekansının fark yarattığı problem setleri (ÖEF: Ölçek Ekonomisi Faktörü, M1 and M2: Taşıma miktarı kırılma noktaları) . . .	50
Çizelge 6.6: İkmal frekansının fark yarattığı problem setlerinde iyileşme oranları	51





## KISALTMALAR

**TZ** : Tedarik Zinciri  
**ÖEF** : Ölçek Ekonomisi Faktörü  
**THK** : Türk Hava Kurumu  
**YPU** : Yapı Proje Uygulama





## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler Açıklama

$I$	Perakende mağazalarının kümesi
$J$	Aday depoların kümesi
$T$	Açılacak tesislerin tipleri kümesi
$X$	Tesis tipi ve açma kararlarının kümesi
$Y$	Atama kararlarının kümesi
$S_j$	j. Depoya atanan perakende mağazaları kümesi
$R$	j. Depoya atanan perakende mağazaları kümesi
$\mu_i$	i. Perakende mağazasının haftalık ortalama talebi
$\sigma_i$	i. Perakende mağazasının talebinin haftalık standart sapması
$M_{1,2}^{dr}$	Mağazalara gelen taşıma miktarına göre uygulanan fiyat politikasının kırılma noktaları
$Q_i^r$	i. Perakende mağazasına gelen bir periyotluk sipariş miktarı parti büyüklüğü
$h^r$	Perakende mağazaları için yıllık birim stok tutma maliyeti
$g^{dr}$	j. Depodan i. Perakende mağazasına başlangıç birim taşıma maliyeti
$l_{ij}$	j. Depodan i. Perakende mağazasına teslim süresi (lead time)
$l_{ij}^{ort}$	Depolardan perakende mağazalarına ortalama uzaklık için teslim süresi (lead time)
$A_i^r$	i. Mağazada tutulan bir periyotluk ortalama envanter miktarı
$A_i^{ss}$	i. Mağazada tutulan güvenlik stoğu
$CSL$	mağazalar için döngü servis seviyesi
$\alpha_{0,1}$	Depolardan mağazalara taşımada ölçek ekonomisi azalış faktörleri
$D_{ij}$	Depolardan perakende mağazalarına olan uzaklık matrisi
$F_t$	Miktar indirimi uygulanmış yıllık depo açma ve işletme maliyeti
$f_t$	Depo açma ve işletme birim maliyeti
$f_0$	Depo açma ve işletme birim başlangıç maliyeti
$K_t$	t tipindeki deponun maksimum işlem kapasitesi
$M_{1,2}^{sd}$	Depolara gelen taşıma miktarına göre uygulanan fiyat politikasının kırılma noktaları
$Q_{jn}^d$	Bir periyot içerisinde j. Depoya gelen n. parti büyüklüğü
$P_j$	j. Deponun periyodu
$q_j$	j. deponun bir periyot içinde yaptığı toplam ikmal sayısı
$h^d$	Depolar için yıllık birim stok tutma maliyeti
$g^{sd}$	Tedarikçiden j. Depoya başlangıç birim taşıma maliyeti
$A_j^d$	j. Depoda tutulan bir periyotluk ortalama envanter miktarı

$N_j$	j. Depoya atanan toplam perakende mağaza sayısı
$\theta_{0,1}$	Depo açma maliyetinde ölçek ekonomisi faktörleri
$\beta_{0,1}$	Tedarikçiden depolara taşımada ölçek ekonomisi faktörleri
$D_{s,j}$	Tedarikçiden depolara olan uzaklık matrisi
$d$	Uzaklığa bağlı değişen taşıma maliyet faktörü
$X_{jt}$	1: eğer t tipinde j. depo açılmışsa, 0: eğer t tipinde j. depo açılmamışsa
$Y_{ij}$	1: eğer i. mağaza j. depoya atanmış ise 0:eğer i. mağaza j. depoya atanmamış ise
$R_j^d$	(X,Y) seçimlerine göre belirlenen j. deponun ikmal frekansı
$R_i^r$	(X,Y) seçimlerine göre belirlenen i. mağazanın ikmal frekansı

## 1. GİRİŞ

Tedarik zinciri sistemi, bir ürünün veya hizmetin tedarikçisinden talep noktasına kadar olan hareketlerinin planlamasını kapsar. Tipik bir TZ, tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri, perakendeciler/toptancılar ve müşterilerin olduğu pek çok katmandan oluşmaktadır. [1]. Her bir katmanda temel amaç, bir sonraki kademenin talebini en iyi düzeyde karşılamaktır. Etkili bir tedarik zinciri tasarımında bu katmanlar arasındaki ürün, bilgi ve para akışının iyi yönetilmesi gerekmektedir ki TZ'nin yarattığı değer olan tüketici gözündeki ürünün değeri ve maliyeti arasındaki farkın büyümesi sağlanabilsin chopra2007supply. TZ yönetim alanında, satın alma, satış, imalat, depolama, taşıma gibi aktivitelerin bütünüyle yönetilmesi oldukça zorlu ve maliyetli bir süreç olmaktadır. Bu sebeple genel olarak yöneticilerin, envanter seviyelerini azaltarak, taşımada ölçek ekonomisinden yararlanarak, ağ tasarımlarını optimize ederek veya taleplerdeki değişkenliği azaltarak maliyeti düşürme eğiliminde olduğu gözlenmektedir [2]. Piyasada rekabetçi statüsünde kalabilmek için firmaların tedarik zincirlerinin değişen teknolojiye ve müşteri ihtiyaçlarına göre şekil alması önemlidir. Buna göre tedarik zinciri tasarımı, planlaması ve operasyon kararları firmanın başarısını etkilemektedir chopra2007supply.

TZ modelleri, genellikle bazı kısıtları göz önüne alarak en düşük maliyetli veya en yüksek kârlı çözümü bulmaya çalışmaktadır snyder2019fundamentals. İdeal TZ tasarım modeli, tedarik zincirinin her yönünü bir bütün olarak optimize etmektedir. Çok katmanlı tedarik zinciri sistemlerinde, tüm kademelerin koordinasyonunun sağlanması ve sistemin bir bütün olarak veriminin artırılması hedefi ile kurulan modeller, matematiksel açıdan modellemesi zor ve boyut olarak çözülemeyecek kadar büyük ve karmaşık bir hale gelebilmektedir. Bu sebeple genel olarak TZ modelleri, sistemi ya tek bir açıdan inceler ya da daha az detaylandırılmış şekli ile iki veya daha fazla bölümünün entegrasyonuna odaklanır [2]. Örneğin, TZ'indeki tesislerin kaç adet ve nerede konumlandırılacağına karar veren tesis yer seçimi modelleri, stratejik yönden, müşterilerin depolara atanması ve uygulanacak envanter kontrol politikalarına karar veren envanter modelleri, taktiksel yönden, ve taşıma araçlarının sayısına ve rotalarına karar veren rotalama modelleri, operasyonel yönden yaklaşmaktadır. Fakat rotalama ve tesis yer seçimi kararları birbirleriyle ilişkili kararlardır ve her biri kendi içinde NP-zor problemlerdir. İkisinin entegre olduğu modeller ise daha karmaşık hale gelmektedir [1].

Firmaların ölçek ekonomisini göz önüne alan daha büyük parti büyüklüğü ile çalışmayı teşvik eden örnekleri oldukça fazladır. Firmalar genellikle tedarikçilerine toplu siparişler vererek için toplu indirimler almaktadırlar. Miktarla bağlı indirimler, toplu sipariş vermeyi daha uygun maliyetli hale getiren ölçek ekonomisi türüdür [2]. İki tip miktara bağlı ölçek ekonomisinin gözlemlendiği fiyatlandırma politikası bulunmaktadır. İlki bir partide verilen miktara bağlı fiyat indirimidir (tüm birim miktar indirimi). İkincisi ise, belirli bir periyotta sipariş verilen parti sayısından bağımsız, toplam alım hacmine bağlı fiyat indirimidir (marjinal birim miktar indirimi) [1]. Parti büyüklüğüne dayalı miktar indirimlerinin, bir tedarik zincirinde parti büyüklüğünü ve döngü envanterini artırma eğiliminde olduğu bilinmektedir [1]. Buna ek olarak, çok katmanlı bir tedarik zincirinde her bir katman, bağımsız olarak kendi karını en yüksek seviyeye çıkarmak amacıyla miktar indirimi kararını uygularsa toplam tedarik zinciri maliyetinde, en iyi

karı elde etme ihtimali düşük olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için koordineli çözüm daha önemli bir seçenek haline gelmektedir [1].

Tedarik zincirinde bir diğer önemli maliyet, envanter tutma ile alakalıdır. Ürünlerin partiler halinde üretilip taşınması, talep miktarı ve tedarik süreleri rassallığı, envanter tutma zorunluluğu getirmektedir. Firmalar aynı zamanda teslim süresine kadar beklemeyi tercih etmeyen müşterileri için, ürünlerin sıfır stok seviyesine inmesini beklemeden ikmal yapmak durumunda kalmaktadırlar [2]. Envanter kontrolünde iki temel politika bulunmaktadır. Bunlar sürekli ve periyodik gözlem politikalarıdır. Sürekli gözlem politikalarında stoklar, sürekli izlenerek stok seviyesinin belli bir eşğin altına düşmesi durumunda yeniden stok siparişi verilmektedir. Periyodik envanter gözlem politikasında ise envanter, belli periyotlar aralığında (örneğin her hafta) kontrol edilmekte olup sipariş yenileme koşulunun sağlanması durumunda yeniden sipariş verilmektedir [2]. Her ne kadar sürekli envanter politikası düşük güvenlik stokları gerektirse de uygulama bakımından zor ve maliyetlidir. Ürünlerin ortak siparişi durumlarında, periyodik gözlem daha uygun bir politikadır. Ortak sipariş, azalan sabit maliyetler ve taşımada ölçek ekonomisi açısından tercih edilmektedir. Periyodik gözlem uygulamasının zorlayıcı kısmı, çok katmanlı bir tedarik zincirinde sipariş verme sürelerindeki uyumsuzluklardır.

Çok katmanlı tedarik zincirinde toplam maliyeti azaltmak için siparişlerin koordine edilmesi gerekmektedir. Her aşamada yalnızca bir oyuncusu bulunan çok kademeli TZ için, parti büyüklükleri arasında uygulanan tamsayı katı ikmal politikasının ise opti-male yakın sonuç verdiği görülmektedir [1]. Bu durumda çapraz sevkiyat (cross docking) şansı da ortaya çıkmaktadır. Çapraz sevkiyat, gelen siparişin bir kısmının veya tamamının depoda bekletilmeden bir sonraki TZ kademesine aktarılması durumudur. Tamsayı katı ikmal politikaları, çok kademeli tedarik zincirinde hem yüksek düzeyde çapraz sevkiyatı kolaylaştırır hem de döngü stokları ve sipariş maliyetlerini azaltan iyi bir seçenek olmaktadır [1]. Bu çalışmada özel bir tamsayı sipariş yenileme politikası olan “2 üssü katları politikası” baz alınmıştır. Bu politikada depo ve perakende mağazalarının ikmal frekansları, bir temel periyodun, örneğin haftanın 2 üssü katları şeklinde seçilir. Bu durum, deponun gelen ikmalleri ile dağıtım ikmallerinin çakışma sıklığını artırır ve böylece 2 üssü katları politikasının temel getirisi olarak depo ortalama stok seviyesinde azalma sağlanır.

## 2. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada; tedarikçi, dağıtım merkezleri ve perakende mağazalarından oluşan çok katmanlı bir entegre TZ sisteminde, depo kapasitesi ve yerinin, hangi perakendecilerin hangi depolara atanacağını, açılacak depoların tedarikçiden ikmal frekanslarının ve perakende mağazalarının depodan ikmal frekanslarının belirlenmesi problemi ele alınmaktadır. Bu kararlar belirlenirken; yıllık bazda depo açma ve işletme maliyeti, tedarikçiden depolara ve depolardan perakende mağazalarına taşıma maliyeti, depolardaki ve mağazalardaki döngü stokları ve güvenlik stokları maliyetlerinin toplamı enazlanacaktır. Depo ve taşıma maliyetlerinde ölçek ekonomisi göz önüne alınmaktadır. Önerilen modelde, envanter yönetimi açısından hem depolar hem de perakendeciler için 2 üssü tabanlı “periyodik gözlem” politikası esas alınmaktadır. 2 üssü katları politikası hem depolardaki ortalama envanteri azaltması açısından hem de uygulamada sıklıkla karşılaşılan durumları kapsamı sebebiyle varsayılan politika olmaktadır. İkmal frekansı, depo ve mağazalar için sipariş yenileme süresi olarak göz önüne alınmaktadır.

Ele alınan problemde depo yerlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesi kararı, uzun vadeli ve tüm sistemi etkileyecek stratejik bir karardır [2]. Mağazaların depolara atanması ve ikmal frekanslarının belirlenmesi ise orta vadeli stratejik kararlara göre revize edilmesi daha kolay sayılabilecek taktiksel kararlardır [2]. Ancak atama ve ikmal frekansı kararlarının depo yeri ve kapasitesi kararlarına etkisi olacağı rahatlıkla görülebilir. Dolayısıyla bu çalışma, taktiksel kararların stratejik karar üzerindeki etkisini göz önüne almaktadır. Özellikle talebin genel yapısının, uzun bir periyot aralığında çok fazla değişmeyeceği durumlarda atama ve ikmal frekansı kararlarının TZ tasarım kararlarıyla beraber alınması daha iyi çözümler bulunmasını sağlayacaktır. İkmal frekansları, sistemdeki döngü stoklarını, güvenlik stoklarını ve taşıma maliyetlerini etkileyen TZ kararlarından. Ayrıca depo yeri ve kapasitesi gibi stratejik kararlara da etkisi olan bir konudur. Bu çalışmada, ikmal frekansı optimizasyonun yer alması ve kullanılan maliyet fonksiyonlarının, ikmal frekansları göz önüne alınarak türetilmiş olması sebepleri ile toplam sistem maliyetinin enazlanması açısından detaylı ve net bir model sunulmaktadır.





### 3. LİTERATÜR TARAMASI

Shen'in [2], entegre (bütünleşik-birleşmiş) tedarik zinciri tasarım problemlerini ele aldığı araştırma çalışmasında; TZ tasarım modellerinde tesis sayısı ve yerlerine karar verilirken, envanter ve dağıtım maliyetlerinin göz önüne alındığından ve amacın servis seviyesini belirli bir düzeyde tutarak bu maliyetleri minimize etmek veya kârı maksimize etmek olduğundan bahsedilmiştir. Bir TZ tasarımında alınabilecek muhtemel kararlar; "hangi tedarikçiden hizmet alınacağı", "açılacak tesis sayısı ve konumlarının ne olacağı", "her bir konumda tesis kapasitelerinin ne olacağı", "hangi ürün veya ürünlerin üretilmesi ve üretim miktarlarının ne kadar olması gerektiği" ve "ürün taşıma miktarları" şeklinde sıralanabilir [3].

Genel olarak literatürde, TZ tasarımlarına tek bir açıdan yaklaşılan modellerde diğer parçalar göz ardı edilebilmektedir. Örneğin; envanter modellerinde stratejik lokasyon kararı, tesis lokasyon modellerinde ise envanter yönetiminde yok satma maliyeti, talep belirsizliği, sipariş politikası etkileri göz ardı edilebilmektedir. Shen [3], bu gibi durumların sebeplerinin stratejik olmayan düzeyde yeterli bilginin olmamasından kaynaklı olduğunu vurgulayarak örnek olarak lokasyonun belirlendiği bir modelde envanter ve nakliye maliyetlerinin dikkate alınmaması durumunda yaklaşık optimale (sub optimality) yol açacağından bahsetmiştir.

Üç katmanlı TZ problemlerinde ise dağıtım merkezi sayısı, yerleri, perakende dağıtım merkezi ataması, dağıtım merkezlerinde sipariş yenileme sıklığı ve güvenlik stok miktarı gibi kararlar alınırken belirli bir servis seviyesinde lokasyon, nakliye ve envanter maliyetlerinin enazlanması hedeflenmektedir [3]. Shen'in [3], bir araştırma çalışmasında yer alan üç katmanlı TZ tasarım modelinde, bazı varsayımlar dikkat çekmektedir. Bunlar; tedarikçi ve dağıtım merkezi arası uzun mesafe taşımacılık (long haul), dağıtım merkezi ve perakende mağazaları arası yerel taşıma (short haul), envanter yönetiminde dağıtım merkezi olarak sayılmayan perakende mağazaları için düşük stok tutma miktarı ile maliyetinin göz ardı edilmesi, tüm dağıtım merkezlerinde notasyon basitleştirmesi adına teslimat süresi ve stok tutma maliyeti oranının sabit kabul edilmesi şeklinde sıralanmaktadır. İncelenen modelde, sabit tesis açma maliyeti ve dağıtım merkezi ile perakendeci arasındaki taşıma maliyeti ve tedarikçi ile dağıtım merkezi arasındaki marjinal birim taşıma maliyeti göz önüne alınmaktadır. Modelin, kısıtları bakımından literatürde oldukça yaygın olan kapasitesiz tesis yer seçimi modellerine benzer olduğu görülmektedir [3].

M. Shen, C. Coullard, M. Daskin'in bir çalışmasında; sabit tesis açma, dağıtım merkezlerinde işletme ve envanter maliyetleriyle, tedarikçi-dağıtım merkezi-perakendeciler arasındaki taşıma maliyetlerini içeren bir lokasyon-envanter modelini ele almışlardır. Çalışmada yer alan problemin çözümü için, perakendecilerdeki talep varyansının, ortalama talep ile orantılı olduğu özel bir durumu için bir lagrange gevşetmesi çözüm algoritması önerilmektedir [4]. Bu çalışmanın devamında, aynı yılın 2003 yılında yaptığı çalışmada ise; tek tedarikçi ve çok sayıda perakendecinin olduğu bir lokasyon-envanter probleminde, perakendecilerin depo olabilme özelliği ile risk havuzu etkisinden yararlanılmıştır. Problemin çözümünde, hangi perakendecinin depo olması gerektiğine ve perakendeci-depo atamasına karar verilmektedir. Doğrusal olmayan matematiksel model, küme-kapsama tam sayılı programlama modeline dönüştürülmüştür. Çözüm aşamalarında "kolon üretme algoritması" ve "lagrange gevşetmesi" kullanılmıştır [4].

M. Shen, C. Coullard, M. Daskin ark.nın çalıştığı tedarikçi - dağıtım merkezi - perakendeciler arasındaki taşıma maliyetlerini içeren bir lokasyon-envanter modeli, daha sonraki yıllarda farklı yönlerde geliştirilmiştir. Shen'in 2005 yılında yaptığı bir çalışmada, model, genel bir maliyet fonksiyonu ile çok ürünlü bir model olarak geliştirilmiştir [5]. Shen ve Daskin, 2005 yılında aynı modelde bir hizmet seviyesi unsuru ortaya koymuşlardır [6]. Snyder ve ark. 2007 yılında, modelin stokastik bir versiyonunu sunmuşlardır [7]. Ozsen ve ark. 2008 yılında, modelin kapasiteli bir versiyonunu incelemiştir [8]. Tüm bu çalışmalarda ele alınan problemlerde envanter kontrolünde sürekli gözlem politikası uygulanmaktadır.

Tez çalışmasına önemli derecede katkı sağlayan ve envanter kontrol politikası olarak periyodik gözlemin seçildiği çok katmanlı bir tedarik zinciri tasarım modelini inceleyen çalışma, Berman ve ark. tarafından gerçekleştirilmiştir [9]. Ele alınan sistemde; tek tedarikçi, çok sayıda depo ve perakendeci bulunmaktadır. Model hakkında bazı varsayımlar bulunmaktadır. Örneğin, tedarikçi ve perakendecilerin yeri bilinmektedir, tedarikçi ve depolarda ise kapasite kısıtı bulunmamaktadır ve son olarak envanter kontrol politikasında, kontrol aralığı  $R$ 'nin önceden belirlenmiş bir frekans kümesinden seçilmektedir. Depolarda envanter kontrolünün kısmi ve tam koordinasyonları incelenmektedir. Tam koordinasyon, depoların hepsinde aynı kontrol aralığının seçilmesi iken kısmi koordinasyonda bu seçimde esneklik bulunmaktadır. Çözüm yöntemi olarak "lagrange gevşetmesi" uygulanmıştır. Bu yönüyle makale Daskin'in [4] 2002 yılındaki çalışmasına benzerlik göstermektedir.

Tancrez ve ark., envanter yönetimi kararlarının etkisi göz önüne alan bir model geliştirmiştir. Önerilen model, hem ileri hem de geri TZ için geçerlidir. Bu çalışmada, depo konumu, atama ve her bir bağlantı için taşıma miktarı kararları tek bir modelde birleştirilmiştir. Envanter kontrolünde EOQ (Economic Order Quantity) mantığı kullanılmıştır [10].

Envanter yönetimi çok katmanlı tedarik zinciri tasarım modellerinde hem maliyet açısından önemli hemde modellemesi açısından zor bir konudur. Bu tez çalışmasında özel bir tamsayı katı envanter kontrol politikası uygulanmaktadır. Roundy'nin 1985 ve 1986 yıllarında yaptığı çalışmalara göre, 2 üssü katları politikası uygulandığında çözümün, optime yakın bir değer olacağını garanti etmektedir [11]. Devamında Zheng ve ark. 1993 yılında, Roundy yaklaşımını geliştirmekte olup ikmal frekanslarının 2 üssü katları olması varsayımında, stokların sadece sifıra düşmesi durumunda sipariş yenileme yapılacağını vurgulamışlardır [12].

Bu tez çalışması daha önce ayrı ayrı incelenmiş olan önemli noktaları birleştirip birbirleri üzerine etkisini incelemek amacındadır: (i)Üç katmanlı TZ tasarım modelinde koordinasyonun sağlanması, (ii)Stratejik kararların (depo konumu, atama ve her bir bağlantı için taşıma miktarı kararları) taktiksel kararların (depo ve mağazalar için ikmal frekansları ve depo-mağaza atanması) üzerine etkisi, (iii)envanter kontrol politikasının periyodik olarak seçilmesi ve tamsayı katı ikmal politikasının uygulanması, (iv)Depolardaki gelen ve giden partiler arasında çapraz sevkiyatı kolaylaştırmak için depolarda ve perakendecilerde 2 üssü katları politikasının göz önüne alınması. Bu çalışmada bu amaçların birleştirilmesi sezgisel yöntemle bulunmuş olup maliyet iyileştirmesi hedeflenmektedir.

#### 4. MATEMATİKSEL MODEL

Bu çalışmada ele alınan problem, tek tedarikçi, çok sayıda depo ve perakende mağazalarından oluşan üç katmanlı bir tedarik zinciri tasarımını kapsayan doğrusal olmayan bir tamsayı programı olarak modellenmiştir. Hedef, minimum sistem maliyeti ile açılacak depo sayısı, tipleri ve yerlerine, depo ve mağazalar için ikmal frekanslarına ve depo-mağaza atanmasına karar verilmesidir. Envanter kontrol politikası olarak 2 üssü katları gözlem politikası göz önüne alınmaktadır. Modelde, literatürdeki yer seçimi problemlerinde olduğu gibi tesis, envanter ve taşımadan oluşan temel maliyetler göz önüne alınmıştır [13]. Model amaç fonksiyonunda, ikmal frekanslarının döngü stokları, güvenlik stokları, ve taşıma maliyetlerine olan etkisi açıkça gösterilmiş ve böylelikle karar değişkenlerinin optimizasyonu açısından net bir model elde edilmiştir. Modelde yer alana kümeler, karar değişkenleri, maliyet fonksiyonları ve parametreler, açıklamaları ile Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.1: Matematiksel modelde yer alan kümeler.

Kümeler	
$I$	Perakende mağazalarının kümesi
$J$	Aday depoların kümesi
$T$	Açılacak tesislerin tipleri kümesi
$X$	Tesis tipi ve açma kararlarının kümesi: $\{X_{jt}   \forall j \in J, \forall t \in T\}$
$Y$	Atama kararlarının kümesi: $\{Y_{ij}   \forall j \in J, \forall i \in I\}$
$S_j$	j. Depoya atanan perakende mağazaları kümesi
$R$	j. Depoya atanan perakende mağazaları kümesi: $\{R_j^d   \forall j \in J\} \cup \{R_i^r   \forall i \in I\}$

Çizelge 4.2: Matematiksel modelde yer alan karar değişkenleri.

$X_{jt}$	1: eğer t tipinde j. depo açılmışsa, 0: eğer t tipinde j. depo açılmamışsa
$Y_{ij}$	1: eğer i. mağaza j. depoya atanmış ise 0: eğer i. mağaza j. depoya atanmamış ise
$R_j^d$	(X,Y) seçimlerine göre belirlenen j. deponun ikmal frekansı
$R_i^r$	(X,Y) seçimlerine göre belirlenen i. mağazanın ikmal frekansı

Çizelge 4.3: Matematiksel modelde yer alan maliyet fonksiyonları.

Fonksiyonlar	
	$F^d(X)$
$C_1$	Sistemde açılan tüm depoların açma ve işletme maliyet fonksiyonu.
	$H^d(R^r(X,Y), R^d(X,Y), (X,Y))$
$C_2$	Tüm depolar için $R^r(X,Y), R^d(X,Y), (X,Y)$ karar değişkenlerine göre hesaplanan toplam ortalama envanter maliyet fonksiyonu.
	$H^r(R^r(X,Y), (X,Y))$
$C_3$	Mağazaların $R^r(X,Y), (X,Y)$ karar değişkenlerine göre hesaplanan ortalama envanter maliyet fonksiyonu.
	$TC_j^d(Q_{jn}^d, (X,Y))$
$C_5$	Tedarikçiden j. depoya gelen optimal frekanslara göre hesaplanmış parti büyüklüğüne ve $(X,Y)$ karar değişkenlerine bağlı taşıma maliyet fonksiyonu.
	$TC_i^r(Q_i^r, (X,Y))$
$C_4$	Depodan i. mağazaya gelen optimal frekanslara göre hesaplanmış parti büyüklüğüne ve $(X,Y)$ karar değişkenlerine bağlı taşıma maliyet fonksiyonu.

Çizelge 4.4: Matematiksel modelde yer alan parametreler.

Parametreler	
Perakende mağazaları	
$\mu_i$	i. Perakende mağazasının haftalık ortalama talebi
$\sigma_i$	i. Perakende mağazasının talebinin haftalık standart sapması
$M_{1,2}^{dr}$	Mağazalara gelen taşıma miktarına göre uygulanan fiyat politikasının kırılma noktaları
$Q_i^r$	i. Perakende mağazasına gelen bir periyotluk sipariş miktarı/parti büyüklüğü
$h^r$	Perakende mağazaları için yıllık birim stok tutma maliyeti
$g^{dr}$	j. Depodan i. Perakende mağazasına başlangıç birim taşıma maliyeti
$l_{ij}$	j. Depodan i. Perakende mağazasına teslim süresi (lead time)
$l_{ij}^{ort}$	Depolardan perakende mağazalarına ortalama uzaklık için teslim süresi (lead time)
$A_i^r$	i. Mağazada tutulan bir periyotluk ortalama envanter miktarı
$A_i^{ss}$	i. Mağazada tutulan güvenlik stoğu
$CSL$	mağazalar için döngü servis seviyesi
$\alpha_{0,1}$	Depolardan mağazalara taşımada ölçek ekonomisi azalış faktörleri
$D_{ij}$	Depolardan perakende mağazalarına olan uzaklık matrisi
Depolar	
$F_t$	Miktar indirimi uygulanmış yıllık depo açma ve işletme maliyeti
$f_t$	Depo açma ve işletme birim maliyeti
$f_0$	Depo açma ve işletme birim başlangıç maliyeti
$K_t$	t tipindeki deponun maksimum işlem kapasitesi
$M_{1,2}^{sd}$	Depolara gelen taşıma miktarına göre uygulanan fiyat politikasının kırılma noktaları
$Q_{jn}^d$	Bir periyot içerisinde j. Depoya gelen n. parti büyüklüğü
$P_j$	j. Deponun envanter döngüsü/periodyu
$q_j$	j. deponun bir periyot içinde yaptığı toplam ikmal sayısı
$h^d$	Depolar için yıllık birim stok tutma maliyeti
$g^{sd}$	Tedarikçiden j. Depoya başlangıç birim taşıma maliyeti
$A_j^d$	j. Depoda tutulan bir periyotluk ortalama envanter miktarı
$N_j$	j. Depoya atanan toplam perakende mağaza sayısı
$\theta_{0,1}$	Depo açma maliyetinde ölçek ekonomisi faktörleri
$\beta_{0,1}$	Tedarikçiden depolara taşımada ölçek ekonomisi faktörleri
$D_{sj}$	Tedarikçiden depolara olan uzaklık matrisi
Diğer	
$d$	Uzaklığa bağlı değişen taşıma maliyet faktörü

#### 4.1 Model

$$\text{Min}_{(X,Y)} C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (4.1)$$

S.T.

$$\sum_{i=1}^I \mu_i * Y_{ij} \leq \sum_{t=1}^T X_{jt} * K_t \quad \forall j \in J \quad (4.2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{jt} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

$$Y_{ij} \leq \sum_{t=1}^T X_{jt} \quad \forall j \in J, i \in I \quad (4.5)$$

$$X_{jt} \in \{0, 1\} \quad (4.6)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad (4.7)$$

$$R_j^d, R_i^r \in \{1, 2, 4, 8\} \quad (4.8)$$

## 4.2 Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu (4.1) yıllık toplam sistem maliyetini kapsamaktadır. Yıllık sistem maliyeti, sabit depo açma ve işletme, depolarda ve perakende mağazalarında stok tutma, tedarikçiden depolara ve depolardan perakende mağazalarına taşıma maliyetleri yer almaktadır. Envanter maliyetlerinde perakende mağazalarında döngü servis seviyesiyle güvenlik stoğu tutulmaktadır. Depolardan perakendecilere teslim süresi, uzaklık ile doğru orantılı alınmakta ve minimum uzaklık için 1 gün kabul edilmektedir. Tesis tiplerinin kapasitelerine göre oluşan tesis maliyetlerinde ve depolara ve perakendecilere gelen taşıma miktarlarına bağlı taşıma maliyetlerinde ölçek ekonomisi göz önüne alınmaktadır.

## 4.3 Kısıtlar

(4.2) nolu eşitsizlikte, depo tiplerinin kapasitelerine göre kapasite kısıtı oluşturulmaktadır. (4.3) nolu eşitsizlikte her depo tipinden en fazla bir adet açılacağı kısıtı yer almaktadır. (4.4) nolu eşitlik, bir mağaza en fazla bir açık olan depodan hizmet alabileceği kısıtını oluşturmaktadır. (4.5) nolu eşitsizlik, akış denge kısıtını oluşturmakta olup perakende mağazalarının sadece açık olan depolara atanabileceğini garanti etmektedir [9]. (4.6) ve (4.7) tamsayı kısıtlarıdır. Kısıt (4.8), depolar ve onlara bağlı perakende mağazaları ikmal frekanslarının, 2'nin kuvveti gözlem politikasına göre belirlenen ikmal frekansı kümesinden seçilmesi gerektiğini göstermektedir.

## 4.4 Maliyet Fonksiyonları

Depolarda yıllık envanter tutma maliyeti ve taşıma maliyetleri arasında bir ilişki bulunmaktadır. Tedarikçiden depolara taşıma miktarı, seçilen frekans kombinasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Aynı şekilde depolarda tutulan ortalama envanter hesaplamasında da seçilen frekans kombinasyonunun etkisi vardır. Depo ve o depolara bağlı olan perakende mağazaları için ikmal frekansları, önceden belirlenen frekans setinden seçilmektedir. Depolardaki envanter ve taşıma maliyetleri için seçilen frekans setine göre oluşan üç durum söz konusudur. Durum 1, depo ikmal frekansının, o depoya bağlı olan perakende mağazalarının ikmal frekanslarının en küçüğünden daha küçük veya en küçüğüne eşit olduğu durumdur. Durum 2 ise, depo ikmal frekansının, o depoya bağlı olan perakende mağazalarının ikmal frekanslarının en büyüğünden daha büyük veya en büyüğüne eşit olduğu durumdur. Durum 3'te ise depo ikmal frekansı, kendisine bağlı olan perakende mağazalarının ikmal frekanslarının arasında olduğu bir değere sahiptir. Bu durumlara göre her alt sistem için bir envanter döngüsü ve depolara ikmal yapısı oluşmaktadır. Envanter döngüsü, kendisini tekrarlayan envanter profilini oluşturmaktadır bu da bir alt sistemin periyoduna denktir. Bir alt sistemdeki periyot, o alt sistemde bulunan depo ve perakendecilerin hafta bazında ikmal frekanslarının en büyüğüne eşittir.  $j$ . depoya ikmal sayısı,  $q_j$ , periyodun, deponun ikmal frekansına bölümü ile bulunmaktadır. Örneğin, alt sistemin periyodu ve deponun ikmal frekansı birbirine eşit ise (Durum 2) bir periyotta depolara tek sefer ikmal yapılır. Eğer deponun ikmal frekansı periyottan küçükse (Durum 1 veya 2) depolara ikmal birden fazladır. Bunun dışında Durum 3'te, depolara taşıma miktarı için iki varsayım yapılmaktadır. İlk var-

sayımda, depolara gelen taşıma, bir periyot içerisinde  $q_j$  kadar ve farklı miktarlarda yapılır. İkinci varsayımda ise depolara gelen taşıma, bir periyot içerisinde  $q_j$  kadar aynı miktarlarda (depoların ikmal frekansına göre talepleri kadar) gelecektir. Özetle oluşan üç durum ve bu durumlardan Durum 3'e ait iki varsayıma göre 2 ayrı ortalama envanter hesaplama ve gelen taşıma miktarı formülleri türetilmiştir. Kullanılan formüller ve durumların özellikleri, Şekil 4.1'de özetlenmektedir.

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	
Açıklama	$\max\{R_1^r, R_2^r, \dots, R_N^r\} \geq R_j^d$	$\max\{R_1^r, R_2^r, \dots, R_N^r\} \leq R_j^d$	$\min\{R_1^r, R_2^r, \dots, R_N^r\} < R_j^d < \max\{R_1^r, R_2^r, \dots, R_N^r\}$	
			1. Varsayım: çok sayıda farklı miktar	2. Varsayım: çok sayıda aynı miktar
Periyot $P_j$	Deponun ikmal frekansından büyük	Deponun ikmal frekansına eşit	Deponun ikmal frekansından büyük	Deponun ikmal frekansından büyük
İkmal sayısı $q_j$	1'den fazla	Tek sefer	1'den fazla	1'den fazla
Ortalama Envanter	formül 1.E	formül 1.E	formül 2.E	formül 1.E
Taşıma Miktarı	formül 1.T	formül 1.T	formül 2.T	formül 1.T

Şekil 4.1: Depo ve perakende mağazalarının ikmal frekanslarına göre oluşturduğu durumların özellikleri

#### 4.4.1 Depo açma ve işletme yıllık maliyeti

Tesislerin rolü, konumu, kapasitesi ve esnekliği ile ilgili kararların tedarik zinciri performansı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Tesis sayısının artması, onları daha esnek hale getirirken kapasitenin artması yanıt verebilirliği artırabilir. Bu kararların tamamı maliyet anlamına gelmektedir. Örneğin, tesis sayısını artırmak, tesis ve stok maliyetlerini artırırken, nakliye maliyetlerini düşürür ve yanıt süresini kısaltır [1]. Yıllık açma ve işletme maliyeti Berman ve ark. çalışmasında olduğu gibi formülize edilmiştir [9]. Fakat bu çalışmadaki önerilen modelde, depolar için açma ve işletme maliyetlerinde deponun işlem kapasitesine göre değişen birim maliyet hesaplamasında ölçek ekonomisi göz önüne alınmıştır. İşlem kapasitesi arttıkça birim başına depo maliyetleri düşmektedir. Birim maliyetler için ölçek ekonomisi faktörleri  $\theta_0$  ve  $\theta_1$  kullanılmıştır ve formül (4.9) ve (4.10)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Birim maliyetlere göre her bir kapasite için yıllık tesis açma ve işletme maliyetleri  $F_t, \forall t \in T$  elde edilmiştir. Yıllık depo açma ve işletme maliyeti  $I_1$  formül (4.11)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$f_t = f_{t-1} * (1 - \theta_{t-1})^{(t-1)} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (4.9)$$

$$F_t = f_t * K_t \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (4.10)$$

$$C_1 = F^d(X) = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} X_{jt} * F_t \quad \forall j \in J, \forall t \in T, X: \{X_{jt} \mid \forall j \in J, \forall t \in T\} \quad (4.11)$$

#### 4.4.2 Yıllık envanter tutma maliyeti

Bu çalışmada envanter yönetiminde, periyodik gözlem politikası uygulanmaktadır. Sil-ver ve diğerleri [14], ikmal frekans değerinin, özellikle sabit maliyetler olmak üzere, envanter gözlem ve yenileme maliyetlerine göre belirlenebildiği ve aynı zamanda dış faktörlerin (kamyon teslimatlarının sıklığı, ilgili ürün ikmallerinin koordinasyonu ve aynı tedarikçiden satın alma gibi) genellikle ikmal frekans değerini etkilediğini vurgulamaktadır.

Bu çalışmada önerilen modelde, depolar ile o depolara atanan perakende mağazaları ikmal frekansları arasında bir koordinasyon bulunmaktadır. Depolardaki envanter profili, bu ikmal frekanslarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Depolardaki ortalama envanter miktarı, sonsuz zaman diliminde tekrar eden envanter hareketlerine göre formülize edilmektedir. Envanter maliyetlerinde, depo döngü stokları, perakende mağazası döngü stokları ve güvenlik stokları göz önüne alınmıştır. Toplam envanter maliyetine depolar ve onlara bağlı perakende mağazalarının oluşturduğu küçük sistemler üzerinden yapılan hesaplamaların toplamı ile ulaşılmaktadır. Her bir alt sistem için belirlenen ikmal frekansları alt kümesi, taşıma ve envanter maliyetinin hesaplamalarında farklı durumlara neden olmaktadır. Her durumda perakende mağazaları envanter maliyetleri için sabit bir formül kullanılırken depolar için durum farklıdır. Depolardaki envanter maliyeti için alt sistemdeki ikmal frekansı seçimlerine bağlı 2 formül geliştirilmiştir.

##### 4.4.2.1 Perakende mağazalarında yıllık envanter ve güvenlik stokları maliyetinin hesaplaması

$H^r(R^r(X, Y), (X, Y)), R^r(X, Y), (X, Y)$  karar değişkenlerine göre hesaplanan ortalama envanter maliyet fonksiyonunun genel gösterimidir. Formül (4.12)'de perakende mağazalarında ikmal frekansına göre tutulan ortalama envanter miktarı hesaplanmaktadır. Tutulan güvenlik stokları miktarı ise döngü servis seviyesi (cycle service level) göz önüne alınarak ile hesaplanmakta olup formül (4.13)'te gösterilmektedir. Formül (4.14)'te ise perakende mağazalarında toplam yıllık envanter maliyetin hesaplandığı envanter maliyet fonksiyonu tanımlanmaktadır. Perakende mağazaları için yıllık envanter maliyetleri amaç fonksiyonunda  $C_2$  ile gösterilmektedir. [Formül 4.15]  $C_2$  maliyeti, belirlenen depo yer ve kapasite kararı olan  $X_{jt}$  ve atama kararı olan  $Y_{ij}$  değerlerine ve bu değerlere bağlı belirlenen  $R_i^r$  değerlerine bağlı olarak bulunmaktadır. (CSL: Döngü servis seviyesi, bir yenileme döngüsündeki stoksuz kalmama olasılığıdır.)

$$A_i^r = \mu_i * R_i^r \quad \forall i \in I \quad (4.12)$$

$$A_i^{ss} = \sum_{j \in J} F_s^{-1}(CSL) * \sigma_i * \sqrt{R_i^r + l_{ij}^r} \quad \forall i \in I \quad (4.13)$$

$$H^r(R^r(X, Y), (X, Y)) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in S_j} h^r * Y_{ij} * (A_i^r/2 + A_i^{ss}) \quad (4.14)$$

$$\forall j \in J, \forall i \in I$$

$$C_2 = H^r(R^r(X, Y), (X, Y)) \quad (4.15)$$

$$Y \in \{Y_{ij} \mid \forall j \in J, \forall i \in I\}$$

$$X \in \{X_{jt} \mid \forall j \in J, \forall t \in T\}$$

$$R \in \{R_j^d \mid \forall j \in J\} \cup \{R_i^r \mid \forall i \in I\}$$

#### 4.4.2.2 Depolarda yıllık envanter tutma maliyeti

Depolarda döngü stokları maliyetleri, amaç fonksiyonunda yer alan  $C_3$  ile gösterilmektedir. Yıllık stok tutma maliyeti,  $X_{jt}$  ve  $Y_{ij}$  karar değişkenlerine ve bu karar değişkenlerine göre belirlenen  $R_j^d$  karar değişkenine bağlı olarak bulunmaktadır. [Formül 4.16] Perakendecilerde ihtiyaç duyulan güvenlik stoğu miktarı, büyük ölçüde ikmal sağlama süresine ve dolayısıyla atanmış olduğu depoya olan mesafesine bağlıdır [15]. Güvenlik stoğunun bir önemli etkenlerinden olan talep değişkenliği, depolarda, perakende mağazalarına göre daha azdır. Depolarda güvenlik stoğu ihtiyacının çok düşük seviyede olması sebebi ile bu modelde göz ardı edilmiştir.  $A_j^d$ , j. depo için, depo taleplerine göre tutulan ortalama envanter miktarıdır. Envanter ve taşıma maliyetleri arasında ikmal frekans kombinasyonlarına göre bir bağlantı bulunmaktadır. Depolar ve o depolara bağlı perakende mağazaları için seçilen ikmal frekans kombinasyonları, depolara gelen taşıma miktarını ve dolayısıyla döngü stok seviyelerini etkilemektedir. j. depodaki ortalama envanter miktarı  $A_j^d$ 'nin bulunması için 2 farklı formül türetilmiştir. Bunlar Formül 1.E ve Formül 2.E olarak adlandırılmaktadır. Yukarıda bahsedilen durumlardan Durum 1 ve Durum 2 için Formül 1.E, Durum 3'teki 1. varsayım için 2.E ve yine Durum 3'e ait 2. varsayım için ise Formül 1.E kullanılmaktadır.

##### Formül 1.E:

$$A_j^d = \sum_{i \in S_j} \frac{P_j}{R_{max,i}} * \left[ \sum_{k=1}^{R_{ratio}} k * \mu_i * (R_{min,i})^2 \right] \quad S_j \subset I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

$$P_j = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, \dots, R_N^r, R_j^d\} \quad \forall j \in J$$



$$R_{ratio} = \begin{cases} R_j^d/R_i^r - 1 & \text{eğer } R_j^d \geq R_i^r \\ R_i^r/R_j^d - 1 & \text{eğer } R_j^d < R_i^r \end{cases} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{max,i} = \max\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{min,i} = \min\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

**Formül 2.E:**

$$A_j^d = \sum_{i \in S_j} \frac{P_j}{R_j^d} * \left[ \sum_{k=1}^{(R_j^d/R_i^r)-1} k * \mu_i * (R_i^r)^2 \right] \quad S_j \subset I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

$$P_j = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, \dots, R_{N_j}^r, R_j^d\} \quad \forall j \in J$$

$H^d(R^r(X,Y), R^d(X,Y), (X,Y))$ , tüm depoların  $R^r(X,Y), R^d(X,Y), (X,Y)$  karar değişkenlerine göre hesaplanan toplam ortalama envanter maliyet fonksiyonudur. Aşağıda formül (4.16)'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Matematiksel modelde  $C_3$  ile gösterilmektedir.  $R^d$  ve  $R^r$  olarak gösterilen depo ve mağazalar için ikmal frekansı karar değişkenleri, X ve Y karar değişkenlerine bağlı olarak bulunmaktadır.

$$C_3 = H^d(R^r(X,Y), R^d(X,Y), (X,Y))$$

$$H^d(R^r(X,Y), R^d(X,Y), (X,Y)) = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} A_j^d * h^d * X_{jt} \quad (4.16)$$

$$Y \in \{Y_{ij} \mid \forall j \in J, \forall i \in I\}$$

$$X \in \{X_{jt} \mid \forall j \in J, \forall t \in T\}$$

$$R \in \{R_j^d \mid \forall j \in J\} \cup \{R_i^r \mid \forall i \in I\}$$

#### 4.4.3 Yıllık taşıma maliyeti

##### 4.4.3.1 Depolardan perakende mağazalarına yıllık taşıma maliyeti

$TC_i^r(Q_i^r, (X,Y), (X,Y))$  karar değişkenlerine göre i. perakende mağazasına gelen optimal frekanslara göre hesaplanmış parti büyüklüğüne bağlı değişen taşıma maliyet fonksiyonudur. i. perakendeci için yıllık taşıma maliyeti formül (4.18)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Depolardan perakende mağazalarına gelen taşıma miktarı  $Q_i^r$ , mağazaların yıllık talepleri kadar ve ikmal frekanslarına göre gerçekleşir [Formül (4.17)]. Amaç fonksiyonunda tüm mağazalar için yıllık envanter maliyeti  $C_4$  olarak

gösterilmektedir. [Formül (4.21)]. Taşıma maliyetinde ölçek ekonomisi göz önünde bulundurulmuştur[Formül (4.19)]. Ayrıca uzaklığa bağlı maliyet faktörü  $d$  de formüle dahil edilmektedir [Formül (4.20)].

$$Q_i^r = \mu_i * R_i^r \quad \forall i \in I \quad (4.17)$$

$$TC_i^r(Q_i^r, (X, Y)) = \sum_{\forall j \in J} Q_i^r * Y_{ij} * g^{dr} * d * 52/R_i^r \quad \forall i \in I \quad (4.18)$$

$$g^{dr} = \begin{cases} g_0^{dr} & \text{eğer } Q_i^r < M_1^{dr} \\ g_0^{dr} * (1 - \alpha_0) & \text{eğer } M_1^{dr} \leq Q_i^r < M_2^{dr} \\ g_0^{dr} * (1 - \alpha_0) * (1 - \alpha_1) & \text{eğer } M_2^{dr} \leq Q_i^r \end{cases} \quad (4.19)$$

$d_{min}$  : Depolardan perakendecilere uzaklık matrisindeki en düşük uzaklık.

$$d = D_{ij} / d_{min} \quad (4.20)$$

Not:  $\alpha_0$  ve  $\alpha_1$ , ölçek ekonomisine bağlı azalış faktörleridir.

$$C_4 = \sum_{\forall i \in I} TC_i^r \quad (4.21)$$

#### 4.4.3.2 Tedarikçiden depolara yıllık taşıma maliyeti

Her bir depo için toplam yıllık taşıma maliyetini ifade eden  $TC_j^d(Q_j^d, (X, Y))$  fonksiyonu, j. depoya gelen parti büyüklüğü  $Q_{jn}^d$  ve  $(X, Y)$  karar değişkenlerine bağlı fonksiyondur. Her bir depo için toplam yıllık taşıma maliyeti, formül (4.22)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. j. depoya gelen parti büyüklüğü olan  $Q_{jn}^d$  seçilen frekans kombinasyonlarına göre değişmektedir. Formül (4.23)'de gösterildiği üzere, tedarikçiden depolara taşıma maliyetlerinde de parti büyüklüğüne bağlı değişen birim maliyetlerde ölçek ekonomisi göz önüne alınmaktadır. Ayrıca taşınan ürünler üzerinde doğrusal etkisi olan tedarikçi ile depolar arası mesafeye göre belirlenen maliyet faktörü ( $d$ ) tedarikçiden depolara taşıma maliyet hesaplamasına dahil edilmiştir[Formül (24)]. Amaç fonksiyonunda, tedarikçiden depolara toplam yıllık taşıma maliyeti  $C_5$  ile tanımlanmaktadır ve formül (4.25) ile hesaplanmaktadır. Yukarıda bahsedilen durumlardan, durum 1'de deponun ikmal frekansı, ona bağlı olan mağazaların ikmal frekanslarının en küçüğüne eşit veya ondan daha küçük olduğundan bir periyot içerisinde birden fazla ikmal söz konusudur. Durum 2'de, deponun ikmal frekansı, ona bağlı olan mağazaların ikmal frekanslarının en büyüğünden daha büyük veya en büyüğüne eşit olduğundan bir periyot içerisinde tek bir ikmal söz konudur. Durum 3'te ise depo ikmal frekans değerinin mağazaların ikmal frekansı değerlerinin arasında olduğu durumdur. Bu durumda periyot, deponun ikmal frekansından büyük olacağı için böylesi bir alt sistem için, bir periyot içerisinde birden fazla taşıma söz konusudur. 3. durum koşullarında, depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki döngü stokları arasında bir ödünleşim bulunmaktadır. Taşıma miktarları için 2 varsayım bulunmaktadır. En iyi maliyeti veren

ikmal frekansı kombinasyonu seçimine göre oluşan durumlarda farklı 2  $Q_{jn}^d$  hesaplama formülleri türetilmiştir. Bunlar Formül 1.T ve Formül 2.T olarak adlandırılmıştır. Yukarıda bahsedilen durum 1 ve durum 2 için Formül 1.T, durum 3'ün 1. varsayımında Formül 2.T ve 2. varsayımında ise Formül 1.T kullanılmaktadır.

$$TC_j^d(Q_{jn}^d, (X, Y)) = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} Q_{jn}^d * g^{sd} * X_{jt} * d * 52/R_j^d \quad (4.22)$$

$$\forall j \in J, \forall n \in \{0, 1, \dots, (q_j - 1)\}$$

$$g^{sd} = \begin{cases} g_0^{sd} & \text{eğer } Q_{jn}^d < M_1^{sd} \\ g_0^{sd} * (1 - \beta_0) & \text{eğer } M_1^{sd} \leq Q_{jn}^d < M_2^{sd} \\ g_0^{sd} * (1 - \beta_0) * (1 - \beta_1) & \text{eğer } M_2^{sd} \leq Q_{jn}^d \end{cases} \quad (4.23)$$

$d_{min}$  : Tedarikçiden depolara olan uzaklık matrisindeki en düşük uzaklık.

$$d = D_{sj} / d_{min} \quad (4.24)$$

Not:  $\beta_0$  ve  $\beta_1$ , ölçek ekonomisine bağlı azalış faktörleridir.

$$C_5 = \sum_{\forall j \in J} TC_j^d \quad (4.25)$$

#### Formül 1.T:

$$Q_{jn}^d = \sum_{i \in I} R_j^d * \mu_i * Y_{ij} \quad \forall j \in J$$

$$\forall n \in \{0, 1, \dots, (q_j - 1)\}, \quad \forall j \in J$$

$$P_j = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, \dots, R_{N_j}^r, R_j^d\} \quad N_j = s(S_j), S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$q_j = P_j / R_j^d \quad \forall j \in J$$

#### Formül 2.T:

$$Q_{jn}^d = \sum_{i \in I} \max\{[1 - \text{mod}(n, R_i^r / R_j^d)], 0\} * \max(R_j^d, R_i^r) * \mu_i * Y_{ij}$$

$$\forall n \in \{0, 1, \dots, (q_j - 1)\}, \quad \forall j \in J$$

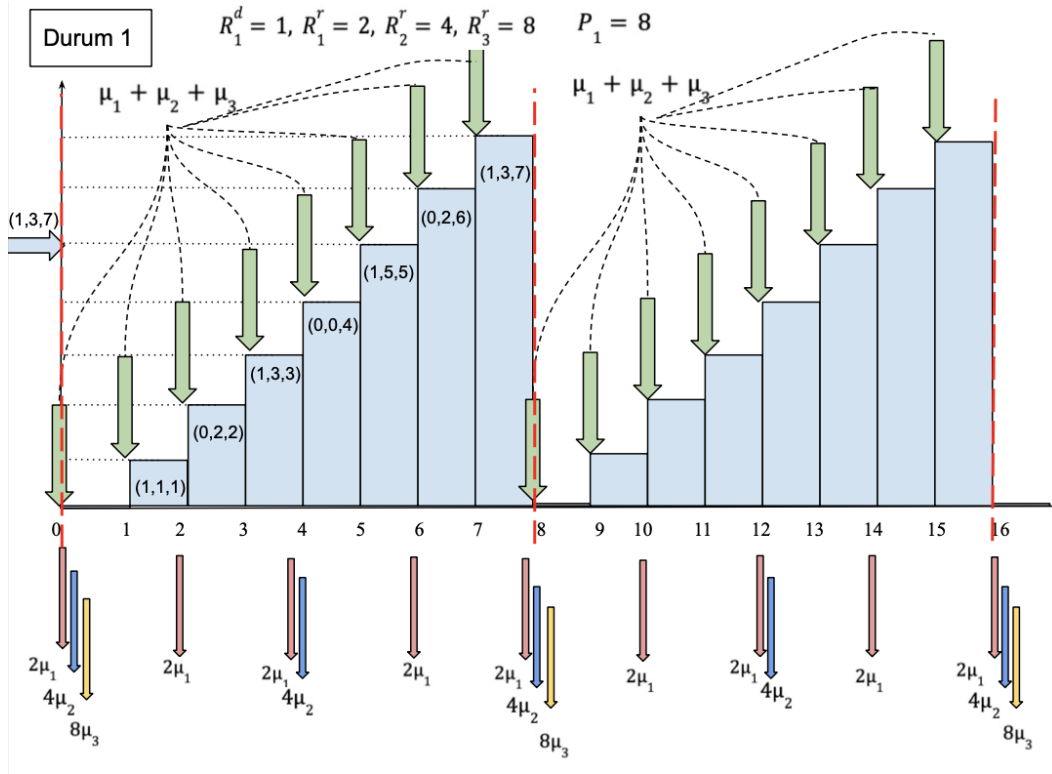
$$P_j = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, \dots, R_{N_j}^r, R_j^d\} \quad N_j = s(S_j), S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$q_j = P_j / R_j^d \quad \forall j \in J$$

Daha açık olması bakımından göz önüne alınan durumlar ve bu durumlarda kullanılan formüllere aşağıda birer örnek verilmektedir.

Örnek (Durum 1):

1. deponun açık olduğu bir alt sistem olsun. İkmal frekansı  $R_1^d$  olarak gösterilmektedir. 1. depoya bağlı olan 1., 2. ve 3. perakendecilerin ikmal frekansı ise  $R_1^r, R_2^r, R_3^r$  olarak gösterilmektedir. Örnek bir frekans kombinasyon seti ise;  $R_1^d = 1, R_1^r = 2, R_2^r = 4, R_3^r = 8$  hafta olsun. 1. depoya bağlı perakendecilerin talepleri ise  $\mu_1, \mu_2$  ve  $\mu_3$  olsun. Bu durumda periyot, alt sistemde yer alan depo ve perakendecilerin ikmal frekanslarının en büyüğüne eşit olduğuna göre  $P_1 = 8$  hafta olarak bulunmaktadır. Bu alt sistem için gelen ikmaller ve bir periyot boyunca oluşan ortama envanter yapısı, Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Şekil 4.2’de, parantez içindeki (1,3,7), (1,1,1), vb. gösterimler, 1. depoya bağlı perakendecilerin ortalama taleplerinin depodaki haftalık kalan ve tutulan katsayılarını göstermektedir.



Şekil 4.2: Durum 1’deki depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği.

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere 8 haftalık periyot süresince talepleri karşılamak için  $4\mu_1, 12\mu_2$  ve  $28\mu_3$ , kadar envanter tutulmaktadır. Bu miktarın hesaplanması için Formül 1.E kullanılmaktadır. Gelen taşıma miktarı ise deponun ikmal frekansı ve o depoya ait taleplerin çarpımı ile hesaplanmaktadır. Bu örnek için haftalık gelen ikmal haftalık  $\mu_1 + \mu_2 + \mu_3$  kadar olup Formül 1.T ile hesaplanmaktadır.

Durum 1’de tutulan ortalama envanterin matematiksel hesabı:

$$A_1^d = \sum_{i \in S_1} \frac{P_1}{R_{max,i}} * [ \sum_{k=1}^{R_{ratio}} k * \mu_i * (R_{min,i})^2 ] \quad S_j \subset I$$

$$R_{ratio} = \begin{cases} R_j^d/R_i^r - 1 & \text{eğer } R_j^d \geq R_i^r \\ R_i^r/R_j^d - 1 & \text{eğer } R_j^d < R_i^r \end{cases} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{max,i} = \max\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{min,i} = \min\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$i = 1; R_1^r = 2, R_1^d = 1, R_{ratio} = 1 \Rightarrow \frac{8}{2} * \left( \sum_{k=1}^1 k * \mu_1 * 1^2 \right) = 4\mu_1$$

$$i = 2; R_2^r = 4, R_1^d = 1, R_{ratio} = 3 \Rightarrow \frac{8}{4} * \left( \sum_{k=1}^3 k * \mu_2 * 1^2 \right)$$

$$= 2 * (1\mu_2 + 2\mu_2 + 3\mu_2)$$

$$= 12\mu_2$$

$$i = 3; R_3^r = 8, R_1^d = 1, R_{ratio} = 7 \Rightarrow \frac{8}{8} * \left( \sum_{k=1}^7 k * \mu_3 * 1^2 \right)$$

$$= 1 * (1\mu_3 + 2\mu_3 + 3\mu_3 +$$

$$4\mu_3 + 5\mu_3 + 6\mu_3 + 7\mu_3)$$

$$= 28\mu_3$$

Durum 1'deki taşıma miktarının matematiksel hesabı:

$$P_1 = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, R_j^d\} \Rightarrow P_1 = 8$$

$$q_1 = P_1/R_1^d \Rightarrow q_1 = 8/1 = 8$$

$$Q_{1n}^d = \sum_{i \in I} R_1^d * \mu_i * Y_{i1} \Rightarrow 1 * (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)$$

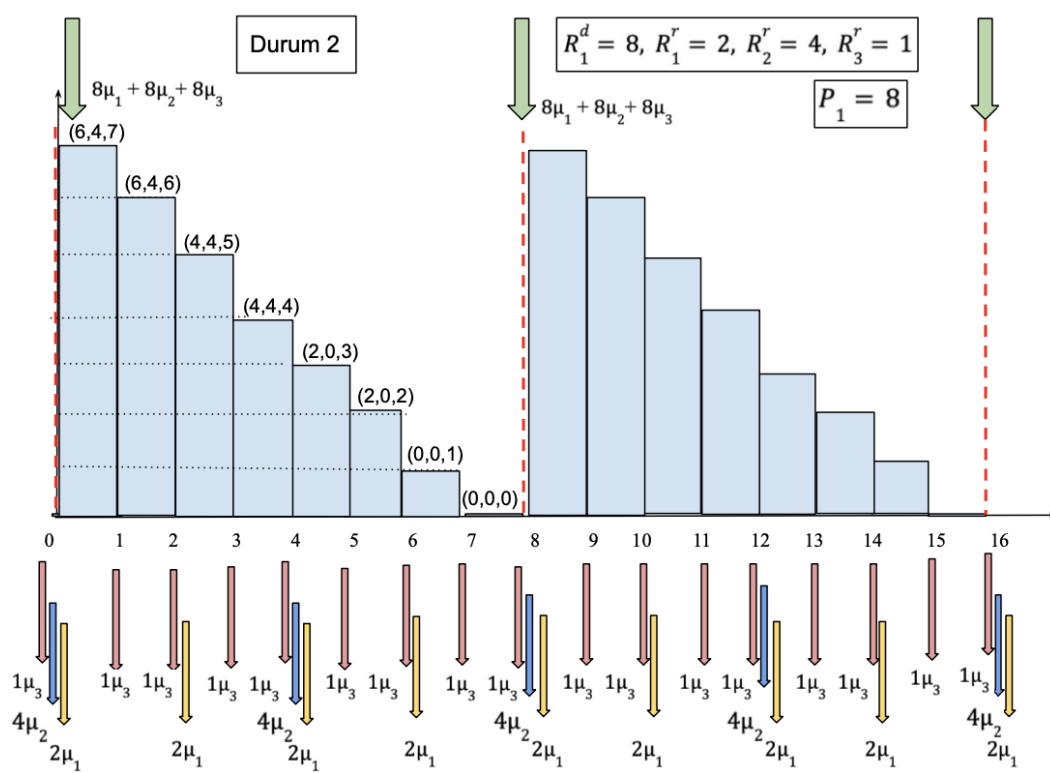
$$\forall n \in \{0, 1, \dots, (q_j - 1)\} \Rightarrow \forall n \in \{0, 1, \dots, 7\}$$

$Q_{1n}^d$ 'deki "n" indeksi bir periyot içerisinde kaçınıcı ikmalin gerçekleştiğini göstermektedir. Bu örnekteki koşulda bir periyot içerisinde 8 kere aynı ikmal gelmektedir ve

miktarı;  $Q_{10}^d = Q_{11}^d = Q_{13}^d = \dots = Q_{17}^d = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$  kadardır.

Örnek (Durum 2):

1. deponun açık olduğu bir alt sistem olsun. İkmal frekansı  $R_1^d$  olarak gösterilmektedir. 1. depoya bağlı olan 1., 2. ve 3. perakendecilerin ikmal frekansı ise  $R_1^r, R_2^r$  ve  $R_3^r$  olarak gösterilmektedir. Örnek bir frekans kombinasyon seti ise;  $R_1^d = 8, R_1^r = 2, R_2^r = 4, R_3^r = 1$  hafta olsun. 1. depoya bağlı perakendecilerin talepleri ise  $\mu_1, \mu_2$  ve  $\mu_3$  olsun. Bu durumda periyot alt sistemde yer alan depo ve perakendecilerin ikmal frekanslarının en büyüğüne eşit olduğuna göre  $P_1 = 8$  hafta olarak bulunmaktadır. Bu alt sistem için gelen ikmal ve bir periyot boyunca tutulan ortama envanter Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Ayrıca parantez içindeki (6,4,7), (6,4,6), vb. gösterimler, 1. depoya bağlı perakendecilerin ortalama taleplerinin depodaki haftalık kalan ve tutulan katsayılarını göstermektedir.



Şekil 4.3: Durum 2'deki depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği.

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere 8 haftalık periyot süresince talepleri karşılamak için  $24\mu_1, 16\mu_2$  ve  $28\mu_3$  kadar envanter tutulmaktadır. Bu miktarın hesaplanması için Formül 1.E kullanılmaktadır. Gelen taşıma miktarı ise deponun ikmal frekansı ve o depoya ait taleplerin çarpımı ile hesaplanmaktadır. Bu örnek için haftalık gelen ikmal, 8 haftada bir  $8\mu_1 + 8\mu_2 + 8\mu_3$  kadar olup Formül 1.T ile hesaplanmaktadır.

Durum 2'de tutulan ortalama envanterin matematiksel hesabı:

$$A_1^d = \sum_{i \in S_1} \frac{P_1}{R_{max,i}^{R_{ratio}}} * \left[ \sum_{k=1}^{R_{ratio}} k * \mu_i * (R_{min,i}^d)^2 \right] \quad S_j \subset I$$

$$R_{ratio} = \begin{cases} R_j^d / R_i^r - 1 & \text{eğer } R_j^d \geq R_i^r \\ R_i^r / R_j^d - 1 & \text{eğer } R_j^d < R_i^r \end{cases} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{max,i} = \max\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{min,i} = \min\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$i = 1; R_1^r = 2, R_1^d = 8, R_{ratio} = 3 \Rightarrow \frac{8}{8} * \left( \sum_{k=1}^3 k * \mu_1 * 2^2 \right)$$

$$= 1 * (1\mu_1 + 2\mu_1 + 3\mu_1) * 4$$

$$= 24\mu_1$$

$$i = 2; R_2^r = 4, R_1^d = 8, R_{ratio} = 1 \Rightarrow \frac{8}{8} * \left( \sum_{k=1}^1 k * \mu_2 * 4^2 \right)$$

$$= 16\mu_2$$

$$i = 3; R_3^r = 1, R_1^d = 8, R_{ratio} = 7 \Rightarrow \frac{8}{8} * \left( \sum_{k=1}^7 k * \mu_3 * 1^2 \right)$$

$$= 1 * (1\mu_3 + 2\mu_3 + 3\mu_3 + 4\mu_3 +$$

$$5\mu_3 + 6\mu_3 + 7\mu_3)$$

$$= 28\mu_3$$

Durum 2'deki taşıma miktarının matematiksel hesabı:

$$P_1 = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, R_j^d\} \Rightarrow P_1 = 8$$

$$q_1 = P_1 / R_1^d \Rightarrow q_1 = 8/8 = 1$$

$$Q_{1n}^d = \sum_{i \in I} R_1^d * \mu_i * Y_{i1} \Rightarrow 8 * (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)$$

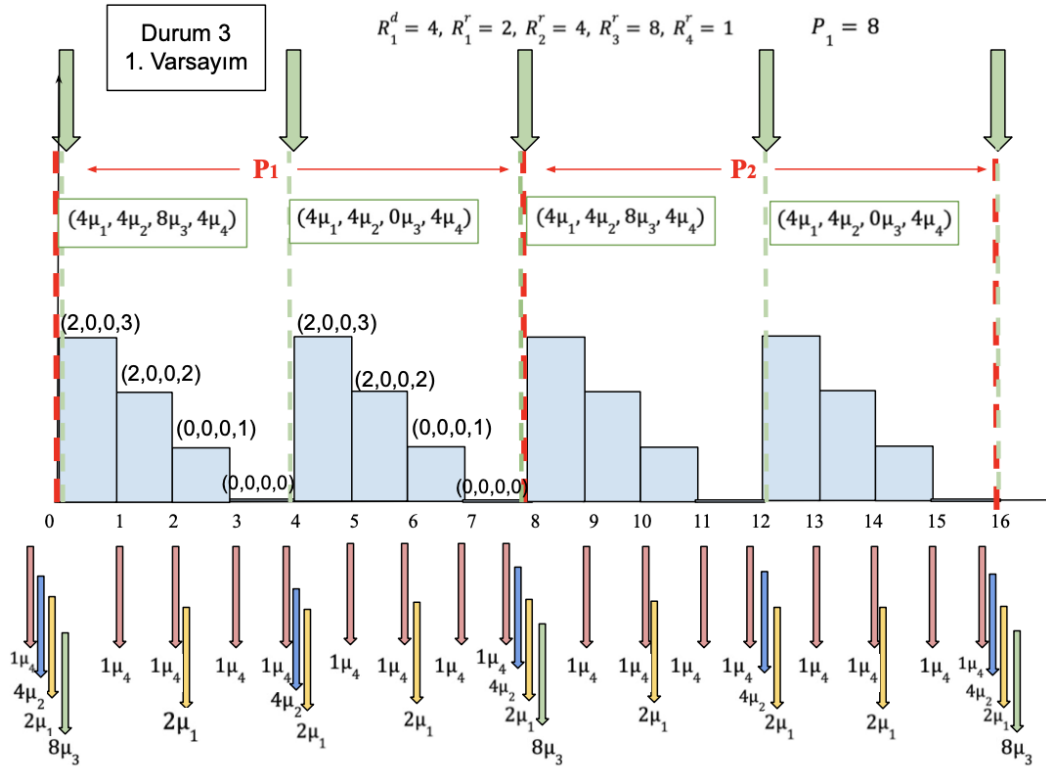
$$\forall n \in \{0, 1, \dots, (q_j - 1)\} \Rightarrow \forall n \in \{0\}$$

$Q_{1n}^d$ 'deki "n" indeksi, bir periyot içerisinde kaçınıcı ikmalin gerçekleştiğini göstermek-

tedir. Bu örnekteki koşulda bir periyodun en başında 1 kere ikmal gelmektedir ve miktarı;  $Q_{10}^d = 8\mu_1 + 8\mu_2 + 8\mu_3$  kadardır.

Örnek (Durum 3 - 1. varsayım):

1. deponun açık olduğu bir alt sistem olsun. İkmal frekansı  $R_1^d$  olarak gösterilmektedir. 1. depoya bağlı olan 1., 2., 3. ve 4. perakendecilerin ikmal frekansı ise  $R_1^r, R_2^r, R_3^r$  ve  $R_4^r$  olarak gösterilmektedir. Örnek bir frekans kombinasyon seti ise;  $R_1^d = 4, R_1^r = 2, R_2^r = 4, R_3^r = 8, R_4^r = 1$  hafta olsun. 1. depoya bağlı perakendecilerin talepleri ise  $R_1^r, R_2^r, R_3^r$  ve  $R_4^r$  olsun. Bu durumda periyot alt sistemde yer alan depo ve perakendecilerin ikmal frekanslarının en büyüğüne eşit olduğuna göre  $P_1 = 8$  hafta olarak bulunmaktadır. Bu alt sistem için gelen ikmal ve bir periyot boyunca tutulan ortama envanter Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Ayrıca parantez içindeki  $(2,0,0,3), (2,0,0,2),$  vb. gösterimler, 1. depoya bağlı perakendecilerin ortalama taleplerinin depodaki haftalık kalan ve tutulan katsayılarını göstermektedir.



Şekil 4.4: Durum 3'teki 1. varsayımda depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği.

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere 8 haftalık periyot süresince depolara iki kez farklı miktarlarda ikmal gerçekleşmektedir. İlk ikmalde talepleri karşılamak için  $4\mu_1 + 4\mu_2 + 8\mu_3 + 4\mu_4$ , ikinci ikmalde ise  $4\mu_1 + 4\mu_2 + 0\mu_3 + 4\mu_4$  kadar taşıma olmaktadır. Bir periyotta toplamda  $8\mu_1, 0\mu_2, 0\mu_3$  ve  $12\mu_4$  kadar envanter tutulmaktadır. Bu koşulda 2. ve 3. perakendeciler için çapraz sevkiyat gerçekleşmiştir. Tutulan toplam envanter miktarının hesaplanması için Formül 2.E kullanılmaktadır. Gelen taşıma miktarı için ise Formül



2.T kullanılmaktadır.

Durum 3 - 1. varsayım için tutulan ortalama envanterin matematiksel hesabı:

$$A_1^d = \sum_{i \in S_1} \frac{P_1}{R_1^d} * \left[ \sum_{k=1}^{(R_1^d/R_i^r)-1} k * \mu_i * (R_i^r)^2 \right] \quad S_j \subset I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

$$P_j = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, \dots, R_{N_j}^r, R_j^d\} \quad \forall j \in J$$

$$P_j = \max\{2, 4, 8, 1, 4\}$$

$$P_j = 8 \text{ hafta}$$

$$i = 1; R_1^r = 2, R_1^d = 4, (R_1^d/R_i^r) - 1 = 1 \Rightarrow \frac{8}{4} * \left( \sum_{k=1}^1 k * \mu_1 * 2^2 \right) = 8\mu_1$$

$$i = 2; R_2^r = 4, R_1^d = 4, (R_1^d/R_i^r) - 1 = 0 \Rightarrow \frac{8}{4} * \left( \sum_{k=1}^0 k * \mu_2 * 4^2 \right) = 0\mu_2$$

$$i = 3; R_3^r = 8, R_1^d = 4, (R_1^d/R_i^r) - 1 < 0 \Rightarrow 0\mu_3$$

$$i = 4; R_4^r = 1, R_1^d = 4, (R_1^d/R_i^r) - 1 = 3 \Rightarrow \frac{8}{4} * \left( \sum_{k=1}^3 k * \mu_4 * 1^2 \right) = 2 * (1\mu_4 + 2\mu_4 + 3\mu_4) = 12\mu_4$$

Durum 3 - 1. varsayımdaki taşıma miktarının matematiksel hesabı:

$$Q_{jn}^d = \sum_{i \in I} \max\{[1 - \text{mod}(n, R_i^r / R_j^d)], 0\} * \max(R_j^d, R_i^r) * \mu_i * Y_{ij}$$

$$\forall n \in \{0, 1, \dots, (q_j - 1)\}, \quad \forall j \in J$$

$$P_j = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, \dots, R_{N_j}^r, R_j^d\} \quad N_j = s(S_j), \quad S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$q_j = P_j / R_j^d \quad \forall j \in J$$

$$n = 0$$

$$i = 1, R_1^r = 2, R_1^d = 4$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_1^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_1^r) * \mu_1 + \dots$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(0, 2 / 4)], 0\} * \max(4, 2) * \mu_1 + \dots$$

$$Q_{10}^d = 4\mu_1 + \dots$$

$$i = 2, R_1^r = 4, R_1^d = 4$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_2^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_2^r) * \mu_2 + \dots$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(0, 4 / 4)], 0\} * \max(4, 4) * \mu_2 + \dots$$

$$Q_{10}^d = 4\mu_2 + \dots$$

$$i = 3, R_1^r = 8, R_1^d = 4$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_3^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_3^r) * \mu_3 + \dots$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(0, 8 / 4)], 0\} * \max(4, 8) * \mu_3 + \dots$$

$$Q_{10}^d = 8\mu_3 + \dots$$

$$i = 4, R_1^r = 1, R_1^d = 4$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_4^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_4^r) * \mu_4 + \dots$$

$$Q_{10}^d = \max\{[1 - \text{mod}(0, 1 / 4)], 0\} * \max(4, 1) * \mu_4 + \dots$$

$$Q_{10}^d = 4\mu_4 + \dots$$

$$Q_{10}^d = 4\mu_1 + 4\mu_2 + 8\mu_3 + 4\mu_4$$

$$n = 1$$

$$i = 1, R_1^r = 2, R_1^d = 4$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_1^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_1^r) * \mu_1 + \dots$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(1, 2 / 4)], 0\} * \max(4, 2) * \mu_1 + \dots$$

$$Q_{11}^d = 4\mu_1 + \dots$$

$$i = 2, R_1^r = 4, R_1^d = 4$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_2^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_2^r) * \mu_2 + \dots$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(1, 4 / 4)], 0\} * \max(4, 4) * \mu_2 + \dots$$

$$Q_{11}^d = 4\mu_2 + \dots$$

$$i = 3, R_1^r = 8, R_1^d = 4$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_3^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_3^r) * \mu_3 + \dots$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(1, 8/4)], 0\} * \max(4, 8) * \mu_3 + \dots$$

$$Q_{11}^d = 0\mu_3 + \dots$$

$$i = 4, R_1^r = 1, R_1^d = 4$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(n, R_4^r / R_1^d)], 0\} * \max(R_1^d, R_4^r) * \mu_4 + \dots$$

$$Q_{11}^d = \max\{[1 - \text{mod}(1, 1/4)], 0\} * \max(4, 1) * \mu_4 + \dots$$

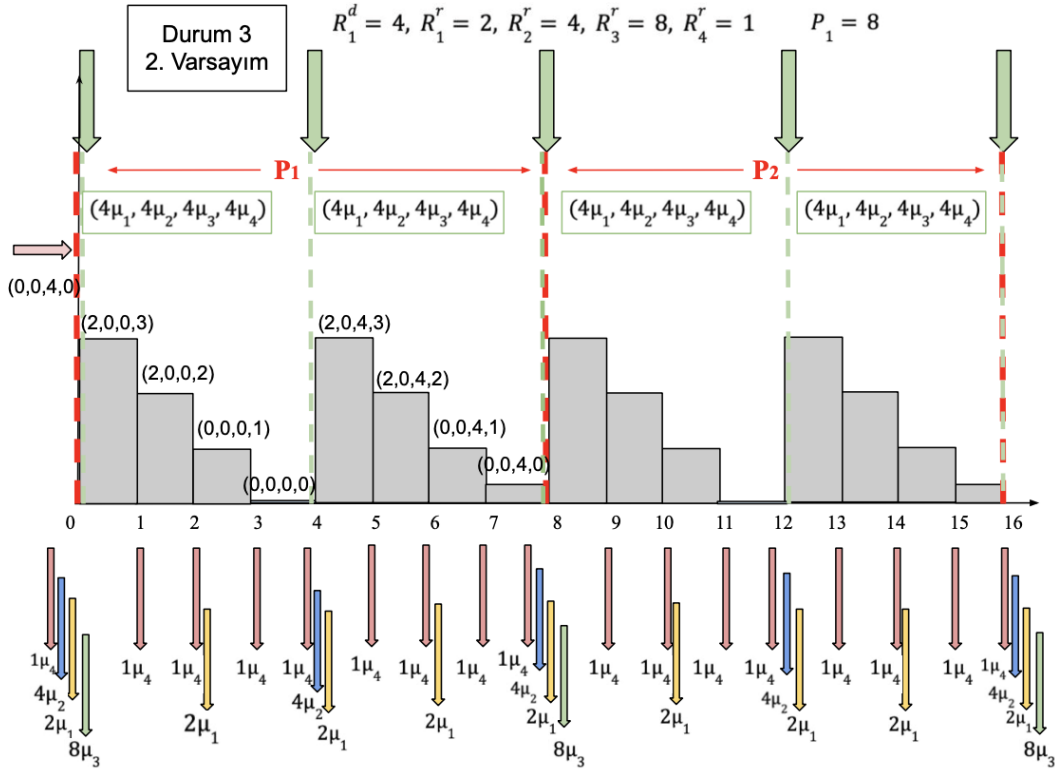
$$Q_{11}^d = 4\mu_4 + \dots$$

$$Q_{11}^d = 4\mu_1 + 4\mu_2 + 0\mu_3 + 4\mu_4$$

$Q_{1n}^d$  'deki "n" indeksi, bir periyot içerisinde depoya kaçınıcı ikmalin gerçekleştiğini göstermektedir. Bu örnekteki koşulda depolara bir periyotta 2 kere ikmal gelmektedir ve miktarları;  $Q_{10}^d = 4\mu_1 + 4\mu_2 + 8\mu_3 + 4\mu_4$  ve  $Q_{11}^d = 4\mu_1 + 4\mu_2 + 0\mu_3 + 4\mu_4$  kadardır.

Örnek (Durum 3 - 2. Varsayım):

1. deponun açık olduğu bir alt sistem olsun. 1. varsayımdaki aynı koşullar geçerli olup  $R_1^d = 4, R_1^r = 2, R_2^r = 4, R_3^r = 8, R_4^r = 1$  hafta olarak seçilmiştir. Periyot,  $P_1 = 8$  haftadır. 2. varsayımda depoya gelen ikmaller aynı miktarda deponun ikmal frekansına göre gelmektedir. Depoya gelen ikmal ve bir periyot boyunca tutulan ortama envanter Şekil 4.5'te gösterildiği gibidir. Parantez içindeki  $(2,0,0,3), (2,0,0,2),$  vb. gösterimler, 1. depoya bağlı perakendecilerin ortalama taleplerinin depodaki haftalık kalan ve tutulan katsayılarını göstermektedir.



Şekil 4.5: Durum 3'teki 2. varsayımda depolara gelen taşıma miktarı ve depolardaki envanter yapısı örneği.

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere 8 haftalık periyot süresince depolara iki kez ikmal gerçekleşmekte olup her ikmal,  $4\mu_1 + 4\mu_2 + 4\mu_3 + 4\mu_4$  kadardır. Bir periyotta toplamda  $8\mu_1, 0\mu_2, 16\mu_3$  ve  $12\mu_4$  kadar envanter tutulmaktadır. Bu koşulda ise sadece 2. perakendeci için çapraz sevkiyat gerçekleşmiştir. Tutulan toplam envanter miktarının hesaplanması için Formül 1.E kullanılmaktadır. Gelen taşıma miktarı için ise Formül 1.T kullanılmaktadır.

Durum 3 - 2. Varsayım için tutulan ortalama envanterin matematiksel hesabı:

$$A_1^d = \sum_{i \in S_1} \frac{P_1}{R_{max,i}^{ratio}} * \left[ \sum_{k=1}^{R_{ratio}} k * \mu_i * (R_{min,i}^d)^2 \right] \quad S_j \subset I$$

$$R_{ratio} = \begin{cases} R_j^d/R_i^r - 1 & \text{eğer } R_j^d \geq R_i^r \\ R_i^r/R_j^d - 1 & \text{eğer } R_j^d < R_i^r \end{cases} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{max,i} = \max\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$R_{min,i} = \min\{R_i^r, R_j^d\} \quad \forall i \in S_j \subset I, \forall j \in J$$

$$i = 1; R_1^r = 2, R_1^d = 4, R_{ratio} = 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{8}{4} * \left( \sum_{k=1}^1 k * \mu_1 * 2^2 \right)$$

$$= 8\mu_1$$

$$i = 2; R_2^r = 4, R_1^d = 4, R_{ratio} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{8}{4} * \left( \sum_{k=1}^0 k * \mu_2 * 4^2 \right)$$

$$= 0\mu_2$$

$$i = 3; R_3^r = 8, R_1^d = 4, R_{ratio} = 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{8}{8} * \left( \sum_{k=1}^1 k * \mu_3 * 4^2 \right)$$

$$= 16\mu_3$$

$$i = 4; R_4^r = 1, R_1^d = 4, R_{ratio} = 3 \quad \Rightarrow \quad \frac{8}{4} * \left( \sum_{k=1}^3 k * \mu_4 * 1^2 \right)$$

$$= 2 * (1\mu_4 + 2\mu_4 + 3\mu_4)$$

$$= 12\mu_4$$

Durum 3 - 2. varsayımdaki taşıma miktarının matematiksel hesabı:

$$P_1 = \max\{R_1^r, R_2^r, R_3^r, R_j^d\} \quad \Rightarrow \quad P_1 = 8$$

$$q_1 = P_1/R_1^d \quad \Rightarrow \quad q_1 = 8/4 = 2$$

$$Q_{1n}^d = \sum_{i \in I} R_1^d * \mu_i * Y_{i1} \quad \Rightarrow \quad 4 * (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)$$

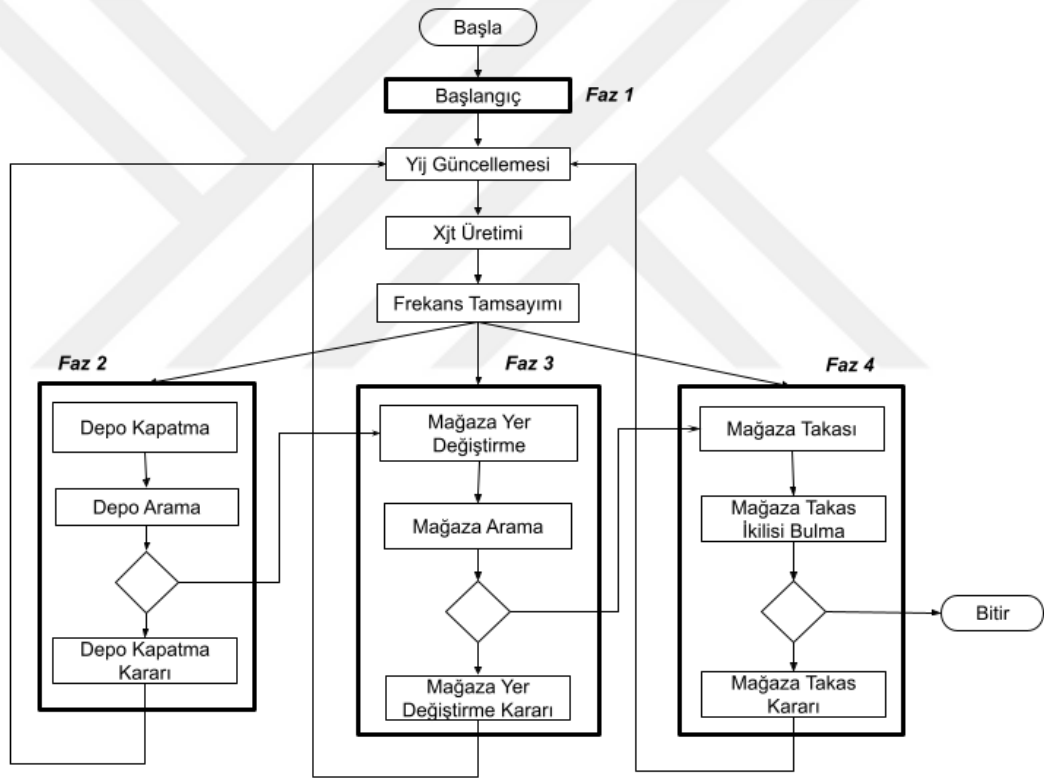
$$\forall n \in \{0, 1, \dots, (q_j - 1)\} \quad \Rightarrow \quad \forall n \in \{0, 1\}$$

$Q_{1n}^d$ 'deki "n" indeksi, bir periyot içerisinde kaçınıcı ikmalin gerçekleştiğini göstermektedir. Bu örnekteki koşulda depolara bir periyotta 2 kere ikmal gelmektedir ve miktarı;  $Q_{10}^d = Q_{11}^d = 4\mu_1 + 4\mu_2 + 4\mu_3 + 4\mu_4$  kadardır.



## 5. SEZGİSEL OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI

Önerilen sezgisel yöntem, başlangıç hazırlık fazıyla başlayarak üç fazda tamamlanan arama algoritmasından oluşmaktadır. Bu fazlar, depo kapatma, perakende mağazası yer değiştirme ve perakende mağaza takası şeklinde sıralanmaktadır. Şekil 5.1'de, algoritma adımları, süreç şeması ile detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Geliştirilen arama algoritmasının amacı, ikmal frekans setinden oluşturulan tüm frekans kombinasyonlarının tüm aday depolar ve onlara bağlı perakende mağazalarının olduğu  $X_{jt}$  ve  $Y_{ij}$  sistemleri için denenmesi sonucunda ulaşılabilecek en az sistem maliyetini elde etmektir. Sistem maliyeti iyileştikçe açılan depo sayısı, konum ve tipleri ile depo-perakende mağaza ataması kararları güncellenmektedir. Bunun yanı sıra önerilen sezgisel yöntem sayesinde çalışmanın önemli hedeflerinden de biri olan ikmal frekansı seçimlerinin sistem maliyetine etkisi gözlemlenmektedir. Tezin devamında arama algoritmasında yer alan tüm fazların detaylı açıklaması yer almaktadır.



Şekil 5.1: Arama algoritması akış şeması.

### 5.1 Başlangıç Fazı

#### 5.1.1 Ön hazırlık

Ön hazırlık aşamasında denenecek sistemin x ve y eksen ölçüleri, sabit tedarikçinin, tedarikçiye atanacak olan aday depoların ve perakende mağazalarının konumları belirlenir. Depolar için alan hücresel bölünmüş bir yapıda konumlandırılmıştır. Tedarikçi ve

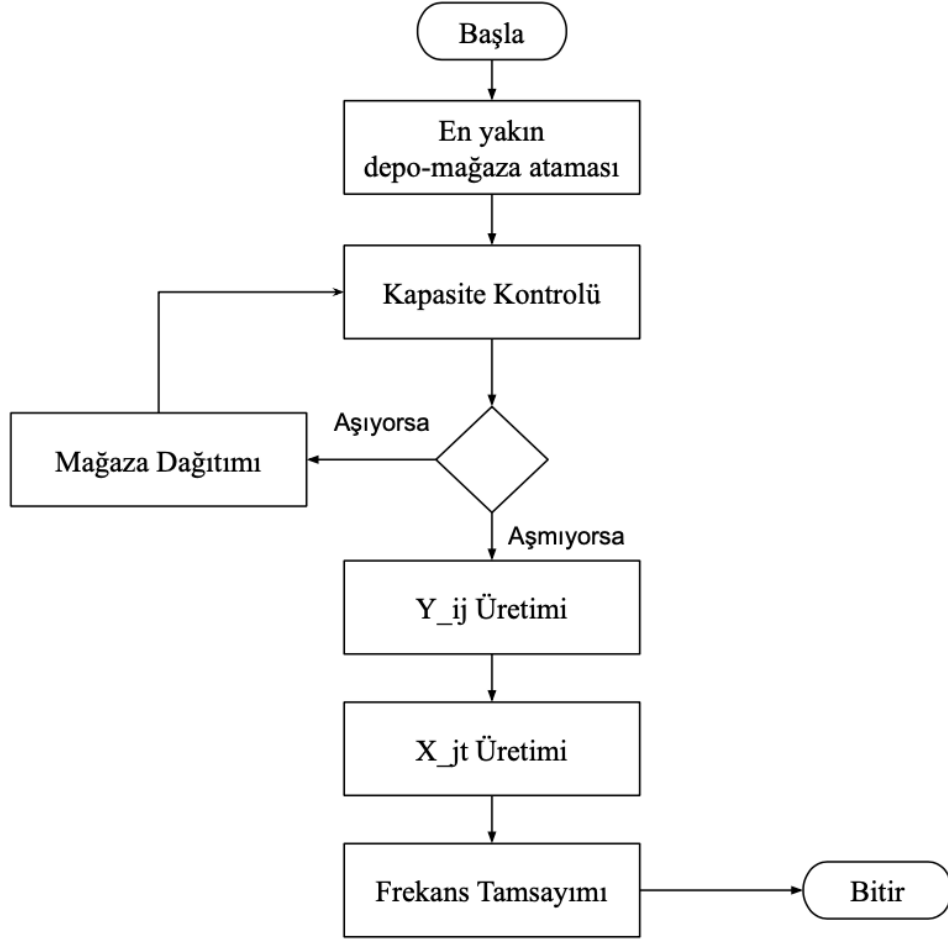
perakende mağazaların konumları bu alanda rastgele dağıtılmıştır. Bu sisteme göre sürekli güncellenen tedarikçiden depolara uzaklık vektörü  $D_{sj}$  ve depolardan perakende mağazalarına uzaklık matrisi  $D_{ij}$  üretilmektedir. Her sistem güncellendiğinde bu uzaklık matrisi de güncellenmektedir. Bunlar, depo kapasiteleri olan  $K_1, K_2, K_3$  değerleri, depo açma ve işletme birim maliyeti olan  $f_1, f_2, f_3$  değerleri, perakende mağazalarında yıllık envanter tutma maliyeti  $h^r$ , depolarda yıllık envanter tutma ve güvenlik stoğu parametreleri  $h^d, l'_{ij}$  ve CSL değerleri, tedarikçiden depolara birim taşıma maliyeti  $g^{sd}$  ve depolardan tedarikçilere birim taşıma maliyeti  $g^{dr}$  değerleridir. Bunlara ek olarak ölçek ekonomisi faktörleri olan depo tiplerine göre  $\theta_0, \theta_1$ , tedarikçiden depolara olan taşıma miktarları için  $\beta_0, \beta_1$  ve depolardan perakende mağazalarına taşıma miktarları için  $\alpha_0, \alpha_1$  değerleri girilmektedir. Sadece perakende mağazalarında güvenlik stoğu tutulmaktadır. Teslimat süresi ortalama uzaklık için belirlenen sabit bir süreye göre her uzaklık için oranlanarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Bunlara ek olarak sistemde kalması gereken en az depo sayısı kısıtı, en yüksek kapasiteli depoya göre tüm sistem talebinin karşılanacak olması göz önüne alınarak hesaplanmaktadır.

Ön hazırlıkta son olarak yer alan bilgi ise sistemdeki toplam talebin karşılanması için gereken minimum depo sayısıdır. Bu limit, tezin devamında detaylı bir şekilde bahsedilecek olan çözüm yönteminin diğer aşamaları için önemlidir. Sistemde indirgelebilecek minimum depo sayısı toplam sistem talebinin, en yüksek kapasiteli 3. tip deponun maksimum kapasitesi seviyesine bölümüyle bulunmaktadır.

### 5.1.2 Başlangıç

Başlangıç fazının amacı, perakende mağazalarının kendilerine en yakın depolara atıldığı bir başlangıç sisteminin oluşturulmasıdır. Atamalar oluşturulurken depolar için belirlenen depo kapasite kısıtları kontrol edilmektedir. Modelde üç tip depo için  $K_1, K_2, K_3$  olarak kapasite sınırları bulunmaktadır. Buna göre başlangıç aşamasında  $K_3$  seviyesini geçen bir depo olması durumunda o depoya en uzak olan mağazadan başlayarak mağazaların diğer depolara dağıtılması denmektedir. Bu dağıtım işlemi, ilgili depo en fazla  $K_3$  seviyesine ulaşana kadar yapılmaktadır. Dağıtılacak mağazalar için en yakın depolardan başlanarak atama denemeleri yapılır. Denenen en yakın depo,  $K_3$  seviyesini aşmıyorsa mağazanın ilgili depoya atanması gerçekleşmektedir. Aşması durumunda ise bir sonraki yakın depolara bakılarak atama denemesine devam edilmektedir. İşlem tamamlandığında karar değişkenlerinden  $Y_{ij}$ 'nin ilk yapısı ortaya çıkmaktadır.  $Y_{ij}$ 'ye bağlı olarak diğer bir karar değişkeni olan  $X_{jt}$  yani açık olan depo tiplerine karar verildiği  $X_{jt}$  üretimi aşamasına geçilmektedir. Daha sonra depo ve mağazalar için ikmal frekans setinin denendiği ve her kombinasyon denemesi sonucunda toplam sistem maliyetlerinin oluşturulduğu frekans tamsayım aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada her bir kombinasyona denk gelen sistem maliyetlerinden en düşük olanı seçilir ve ilgili ikmal frekansı kombinasyonu güncel depo ve mağazaların ikmal frekansları olarak kaydedilir.  $Y_{ij}, X_{jt}, R_j^d$  ve  $R_i^r$  karar değişkenlerinin ilk çözümlerinin oluşturulduğu ve başlangıç sistem maliyetinin belirlendiği başlangıç fazı, başlangıçta sadece bir kez çalışır. Sonuç olarak modelin atama kısıtları çerçevesinde başlangıç olurlu çözüm elde edilir. Şekil 5.2'de başlangıç fazının akış şeması gösterilmektedir.



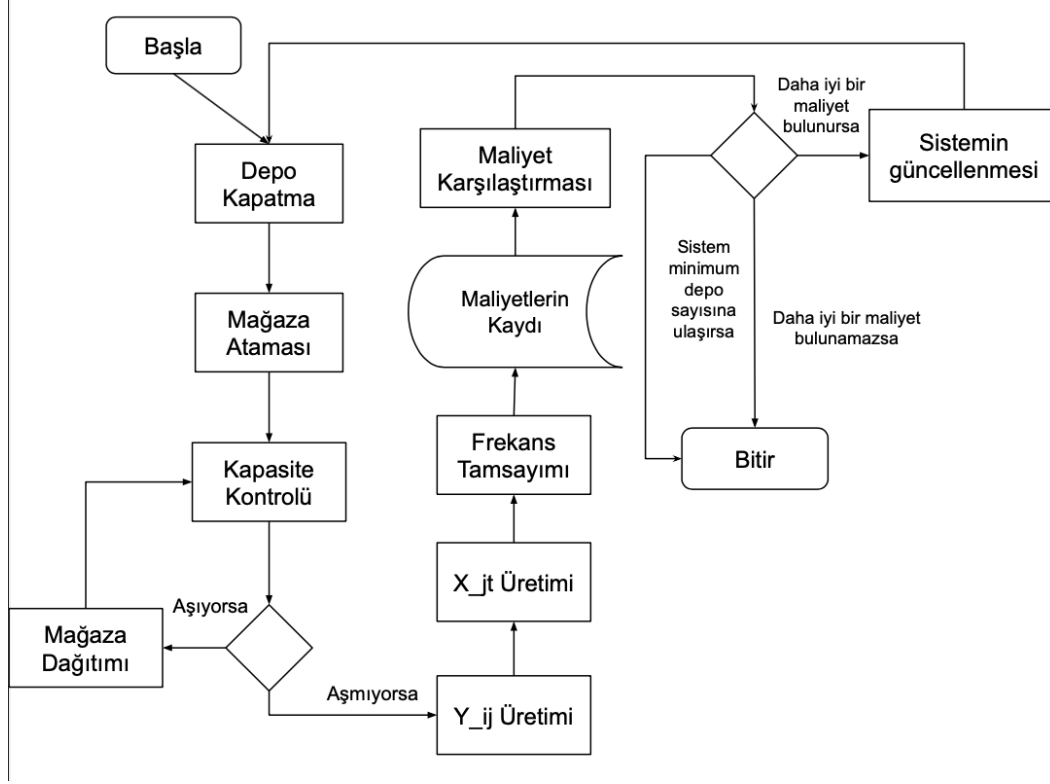


Şekil 5.2: Başlangıç fazı akış şeması.

## 5.2 Depo Kapatma Fazı

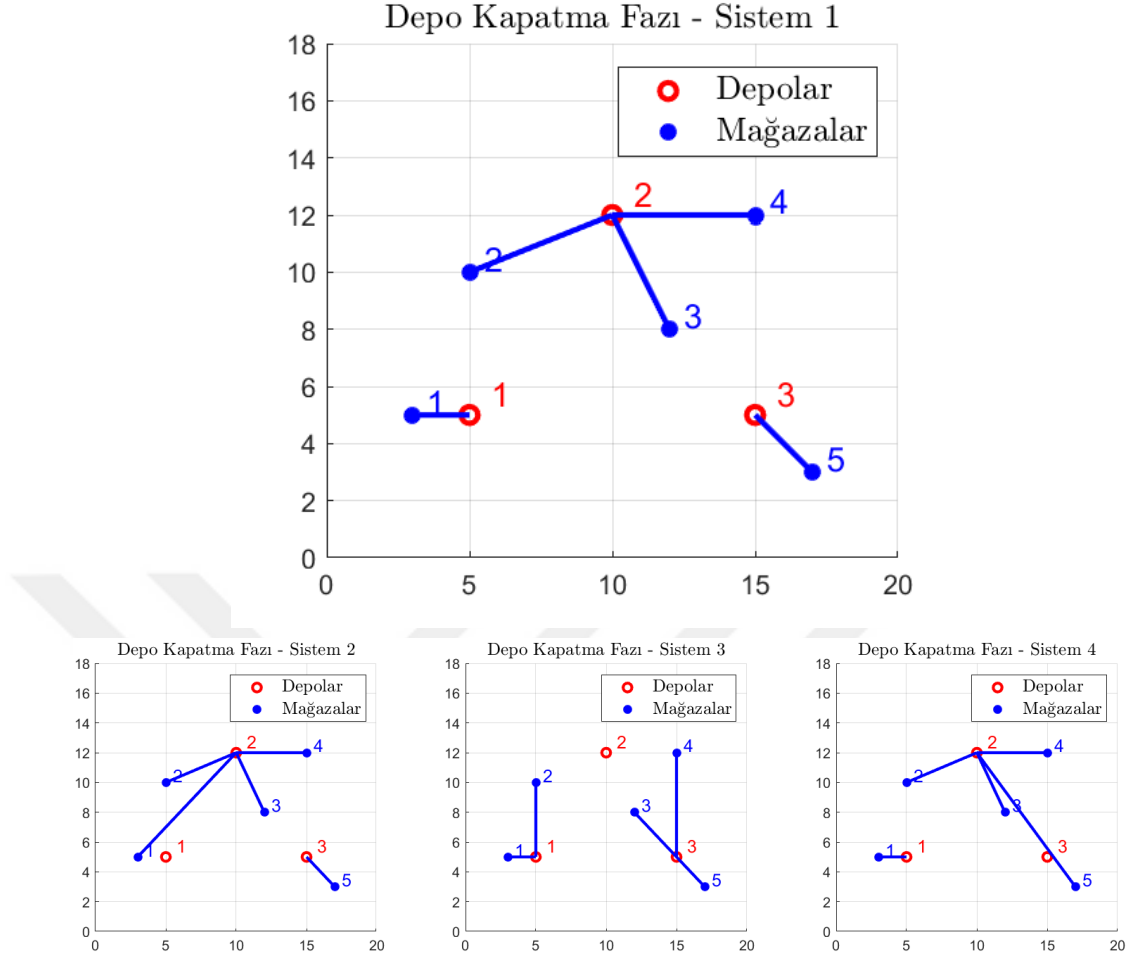
Depo kapatma fazında, açık olan depolar teker teker kapatılarak maliyet iyileştirilmesi araştırılmaktadır. Bir deponun kapatılmasıyla ona bağlı perakende mağazaları açıkta kalmaktadır. Açıkta kalan mağazalar kendilerine en yakın depolara atanmaktadır. Atama işlemi sırasında depo kapasite kısıtları kontrol edilmektedir. En yüksek kapasite  $K_3$  seviyesini aşan bir depo olması durumunda atanmak istenen perakende mağazası için komşu depolar denenmektedir. Her bir deponun kapatılması aşamasında güncellenen  $Y_{ij}$ 'ye göre yeni  $X_{jt}$  oluşturulmaktadır. Güncellenen bu karar değişkenlerine göre frekans tamsayım aşamasına geçilerek  $R_j^d$ ,  $R_i^r$  değerleri ile sistem maliyeti oluşturulmaktadır. Bu değerler her bir depo için kaydedilmektedir. Kapatılmak üzere tüm depoların denenmesi sonucunda oluşan sistem maliyetlerine göre hangi deponun kapatılacağına karar verilmektedir. En düşük maliyeti veren depo kapatılmasına karar verilip son sistem, kapatılan deponun  $Y_{ij}$ ,  $X_{jt}$ ,  $R_j^d$ ,  $R_i^r$  kararlarına göre güncellenmektedir. Güncellenen sistem ile depo kapatma fazına devam edilmektedir. Tüm işlemler sistemde daha iyi bir maliyet elde edilemeyene kadar devam etmektedir. Bu noktada sistemde kalabilecek en az depo sayısı kısıtı da kontrol edilmektedir. Bu durumda depo

kapatma fazı, sistemde daha iyi bir maliyet bulunamazsa veya olması gereken en az depo sayısına ulaşıldığında sonlanmaktadır Şekil 5.3'te depo kapatma fazının akış şekli sunulmaktadır.



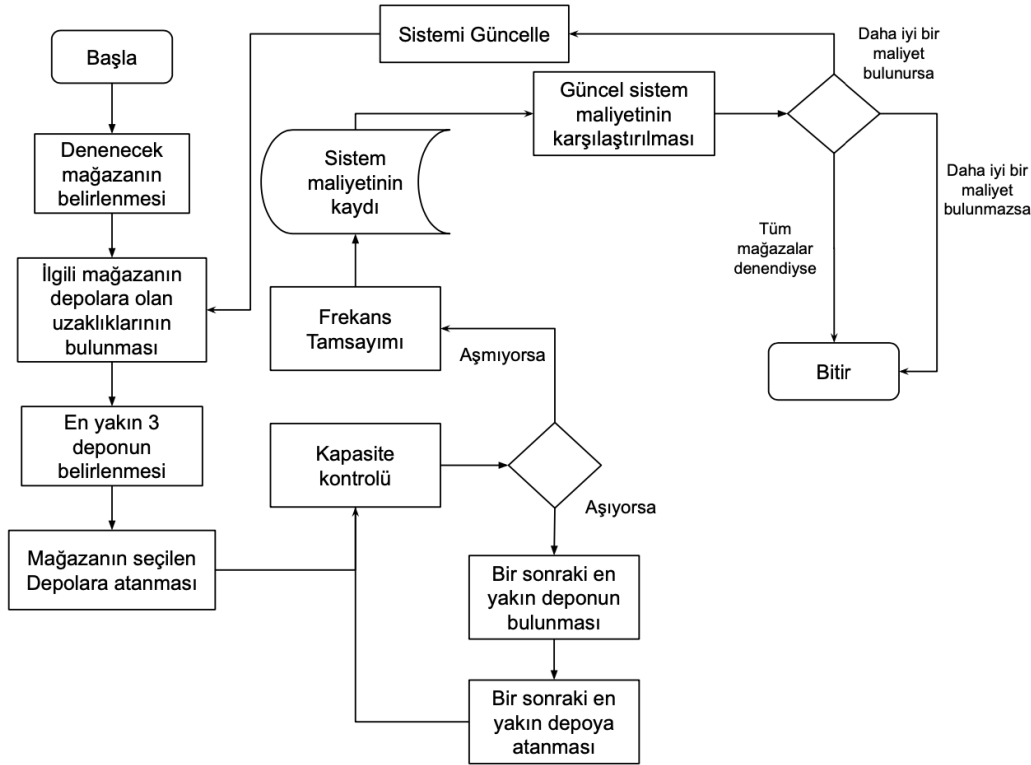
Şekil 5.3: Depo kapatma fazı akış şeması.

Şekil 5.4'te depo kapatma fazında gerçekleşen, örnek bir depo kapatma aşaması sunulmuştur. Şekil 5.4'te yukarıda sunulan sistem Sistem-1, aşağıda sunulan sistemler ise soldan sağa Sistem-2, Sistem-3 ve Sistem-4 olarak isimlendirilmiştir. Depo kapatma fazı başlangıcında referans sistem olarak Sistem-1 seçilmiştir. Sistem-1'e ait toplam maliyet değeri,  $Y_{ij}$  ve  $X_{jt}$  matrisleri kaydedilmiştir. Depo kapatma fazında açık olan tüm depolar teker teker kapatılarak Sistem-2, Sistem-3 ve Sistem-4 elde edilmiş, kapatılan her bir depoya bağlı olan mağazalar kendilerine en yakın olan açık depolara atanmıştır. Elde edilen Sistem-2, Sistem-3 ve Sistem-4 için frekans tamsayım aşaması ayrı ayrı gerçekleştirilerek, her bir sistemin toplam maliyeti hesaplanmıştır. Elde edilen sistem maliyetlerinden herhangi birinin, referans olan Sistem-1'in sistem maliyetinden daha küçük olması durumunda, o maliyet sonucunu veren yeni sistem referans sistem olarak seçilecektir. Sistem-1'in toplam maliyetinin Sistem-2, Sistem-3 ve Sistem-4 toplam maliyetlerinden küçük olması durumunda ise herhangi bir deponun kapatılması mantıklı olmayacak, arama algoritması mağaza yer değiştirme fazına, Sistem-1'i referans alarak geçiş yapacaktır.



### 5.3 Perakende Mağazası Yer Değiştirme Fazı

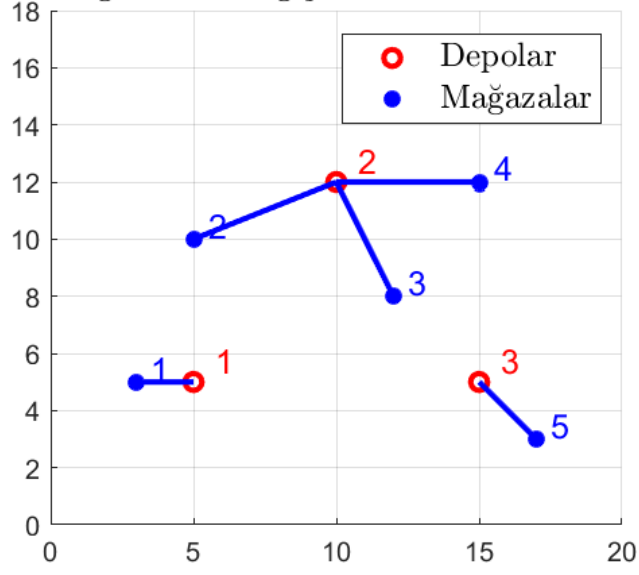
Depo kapatma fazının sonlandıktan sonra elde edilen güncel sistem ile perakende mağazası yer değiştirme fazına geçilmektedir. Bu fazda, atanmış perakende mağazaları teker teker komşu depolara atanması durumları değerlendirilmektedir. Tüm perakende mağazaları, tek tek atanmış oldukları depolar dışında en yakın üç depoya bağlanmaktadır. En yüksek depo kapasitesini aşan herhangi bir durumda bir sonraki en yakın depo denenerek araştırmaya devam edilmektedir. Araştırılan her üç durum için sırasıyla  $Y_{ij}$ 'ye bağlı  $X_{jt}$  üretimi ve frekans tamsayım aşamaları tekrar edilerek sistem maliyeti oluşturulur. Bu üç durum sistem maliyetlerinden en düşük olan sistem maliyeti, mevcut sistem maliyeti ile karşılaştırılmaktadır. Eğer denenen bu üç durumdan herhangi birisinin sistem maliyeti, mevcut sistem maliyetinden daha iyiyse araştırılan perakende mağazasının denenen ilgili depoya atanması kararı verilmektedir. Eğer daha iyi bir maliyet elde edilemezse bir sonraki perakende mağazası ile mağaza yer değiştirme fazına devam edilmektedir. Sonuç olarak her karar sonunda sistem güncellenerek maliyet iyileşmesi araştırılmaktadır. Şekil 5.5'te mağaza yer değiştirme fazının akış şeması yer almaktadır.



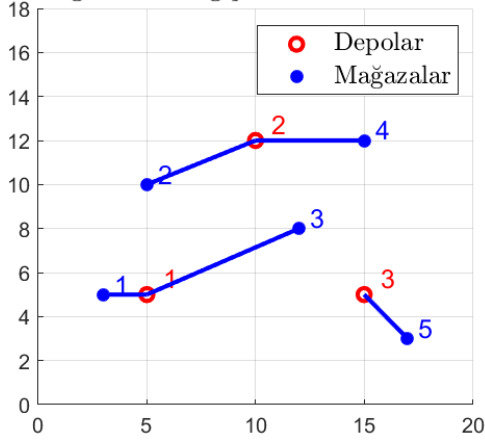
Şekil 5.5: Mağaza yer değiştirme fazı akış şeması.

Şekil 5.6'da mağaza yer değiştirme fazında gerçekleşen, örnek bir mağaza yer değiştirme işlemi sunulmuştur. Şekil 5.6'da yukarıda sunulan sistem Sistem-1, aşağıda sunulan sistemler ise soldan sağa Sistem-2 ve Sistem-3 olarak isimlendirilmiştir. Mağaza yer değiştirme fazı başlangıcında referans sistem olarak Sistem-1 seçilmiştir. Sistem-1'e ait toplam maliyet değeri,  $Y_{ij}$  ve  $X_{jt}$  matrisleri kaydedilmiştir. Sırasıyla tüm perakende mağazalarının denendiği bu fazda sıradaki denenecek olan mağazanın Sistem-1'deki 2. depoya bağlı olan 3 numaralı mağazanın (Mağaza-3) olduğu varsayılmaktadır. Denenecek olan mağaza bağlı olduğu Depo-2'den ayrılarak, sistemde açık olan diğer depolara sırasıyla bağlanmıştır. Mağaza-3'ün Depo-1'e bağlanması ile Sistem-2, Depo-3'e bağlanması ile Sistem-3 elde edilmiştir. Elde edilen Sistem-2 ve Sistem-3 için frekans tamsayım aşaması ayrı ayrı gerçekleştirilerek, her bir sistemin toplam maliyeti hesaplanmıştır. Elde edilen toplam maliyetlerin en küçüğünün, referans sistem olan Sistem-1'in toplam maliyetinden daha küçük olması durumunda, o maliyete den gelen sistem yeni referans sistem olarak seçilmektedir. Sistem-1'in toplam maliyetinin Sistem-2 ve Sistem-3 toplam maliyetlerinden küçük olması durumunda ise Mağaza-3'ün yer değiştirmesi mantıklı olmayacak, arama algoritması sıradaki mağaza olan Mağaza-4 için yer değiştirme işlemine devam edecektir. Tüm mağazaların yer değiştirmesinin tamamlanması ardından yeni bir referans sistem bulunamaz ise, arama algoritması mağaza takas fazına geçiş yapacaktır.

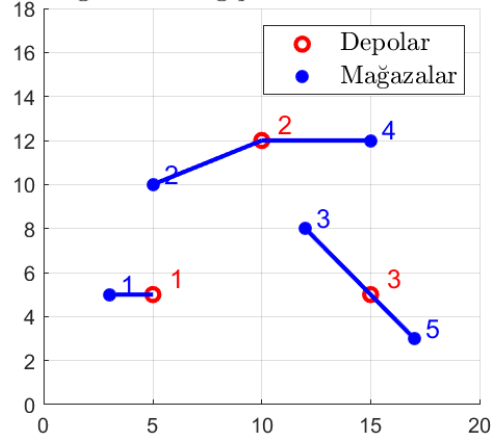
Mağaza Yer Değiştirme Fazı - Sistem 1



Mağaza Yer Değiştirme Fazı - Sistem 2



Mağaza Yer Değiştirme Fazı - Sistem 3

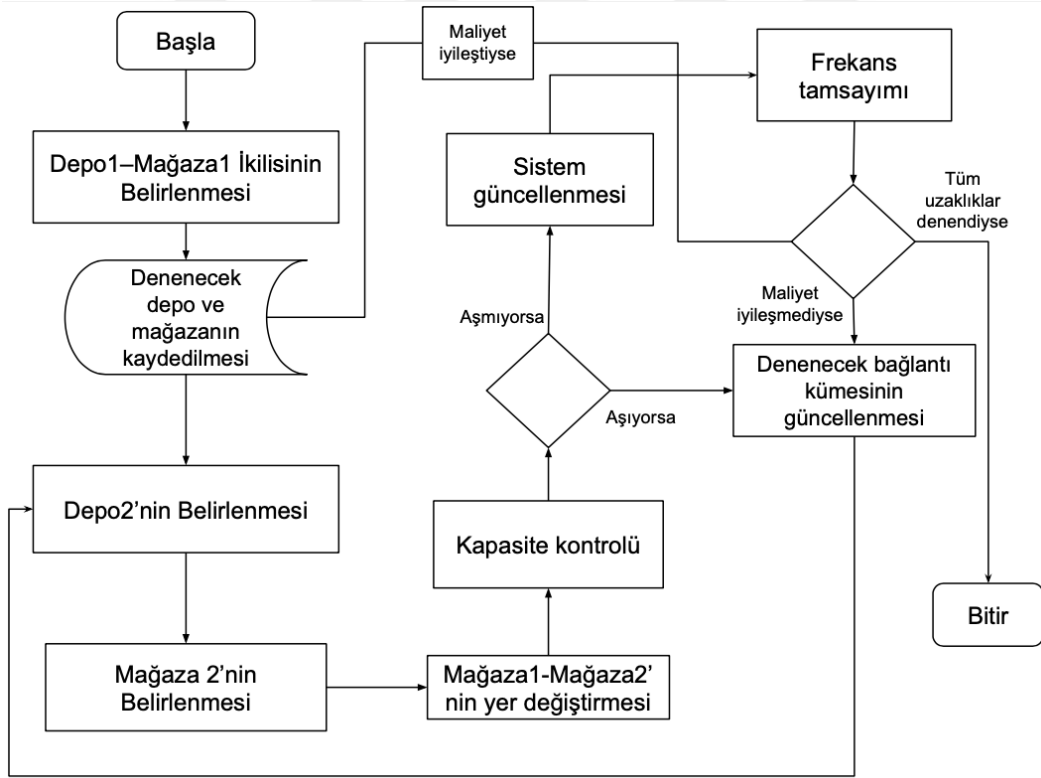


Şekil 5.6: Mağaza yer değiştirme fazı örneği.

#### 5.4 Perakende Mağaza Takas Fazı

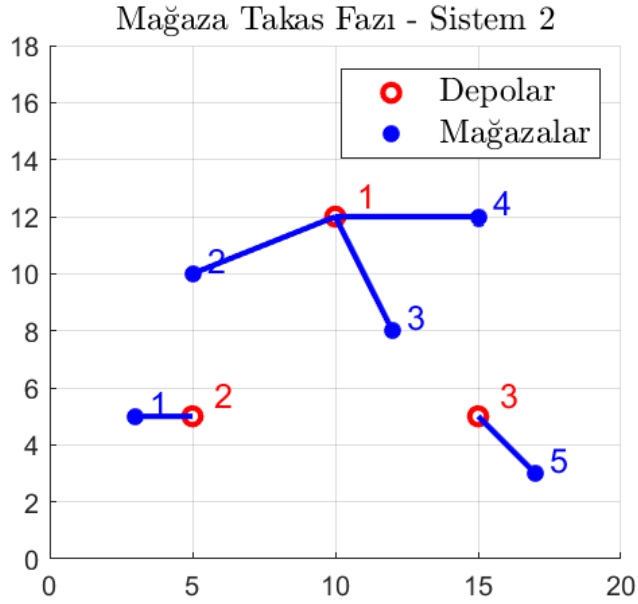
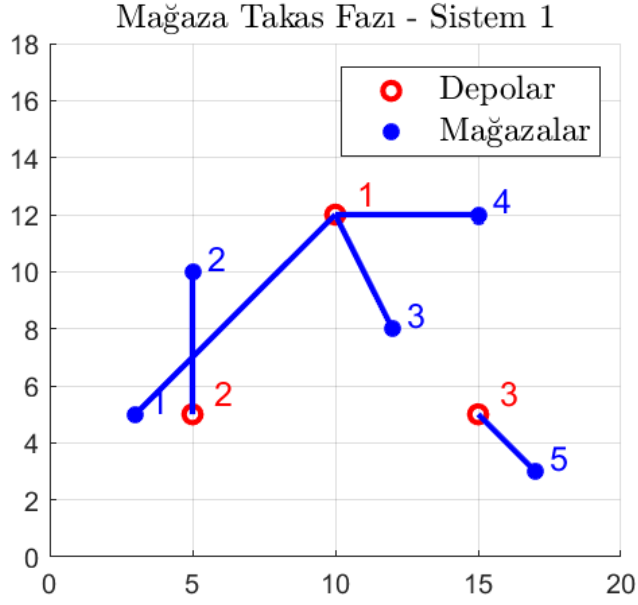
Perakende mağaza takas fazında, bu ana kadar elde edilen mevcut sistemde depolara atanmış perakende mağaza ikililerinin yer değiştirmesi durumu araştırılmaktadır. Bu sonuncu fazda, depo kapatma ve mağaza yer değiştirme fazları sonucunda elde edilecek sistemde depo sayısının en aza indirgenmiş olma hedefi doğrultusunda depo kapasitelerinin üst seviyelere çıkma ihtimali göz önünde bulundurulmuştur. Takas işleminde sistemde bulunan iki mağazanın yerinin değiştirilmesi ile toplam taşıma maliyetinin azaltılması hedeflenmektedir. Takas işleminde ilk olarak, sistemde bağlı olduğu depoya (Depo-1) en uzakta bulunan mağaza (Mağaza-1) bulunmaktadır. Daha sonra, Mağaza-1'in Depo-1'in dışında açık olan diğer depolara olan mesafelerine bakılmaktadır. Eğer Mağaza-1 ve Depo-1 arasındaki uzaklık, Mağaza-1'in diğer açık olan depolara olan mesafelerinin en küçüğünden daha büyük ise, sistemde Mağaza-1'e Depo-

1'den daha yakın bir mesafede açık olan bir deponun (Depo-2) olduğu anlaşılmaktadır. Depo-2'ye bağlı olan mağazalar arasında Depo-1'e en yakın olan mağaza (Mağaza-2) seçilmektedir. Bu durumda, Mağaza-1 ve Mağaza-2'nin, Depo-1 ve Depo-2 arasında takas edilip edilemeyeceği kontrol edilmektedir. Eğer Depo-1 ve Depo-2 kapasitelerinin takas sonrasında aşılmıyorsa, Mağaza-1 Depo-2'ye, Mağaza-2 ise Depo-1'e bağlanarak takas işlemi gerçekleştirilir. Bunlara ek olarak, Mağaza-1'in Depo-1'e olan mesafesi, sistemde bulunan diğer bütün açık depolardan daha küçük ise herhangi bir takas işlemi yapılmadan sistemde deposuna en uzak olan bir sonraki mağazaya geçilmektedir. Eğer takas sırasında herhangi bir deponun kapasitesi aşıyor ise takas işlemi geçersiz olup araştırmaya sistemde deposuna en uzak olan bir sonraki mağaza ile devam edilmektedir. Takas işleminin yapılabileceği durumlarda, aynı zamanda sistem maliyetinin iyileşip iyileşmediği önceki fazlarda yer alan benzer adımlarla kontrol edilmektedir. Eğer mevcut sistem maliyeti denenen takas işlemi sonucunda azalıyor ise takas işlemi geçerli sayılarak bir sonraki bağlı olduğu deposuna en uzak perakende mağazasıyla takas işlemine devam edilir. Şekil 5.7'de mağaza takas fazının akış şeması yer almaktadır.



Şekil 5.7: Mağaza yer değiştirme fazı akış şeması.

Şekil 5.8'de mağaza takas fazında gerçekleşen, örnek bir mağaza takas aşaması sunulmuştur.



Şekil 5.8: Mağaza Takas Fazı örneği.

Şekil 5.8’de yukarıda sunulan sistem Sistem-1, aşağıda sunulan sistem ise Sistem-2 olarak isimlendirilmiştir. Mağaza takas fazı başlangıcında referans sistem olarak Sistem-1 seçilmiştir. Sistem-1’e ait toplam maliyet değeri,  $Y_{ij}$  ve  $X_{jt}$  matrisleri kaydedilmiştir. Mağaza takas fazında, bağlı olduğu depoya en uzakta bulunan mağaza, Mağaza-1 seçilmiştir ve bağlı olduğu depo, Depo-1 olarak belirlenmiştir. Mağaza-1’e bağlı olduğu depodan daha yakında bulunan bir depo bulunup bulunmadığı kontrol edilmiş, Depo-2’nin Mağaza-1’e daha yakın bir depo olduğu belirlenmiştir. Yine Depo-2’ye bağlı mağazalardan Depo-1’e en yakın olanı, Mağaza-2 takas işlemi için seçilmiştir. Mağaza-1’in Depo-2’ye, Mağaza-2’nin ise Depo-1’e bağlanması ile takas işlemi

tamamlanmıştır. Takas sistemi ardından elde edilen Sistem-2 için frekans tamsayım aşaması gerçekleştirilerek, Sistem-2'nin toplam maliyeti hesaplanmıştır. Sistem-2'nin toplam maliyetinin, referans Sistem-1'in toplam maliyetinden daha küçük olması durumunda, Sistem-2 yeni referans sistem olarak seçilecektir. Sistem-1'in toplam maliyetinin Sistem-2 toplam maliyetlerinden küçük olması durumunda ise Mağaza-1'in takas edilmesi mantıklı olmayacak, arama algoritması takas etmeye uygun sıradaki mağazayı aramaya devam edecektir. Tüm mağazaların takas için uygunluğunun kontrol edilmesi ardından yeni bir referans sistem bulunamaz ise, arama algoritması sonlandırılacaktır.

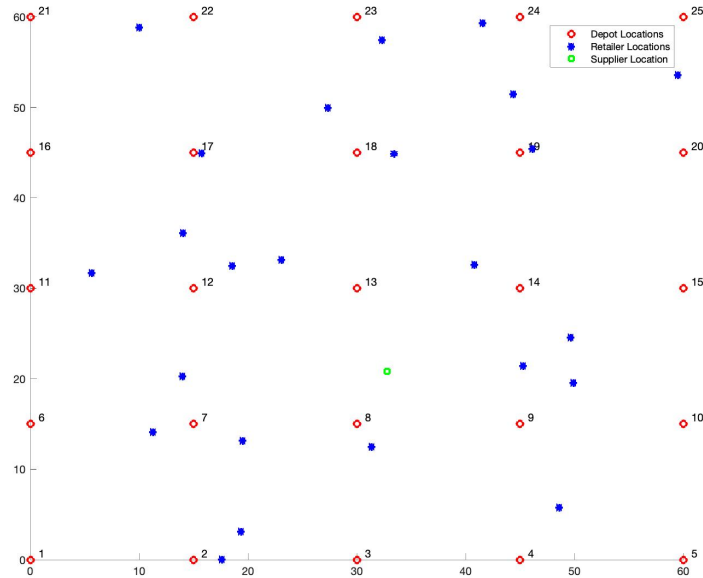




## 6. NUMERİK ANALİZLER

Bu çalışmada, önerilen sezgisel optimizasyon çözümü ve arama algoritması, MATLAB ortamında geliştirilen simülasyon kodlarının koşturulması ile gerçekleşmiştir. Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere, önerilen sezgisel optimizasyon çözümü, ilklendirme hazırlık fazıyla başlayarak üç fazda tamamlanan arama algoritmasından oluşmaktadır. Geliştirilen simülasyonda, arama algoritması fazları sonrasında denenecek her bir yeni sistem için, frekans tamsayım işlemi gerçekleştirilmiştir. Frekans tamsayım aşaması için ikmal frekans kümesi R, 2 üssü katları politikasına uygun olarak 1, 2, 4 ve 8 haftalık seçeneklerden oluşturulmuştur. Frekans tamsayım işleminde, denenen yeni sistemde oluşması muhtemel tüm depo ve mağaza frekansları ayrı ayrı denenerek, tüm bu kombinasyonlar için sistem maliyetleri elde edilmektedir. Elde edilen sistem maliyetlerinden herhangi birinin güncel sistem maliyetinden daha düşük olması durumunda, denenen sistem yeni sistem olarak atanmakta ve simülasyon aramaya devam etmektedir.

Sistemde perakende mağazalarının haftalık ortalama talepleri  $U[500,1500]$  dağılımından, standart sapmaları ise  $U[200,500]$  dağılımından rastgele seçilmektedir. Örnek bir çalışma için  $60 \times 60$  birim karelik alanda 15'er birimlik bölünmüş kareler oluşturulmuştur. Her bir karenin köşelerinde yer alan ve kırmızı noklalarla gösterilen toplamda 25 adet aday depo bulunmaktadır. Aynı alana rastgele konumlandırılmış, mavi noktalarla gösterilen 25 adet perakende mağazası ve depolara ikmal yapan bir adet yeşil nokta ile gösterilen tedarikçinin rastgele seçilerek konumlandırıldığı bir başlangıç sistemi hazırlanmıştır[Şekil 6.1].



Şekil 6.1: Rastgele oluşturulan tedarikçi, depolar ve perakende mağazalarının konumları.

Modelde üç tip depo için  $K_1, K_2, K_3$  olarak kapasite sınırları bulunmaktadır. Bu değer-

ler, çözüm aşamasında sistemdeki toplam talebin, %20, %40 ve %60'ı olacak şekilde ayarlanmıştır.

Bu çalışmada ele alınan, tedarikçi, depolar ve perakende mağazalarının bulunduğu çok katmanlı TZ tasarım modeli, toplam sistem maliyeti, tesis açma ve işletme, taşıma ve envanter olmak üzere üç temel maliyetten oluşmaktadır. Analizler için öncelikle, toplam sistem maliyetinin, yaklaşık %33'ünün taşıma, %33'ünün envanter ve %33'ünün tesis maliyetlerinden oluştuğu durum, baz model olarak seçilmiştir. Seçilen bu baz model üzerinden beş ana değişim parametrelerinin kombinasyonlarından 32 farklı problemin çözümleri elde edilmiştir. Ana değişim parametreleri, tesis, taşıma ve envanter maliyetleri ile ölçek ekonomisi faktörü ve taşıma miktarlarının eşik noktalarından oluşmaktadır. İlk aşamada temel maliyet parametreleri (tesis, taşıma ve envanter) üzerinden olup bu parametrelerin, %80 oranında düşürüldüğü ve %80 oranında yükseltildiği 8 farklı kombinasyon denenmiştir. İkinci aşamada ise aynı kombinasyonlara depolara ve perakende mağazalarına gelen taşıma miktarlarına uygulanan farklı maliyet politikasına ait taşıma miktarı eşik değerlerinin ( $M_1^{sd}$ ,  $M_2^{sd}$ ,  $M_1^{dr}$ ,  $M_2^{dr}$ ) %30 oranında sola kaydırıldığı durum eklenerek 8 farklı problem çözümü elde edilmiştir. Tesis ve taşıma maliyetlerinde gözetilen ölçek ekonomisi faktörleri, baz modelde %20 seçilmiştir. Üçüncü aşama olarak birinci aşamadaki farklı maliyet parametrelerinin denendiği 8 problem ölçek ekonomisi faktörleri %30 seçilerek tekrar çözülmüştür. Son olarak dördüncü aşamada, aynı maliyet koşulları, ölçek ekonomisi faktörünün %30 seçildiği ve ikinci aşamada denenmiş taşıma miktarlarına uygulanan miktar indirimleri ile alakalı taşıma miktarı eşik değerlerinin %30 düşürüldüğü 8 farklı problem daha çözülmüştür. Toplamda 5 faktörün iki seviyesinden oluşan 32 problem çözülmüştür. Tüm bu denenmiş farklı problem koşulları Çizelge 6.1 de özetlenmektedir.

Analiz için oluşturulan problemlerde ölçek ekonomisiyle alakalı parametreler, depo açma ve işletme birim maliyeti, tedarikçiden depolara ve depolardan perakende mağazalarına birim taşıma maliyetleri ile ilgilidir. +/- %80 oranında değişiklik yapılan parametreler, depo açma ve işletme birim maliyetleri olan  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , yıllık envanter tutma maliyetleri olan  $h^r$ ,  $h^d$  ve taşıma birim maliyetleri olan  $g^{dr}(1)$ ,  $g^{dr}(2)$ ,  $g^{dr}(3)$ ,  $g^{sd}(1)$ ,  $g^{sd}(2)$  ve  $g^{sd}(3)$  değerleridir. Ölçek ekonomisi faktörlerindeki değişiklik, tesis maliyetleri ile ilgili olan  $\theta_0$ ,  $\theta_1$ , depolara taşıma maliyeti ile ilgili olan  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  ve mağazalara taşıma maliyetleri ile ilgili olan  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  değerlerinin tümünde aynı şekilde yapılmıştır. Tedarikçiden depolara taşıma miktarına uygulanan indirim politikasının eşik değerleri için formül (6.1), (6.2) ve (6.3)'den yararlanılmıştır. Depolardan perakende mağazalarına taşıma miktarına uygulanan indirim politikasının eşik değerlerinin hesaplanmasında ise formül (6.4) ve (6.5)'den yararlanılmıştır.

Tedarikçiden depolara taşınan miktara bağlı uygulanan fiyat politikasının kırılma noktaları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

- Tüm sistem talebinin ortalaması:  $\mu$
- Sistemdeki toplam aday depo sayısı:  $J$
- Sistemdeki toplam perakende mağaza sayısı:  $I$

$$\bar{\mu} = \sum_{i \in I} \mu_i / I \quad (6.1)$$

$$M_1^{sd} = 1.5 * \bar{\mu} * \frac{I}{(J/2)} \quad (6.2)$$

$$M_2^{sd} = 1.5 * \bar{\mu} * \frac{I}{(J/2)} * 1.5 \quad (6.3)$$

Çizelge 6.1: Problem setleri (ÖEF: Ölçek Ekonomisi Faktörü, M1 and M2: Taşıma miktarı kırılma noktaları)

Prob	Koşullar			
1	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	
2	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	
3	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	
4	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	
5	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	
6	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	
7	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	
8	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	
9	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30)
10	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)
11	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30)
12	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30)
13	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)
14	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)
15	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30)
16	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)
17	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
18	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
19	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
20	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
21	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
22	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
23	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
24	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30) ÖEF(%30)
25	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	ÖEF(%30)
26	Tesis(+%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	ÖEF(%30)
27	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	ÖEF(%30)
28	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	ÖEF(%30)
29	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	ÖEF(%30)
30	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(-%80)	ÖEF(%30)
31	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	ÖEF(%30)
32	Tesis(-%80)	Envanter(+%80)	Taşıma(+%80)	ÖEF(%30)

Depolardan perakende mağazalarına taşınan miktara bağlı uygulanan fiyat politikasının kırılma noktaları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

- Tüm sistem talebinin ortalaması:  $\mu$

$$M_1^{dr} = 1.25 * \bar{\mu} \quad (6.4)$$

$$M_2^{dr} = 1.25 * \bar{\mu} * 1.5 \quad (6.5)$$

Tüm problemler için kullanılan parametrelerin özeti Çizelge 6.2, 6.3 ve 6.4'te yer almaktadır.

Çizelge 6.2: Ölçek ekonomisi faktörüne göre değişen parametrelerin baz modele göre %80 düşük ve %80 yüksek değerleri.

	Ölçek Ekonomisi faktörü: %20			Ölçek Ekonomisi faktörü: %30		
	Baz Model	Düşük	Yüksek	Baz Model	Düşük	Yüksek
$f_1$	5	1	9	5	1	9
$f_2$	4	0.8	7.2	3.5	0.7	6.3
$f_3$	3.2	0.64	5.76	2.45	0.49	4.41
$F_1$	25045	5009	45081	25045	5009	45081
$F_2$	40072	8014	72130	35063	7012.6	63113
$F_3$	48086	9617	86556	36816	7363.2	66269
$g^{dr}(1)$	0.2	0.04	0.36	0.2	0.04	0.36
$g^{dr}(2)$	0.16	0.032	0.288	0.14	0.028	0.252
$g^{dr}(3)$	0.128	0.0256	0.2304	0.098	0.0196	0.1764
$g^{sd}(1)$	1	0.2	1.8	1	0.2	1.8
$g^{sd}(2)$	0.8	0.16	1.44	0.7	0.14	1.26
$g^{sd}(3)$	0.64	0.128	1.152	0.49	0.098	0.88

Çizelge 6.3: Yıllık envanter tutma maliyetlerinin, baz model, %80 düşük ve yüksek değerleri.

	Baz Model	%80 Düşük	%80 Yüksek
$h_r$	380	76	684
$h_d$	200	40	360

Çizelge 6.4: Taşıma miktarı kırım noktalarının baz modeldeki ve baz modele göre %30 düşük değerleri.

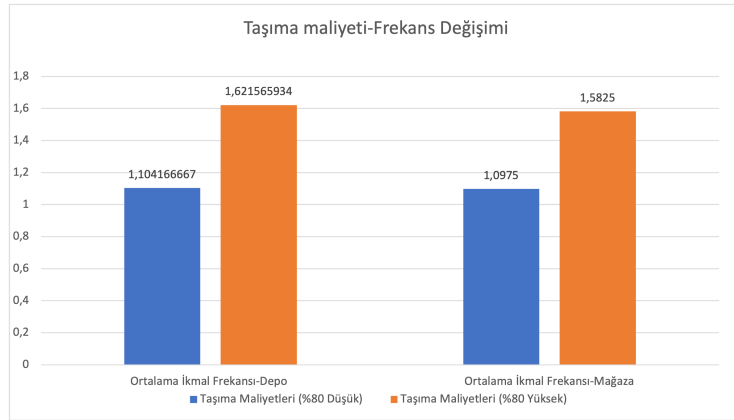
	Baz Model	Taşıma Eşiği %30 Düşük
$M_1^{sd}$	3005,4	2103,78
$M_2^{sd}$	3005,4	2103,78
$M_1^{dr}$	1252,25	876,58
$M_2^{dr}$	1878,37	1314,86

Çözülen problemlerin sonuçları, maliyetlerin yüksek ve düşük değerlerindeki depolar için ortalama ikmal frekansların ve perakende mağazaları için ortalama ikmal frekans-

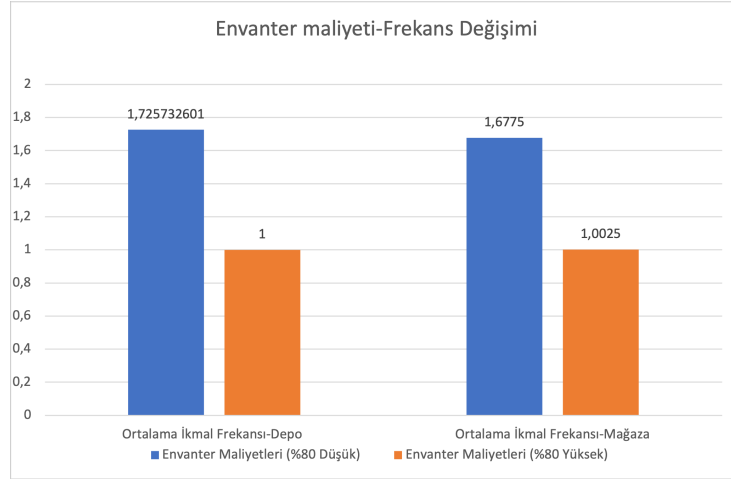
larının, açılan depo sayısının, iyileştirilen son maliyetin ve maliyet iyileşme yüzdesinin değişimleri incelenmiştir. Maliyet iyileşme yüzdesi, başlangıç çözüm ve iyileştirilen son çözüm arasında belirlenmiştir. Aynı şekilde taşıma maliyetlerinin –%80’den +%80’e değişim durumları için depolara ve perakende mağazalarına taşıma miktarları incelenmiştir. Çizelge 6.1’de görüleceği üzere 9. problemde 24. probleme kadar taşıma eşik değerleri, %30 sola çekilmiştir. Bu sebeple tüm maliyetlerin yüksek ve düşük olduğu durumlar için perakende mağazalarına ve depolara taşıma miktarları etkisi de incelenmiştir. Son olarak ikmal frekanslarının 1 haftadan fark çıktığı problemler ele alınmış aynı problemler tüm frekansların 1 hafta olduğu durumlar için tekrar çözülmüştür. Sonuçlar ise açılan ortalama depo sayısı, maliyet değişim yüzdesi ortalaması ve son maliyet ortalaması bakımından incelenmiş ikmal frekansı seçimlerinin bu değerlere etkisi incelenmiştir. Böylece ikmal frekansının 1 varsayıldığı durumla optime edildiği durumların farkı ortaya konulmuştur.

### 6.1 Sistem Maliyetlerinin İkmal Frekanslarına, Açık Depo Sayısına, İyileşme Yüzdesine Etkileri

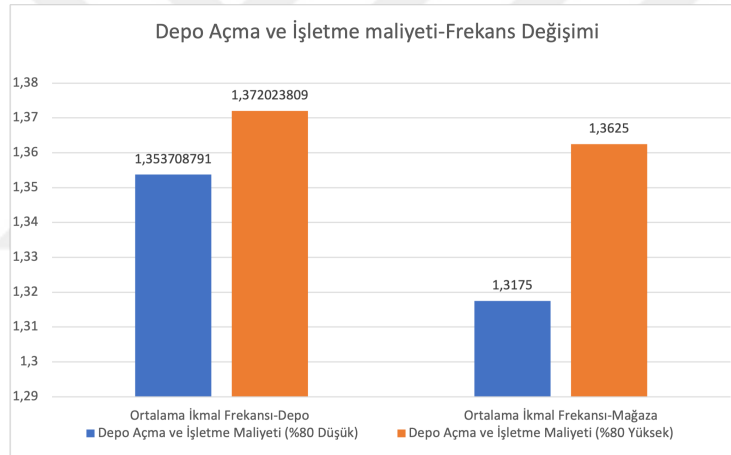
Çözülen 32 problem sonuçları depo açma ve işletme, taşıma ve envanter maliyetlerinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu durumlara göre gruplandırılmıştır. Depo ve perakende mağazalarının ortalama ikmal frekans sonuçları ise her iki maliyet grubu için tekrar ortalaması alınarak analiz yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’te gösterilmektedir. Şekil 6.2’de taşıma maliyeti arttıkça depo ve perakende mağazaları için ortalama ikmal frekansların arttığı gözlenmektedir. Taşıma maliyetlerinde skala ekonomisinde yararlanmak için depoların ve perakende mağazaların sipariş yenileme sürelerinin artması mantıklı bir sonuçtur. Şekil 6.3’te envanter maliyetlerinin artması, depo ve perakende mağazalarında ikmal frekansının azalmasına yol açmıştır. Bu da envanter tutma maliyetleri yüksek olan depoların ve perakende mağazalarının daha sık ikmal yaparak daha az stok tutma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Şekil 6.4’te depo açma ve işletme maliyetlerinin artması ile ikmal frekanslarının da arttığı gözlenmektedir.



Şekil 6.2: Taşıma maliyeti ve depolar ve perakendeciler için ortalama ikmal frekansları (haftalık) değişimi.

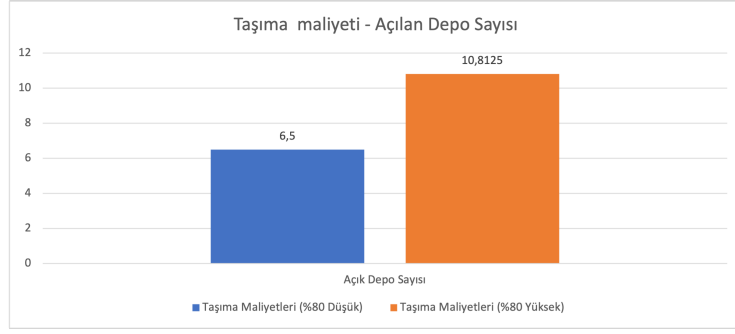


Şekil 6.3: Envanter maliyeti ve depolar ve perakendeciler için ortalama ikmal frekansları (haftalık) değişimi.

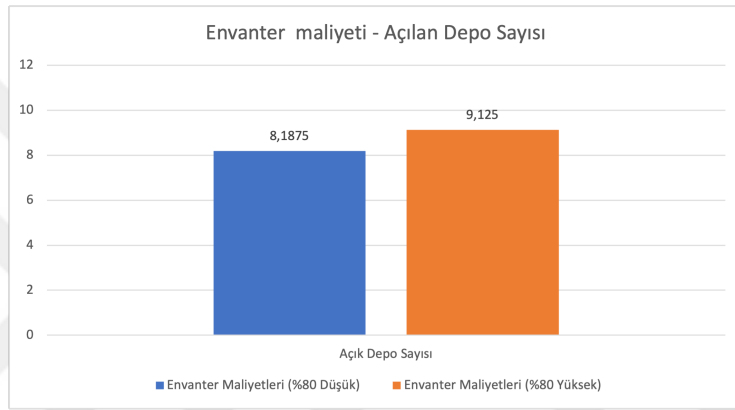


Şekil 6.4: Depo açma ve işletme maliyeti ve depolar ve perakendeciler için ortalama ikmal frekansları (haftalık) değişimi.

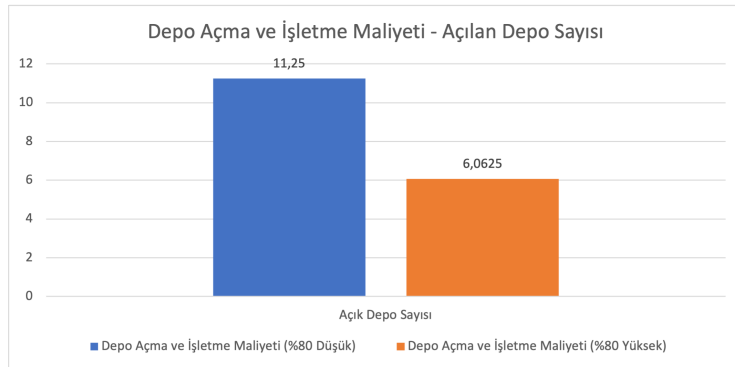
Taşıma, envanter, depo açma ve işletme maliyetlerinin yüksek ve düşük olduğu durumlarda açılan depo sayısı değişimi incelenmiştir. Sonuçlar, sırasıyla Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de gösterilmektedir. Şekil 6.5'te açılan depo sayısı, taşıma maliyetlerinin %80 daha az durumda yaklaşık 6 ve %80 daha fazla olduğu durumda ise yaklaşık 11 bulunmuştur. Taşıma maliyetlerinin artması ile açılan depo sayısının artması mantıklıdır. TZ sisteminde taşıma maliyetlerinin önemli bir etken olduğu durumlarda depo sayısının artması tedarikçiye ve mağazalara olan uzaklığın azalması anlamına gelir ve böylelikle taşıma maliyetlerinden daha az etkilenme gibi bir durum söz konusu olur. Şekil 6.6'da envanter maliyetinin daha düşük ve daha yüksek olduğu koşullarda depo sayısında çok büyük değişiklikler olduğu söylenemez Şekilde 6.7'de ise depo maliyetlerinin açılan depo sayısını yarı yarıya etkilediği gözlenmektedir. Depo maliyetleri arttığında sistemin, depo kapatma eğiliminde olduğu söylenebilir.



Şekil 6.5: Taşıma maliyetlerinin %80 daha fazla ve %80 daha az olduğu koşullarda açılan depo sayısı.



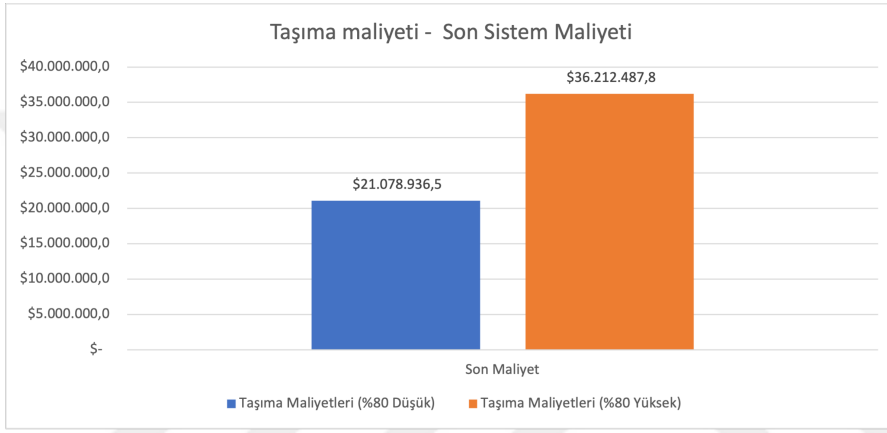
Şekil 6.6: Envanter maliyetlerinin %80 daha fazla ve %80 daha az olduğu koşullarda açılan depo sayısı.



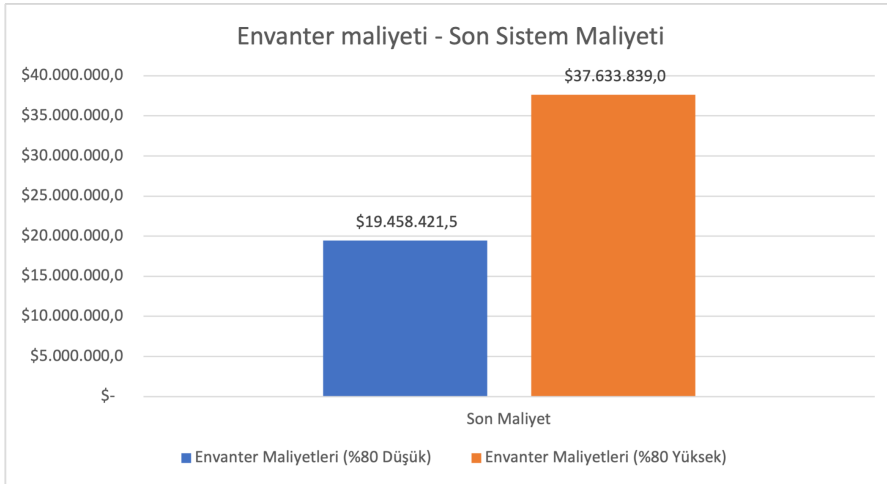
Şekil 6.7: Depo açma ve işletme maliyetlerinin %80 daha fazla ve %80 daha az olduğu koşullarda açılan depo sayısı.

Arama algoritması bir başlangıç çözümün sonuçlarını iyileştirerek ilerleyip daha iyi bir maliyet bulamadığın son sistemi güncel sistem yapar ve bu son maliyeti oluşturur. Bu aşamada sistem maliyetlerinin, son maliyet üzerindeki etkisi incelenmektedir. Son maliyetin, taşıma maliyetlerinin %80 daha düşük ve yüksek olduğu koşullardaki

sonuçları, Şekil 6.8’de, envanter maliyetlerinin %80 daha düşük ve yüksek olduğu koşullardaki sonuçları Şekil 6.9’da ve depo maliyetlerinin %80 daha düşük ve yüksek olduğu koşullardaki sonuçları Şekil 6.10’da gösterilmektedir. Üç durum içinde depo, envanter ve taşıma maliyetlerin teker teker arttırıldığında toplam sistem maliyetinin artması mantıklıdır. Şekil 6.8’de görüleceği üzere taşıma maliyetleri arttığında son maliyet yaklaşık %72 artarken, Şekil 6.9’da envanter maliyet artışında son maliyet yaklaşık %93 artmıştır. Şekil 6.10’da yer alan depo maliyetlerinin artması, son maliyette yaklaşık %67 artışa neden olmuştur. Bu durumda sistem maliyetlerinden envanter maliyetleri ile ilgili yapılan değişiklikler, toplam sistem maliyetini en fazla etkileyen maliyet türüdür.

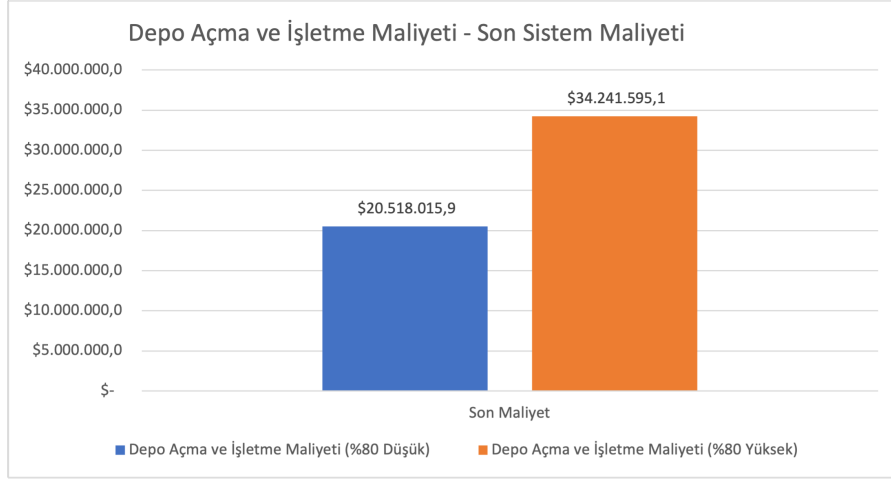


Şekil 6.8: Taşıma maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullardaki ortalama son sistem maliyetleri.



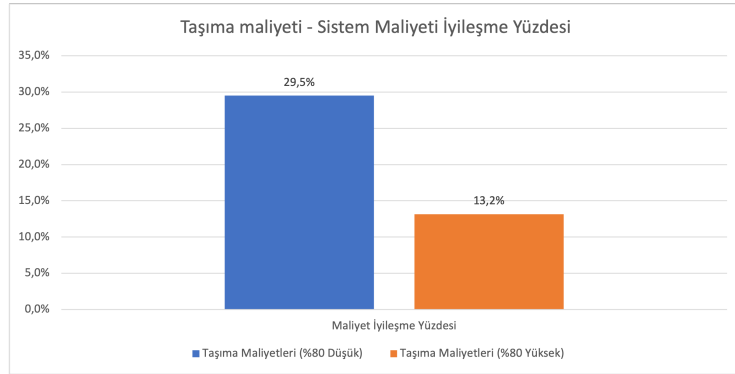
Şekil 6.9: Envanter maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullardaki ortalama son sistem maliyetleri.



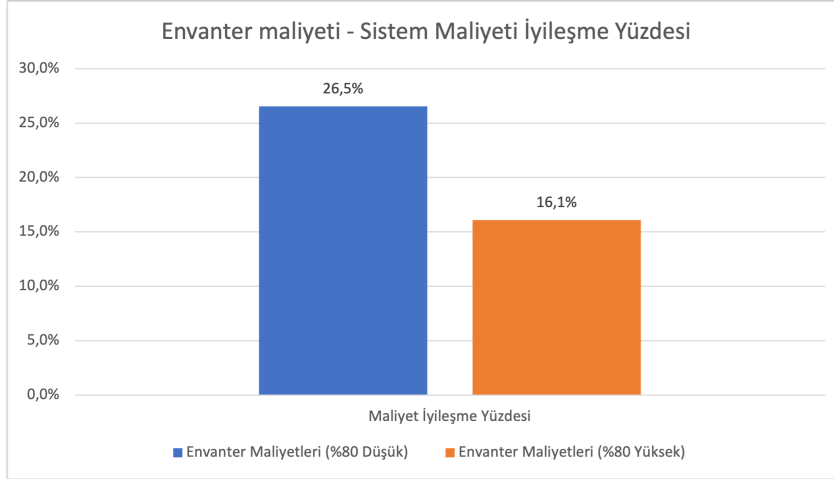


Şekil 6.10: Depo açma ve işletme maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullardaki ortalama son sistem maliyetleri.

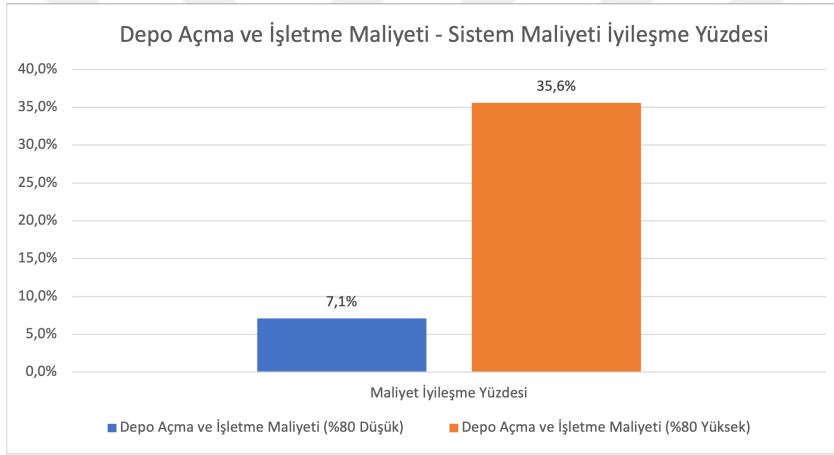
Bir diğer analiz ise toplam sistem maliyetinin iyileşme yüzdeleri ile ilgilidir. İyileşme yüzdeleri bir sistemin başlangıç çözümünün sistem maliyetinin ne kadar iyileştiğini veya düşürülebildiğini göstermektedir. Bu kısımda taşıma, envanter ve depo maliyetlerinin iyileşme oranına etkileri incelenmektedir. Şekil 6.11’de gösterildiği üzere taşıma maliyetlerinin düşük olduğu durumlarda sistem maliyeti iyileşme oranı ortalama %29,5 çıkarken yüksek olduğu durumlarda ise ortalama %13,2 çıkmıştır. Benzer şekilde Şekil 6.12’de gösterildiği üzere envanter maliyetlerinin düşük olduğu durumlarda sistem maliyeti iyileşme oranı ortalama %26,5 çıkarken yüksek olduğu durumlarda ise ortalama %16,1 çıkmıştır. Depo kapatma fazında gerçekleşen her bir deponun kapatılması sistemin maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Depo açma ve işletme maliyetlerinin düşük olması kapatılabilen depo sayısını azalttığı için Şekil 6.13’te görüldüğü üzere ortalama sistem maliyeti iyileşme oranı, depo maliyetlerinin düşük olduğu koşullarda depo maliyetlerinin yüksek olduğu koşullara göre daha düşük çıkmıştır. Depo maliyetlerinin büyük ölçüde artmasıyla sistemin daha depo kapatma eğiliminde olmasından dolayı sistem maliyeti iyileşme yüzdesindeki artış makul bir sonuçtur.



Şekil 6.11: Taşıma maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda sistemin toplam maliyet üzerinden ortalama iyileşme yüzdeleri.



Şekil 6.12: Envanter maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda sistemin toplam maliyet üzerinden ortalama iyileşme yüzdeleri.

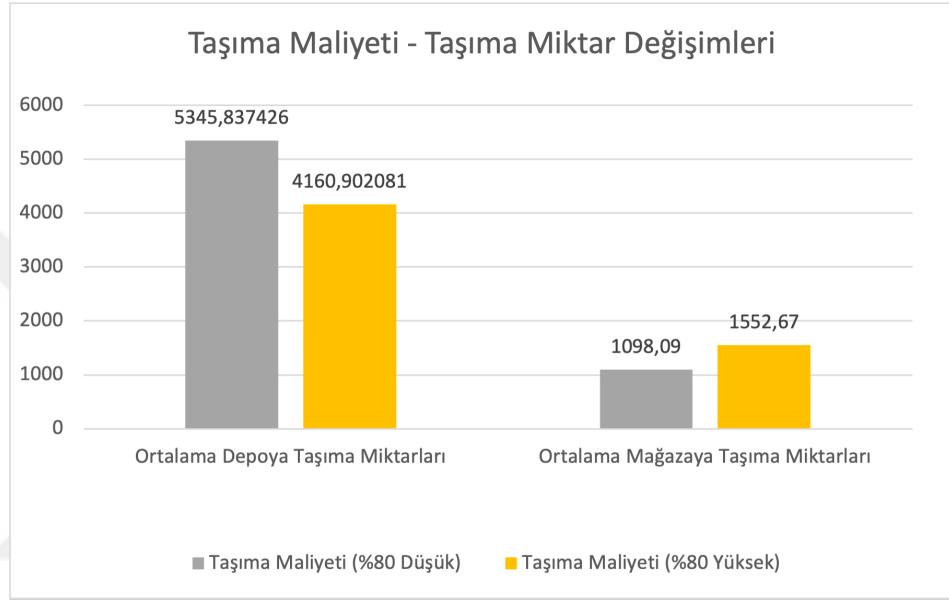


Şekil 6.13: Depo açma ve işletme maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda sistemin toplam maliyet üzerinden ortalama iyileşme yüzdeleri.

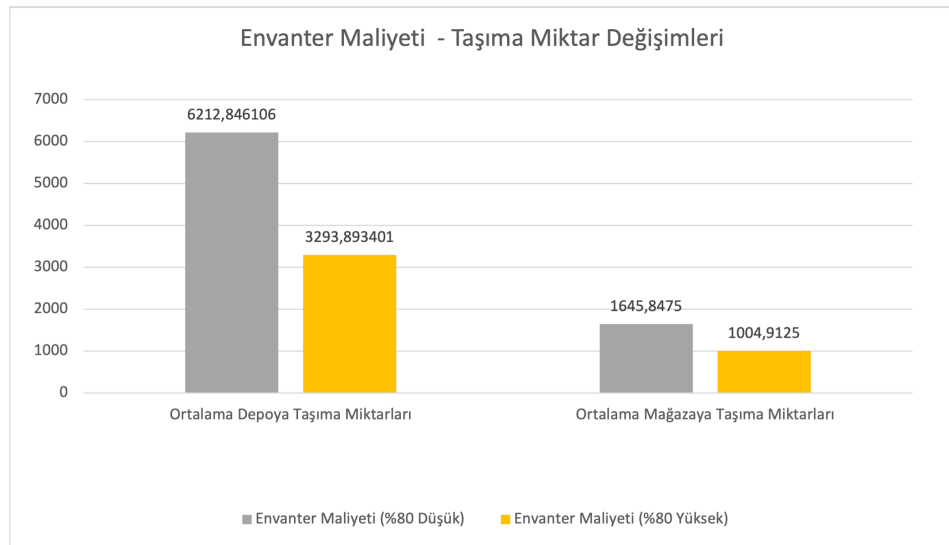
## 6.2 Sistem Maliyetlerinin Taşıma Miktarlarına Etkisi

Çalışmanın bu kısmında, envanter ve depo açma ve işletme maliyetlerinin %80 daha fazla ve %80 daha az olduğu durumlar için ortalama taşıma miktarları sonuçları incelenmiştir. Şekil 6.14'te görüldüğü üzere taşıma maliyetinin artması depolara gelen ortalama taşıma miktarını düşürmüştür. Deponun ve ona bağlı perakende mağazalarının ikmal frekanslarına bağlı olarak bir periyot içerisinde taşıma miktarı ve sayısı çeşitlilik göstermektedir. Bu sayede sistemin, seçeceği ikmal frekanslarına bağlı taşıma miktarları ile, taşıma maliyetlerinin yüksek olduğu koşullara adapte olarak bu maliyet artışından daha az etkilenme eğiliminde olduğu söylenebilir. Mağazalar gelen taşıma miktarı mağazaların ikmal frekanslarına ve taleplerine bağlı olarak değişmektedir. Taşıma maliyeti arttığında perakende mağazalarına gelen taşıma miktarlarında

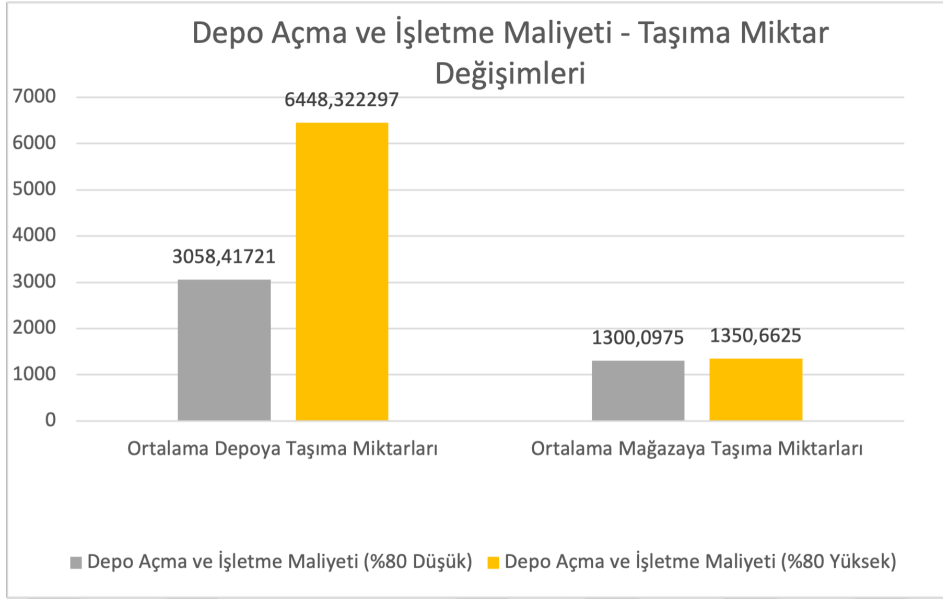
artması mantıklı bir sonuçtur. Envanter maliyetlerinin artması ile elde edilen sonuçlarda ise hem depolara gelen hem de perakende mağazalarına gelen taşıma miktarlarında azalma gözlenmiştir [Şekil 6.15]. Envanter maliyetlerinin azalmasıyla depo ve ona bağlı perakende mağazaları daha sık sipariş yenileyerek stok tutma eğilimindedirler. Bu sebeple taşıma miktarlarındaki azalma mantıklıdır. Depo maliyetlerindeki artışın depolara gelen taşıma miktarlarına etkisi mağazalara gelen taşıma miktarlarına kıyasla daha fazladır. Depo maliyetleri arttıkça depolara gelen taşıma miktarları %50 oranında artış göstermiştir [Şekil 6.16]. Bu sistemdeki açık olan depo sayısı ile ilişkilendirilebilir. Açılan depo sayısı azaldıkça taşıma miktarlarının artması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 6.14: Taşıma maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda depolara ve perakende mağazalarına gelen ortalama taşıma miktarı.



Şekil 6.15: Envanter maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda depolara ve perakende mağazalarına gelen ortalama taşıma miktarı.



Şekil 6.16: Depo açma ve işletme maliyetinin %80 daha düşük ve %80 daha yüksek olduğu koşullarda depolara ve perakende mağazalarına gelen ortalama taşıma miktarı.

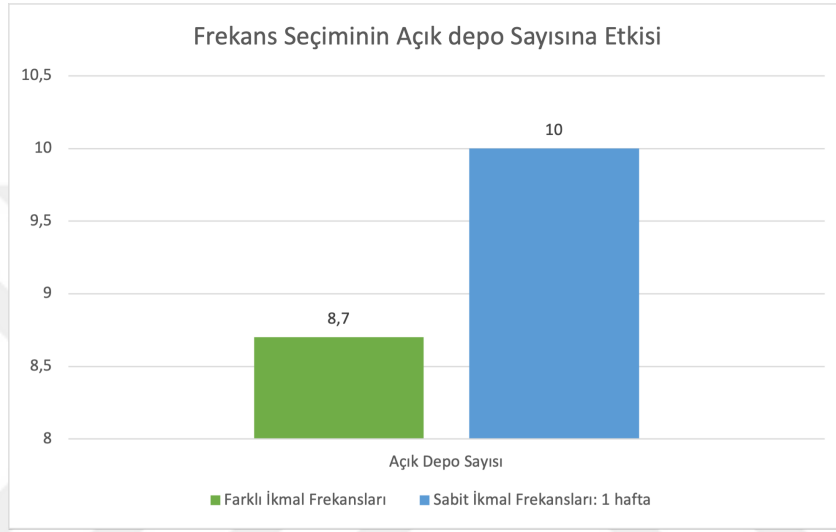
### 6.3 İkmal Frekans Seçiminin Sistem Maliyetlerine Etkisi

Tablo 6.1’de özetlendiği üzere baz model üzerinden 32 farklı problem elde edilmiştir. Bu problemlerin sonuçlarından 10 tanesinde depo ve perakende mağazalarının ortalama ikmal frekansları 1 haftalık süreden farklı gözlemlenmiştir. Bu problemler, 1, 2, 4, 8 haftalık frekans setinin sadece 1 hafta ile sınırlandırıldığı koşulda tekrar çözülmüştür. Bu sayede ikmal frekans seçiminin açık depo sayısı, sistem maliyetinin iyileşme yüzdesi ve son maliyet üzerinde etkisi gözlenmektedir. Ortalama frekansın sabit 1 haftalık seçilmesi durumunda sistemde açık olması gereken depo sayısı farklı frekans seçimlerinin yapıldığı koşula göre daha fazla bulunmuştur [Şekil 6.17]. Şekil 6.18’de gösterildiği üzere sistemin ulaşabildiği en iyi maliyet, ikmal frekanslarının sabit 1 hafta olması durumunda daha yüksek çıkmıştır. Hem depolarda hem de perakende mağazalarında ikmal frekans seçiminin, sistem maliyetleri üzerinde ve arama algoritmasının iyileştirme oranında etkisinin büyük olduğu bu analizlerle anlaşılmaktadır.

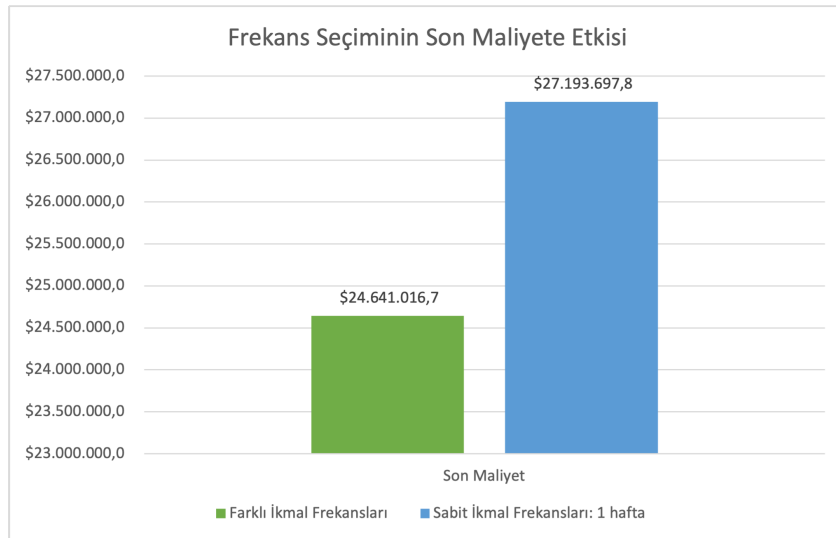
İkmal frekansı optimizasyonunda, ikmal frekanslarının 1 haftalık süreden farklı çıktığı problem koşulları çizelge 6.5’te özetlenmektedir. Bu problemler, frekans optimizasyonun sisteme katkısının olup olmadığını ortaya koymak amacıyla ikmal frekans setinin sabit 1 hafta olduğu durumu için tekrar çözülmüştür. Çizelge 6.5’te görüldüğü üzere bu problemlerin ortak noktası, envanter maliyetlerinin %80 oranında düşük olduğu durumdur. 10 problemin %60’ında tesis maliyetleri, %80’inde taşıma maliyetleri yüksek, yarısında ise taşıma miktarı eşik değerleri %30 düşük seçilmiştir.

Çizelge 6.5’te yer alan problemlerin farklı frekansların çıktığı çözümlerinde, son maliyet anlamında en iyi sonucu veren, tesis ve envanter maliyetlerinin %80 azaltılırken, taşıma maliyetlerinin %80 arttırıldığı ve taşıma miktarı eşiklerinin %30 düşürüldüğü 18. problemdir. En fazla maliyet iyileşmesinin gerçekleştiği problem ise tesis maliyet-

lerinin %80 arttırılırken, envanter ve taşıma maliyetlerinin %80 azaltıldığı ve taşıma miktarı eşiklerinin %30 düşürüldüğü 22. problem olmuştur. Açık depo sayısına bakıldığında 18. problemde 13 depo açık bulunurken 22. problemde sistemde 3 depo açık bulunmuştur. Bu iki problem arasında tesis maliyeti artarken taşıma maliyetlerinin düşmesi açık depo sayısındaki büyük ölçüdeki azalışın önemli bir sebebidir. Aynı problemlerde ikmal frekansı setinin sabit 1 haftaya indirildiği koşullardaki aynı iki problem çözümlerinde açık depo sayısı ve iyileşme yüzdesi kıyaslaması açısından benzer sonuçlar elde edilsede bulunan son sistem maliyeti açısından ikmal frekansı optimizasyonun olduğu durumda daha iyi bir çözüm elde edilmiştir.



Şekil 6.17: Farklı ikmal frekansları ve sabit ikmal frekansları koşullarında açık depo sayısı.

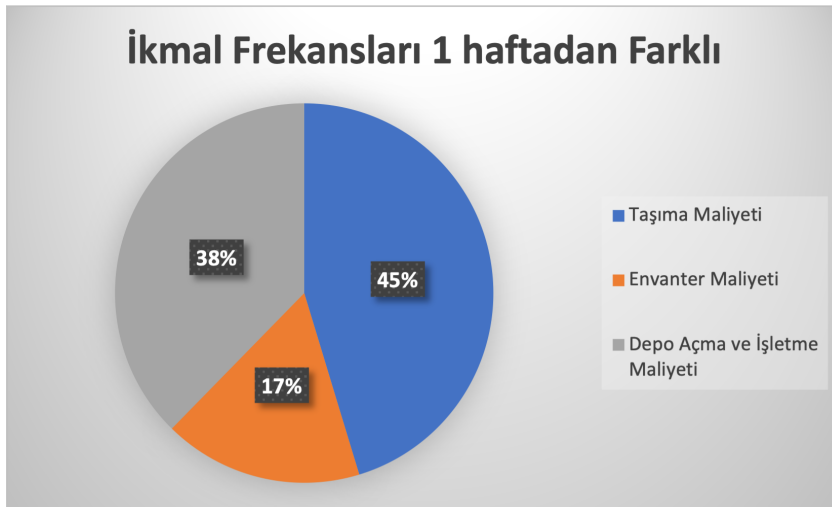


Şekil 6.18: Farklı ikmal frekansları ve sabit ikmal frekansları koşullarında son sistem maliyet değerleri.

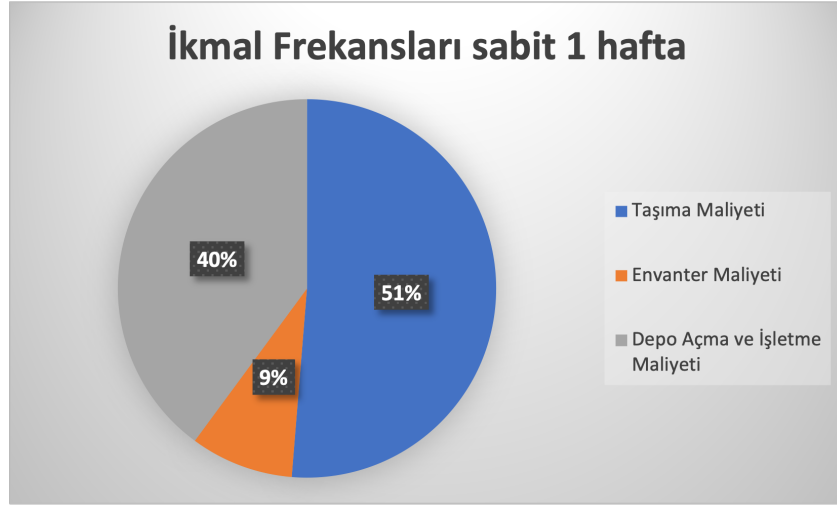
Çizelge 6.5: İkmal frekansının fark yarattığı problem setleri (ÖEF: Ölçek Ekonomisi Faktörü, M1 and M2: Taşıma miktarı kırılma noktaları)

Prob	Koşullar				
2	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)		
6	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)		
10	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)	
14	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)	
18	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)	ÖEF(%30)
20	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)	M1&M2(-%30)	ÖEF(%30)
22	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)	M1&M2(-%30)	ÖEF(%30)
27	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(-%80)		ÖEF(%30)
29	Tesis(+%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)		ÖEF(%30)
31	Tesis(-%80)	Envanter(-%80)	Taşıma(+%80)		ÖEF(%30)

Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de ikmal frekanslarının farklı ve sabit 1 hafta seçildiği çözümlerden ortalama tesis, taşıma ve envanter maliyet dağılımı gösterilmektedir. Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’deki, farklı ikmal frekanslarının elde edildiği optimizasyon sonuçları ile ikmal frekansının sabit sabit 1 hafta tutulduğu çözümler kıyaslandığında, farklı ikmal frekansı sonucu veren problemlerde taşıma maliyeti yüzdelerinin daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, ikmal frekansının farklı elde edildiği problemlerde daha az sayıda açılan depo ile daha düşük maliyetlerde taşıma yapılmış, elde edilen toplam sistem maliyeti frekans değişikliği olmayan çözümlere göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum envanter maliyetlerinin daha yüksek olmasına rağmen toplam sistem maliyeti ikmal frekansı seçeneklerinin çok olduğu koşullarda daha düşük çıkmıştır. Taşıma, envanter ve depo maliyetleri dağılımı göz önüne alındığında, ikmal frekansı seçiminin, katmanlar arasındaki koordinasyona katkı sağladığı görülmektedir.



Şekil 6.19: İkmal frekansının farklı olduğu çözümlerde taşıma, envanter ve depo açma-işletme maliyetlerinin dağılımı



Şekil 6.20: İkmal frekansının sabit 1 hafta seçildiği çözümlerde taşıma, envanter ve depo açma-işletme maliyetlerinin dağılımı

Çizelge 6.6'da ikmal frekanslarının farklı çıktığı problem çözümlerinde ve aynı problemlerin ikmal frekansının sabit 1 hafta seçildiği çözümlerinde son maliyetleri göz önüne alınarak iyileşme yüzdeleri yer almaktadır. Çizelge 6.6'da yer alan ÖEF kısaltması, ölçek ekonomisi faktörünü, M1&M2 ise taşıma miktarı kırılma noktalarını ifade etmektedir. Tüm problemler göz önüne alındığında son maliyette genel olarak ortalama %10 iyileşme gözlenmiştir. En fazla iyileşme, ölçek ekonomisinin %30 seçildiği koşulda, tesis ve envanter maliyetlerinin %80 düşük, taşıma maliyetlerinin ise %80 daha fazla olduğu problemde gözlenmiştir. Farklı ikmal frekanslı problemlerin çözümünde en düşük maliyet, ölçek ekonomisinin %30 seçildiği ve taşıma miktarı eşiklerinin %30 düşürüldüğü koşulda, tesis ve envanter maliyetlerinin %80 düşük, taşıma maliyetlerinin ise %80 daha fazla seçildiği problemde sabit ikmal frekanslı probleme kıyasla %17'lik iyileşme oranı ile \$15.056.150,8 olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.6: İkmal frekansının fark yarattığı problem setlerinde iyileşme oranları

Problemler					Son Maliyet (Farklı ikmal Frekans)	Son Maliyet (Sabit İkmal Frekans)	İyileşme
Tesis	Envanter	Taşıma	M1&M2	ÖEF			
-80%	-80%	+80%			\$18.506.059,2	\$20.261.003,7	9%
+80%	-80%	+80%			\$38.449.279,0	\$42.132.308,6	10%
-80%	-80%	+80%	-30%		\$17.412.145,9	\$18.732.369,3	8%
+80%	-80%	+80%	-30%		\$37.391.970,5	\$39.619.247,5	6%
-80%	-80%	+80%	-30%	30%	\$15.056.150,8	\$17.545.701,3	17%
+80%	-80%	+80%	-30%	30%	\$32.895.535,5	\$36.566.874,4	11%
+80%	-80%	-80%	-30%	30%	\$17.425.438,7	\$17.775.602,5	2%
+80%	-80%	-80%		30%	\$18.177.804,0	\$18.367.385,4	1%
+80%	-80%	+80%		30%	\$34.668.655,8	\$41.116.270,6	19%
-80%	-80%	+80%		30%	\$16.427.128,0	\$19.820.214,4	21%





## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir tedarikçi, çok sayıda depo ve çok sayıda perakendeciden oluşan çok katmanlı bir tedarik zinciri tasarım modeli ele alınmaktadır. Problem, açılacak depoların sayısını ve kapasitesine, hangi perakendecinin hangi depoya atanacağına ve her depo ve perakendeci için ikmal sıklıklarına karar vermektir. Model, bu kararlar verilirken depoların açma ve işletme maliyetlerini, depolardaki ve perakendecilerdeki envanter maliyetlerini ve hem tedarikçiden depolara hem de depolardan perakendecilere taşıma maliyetlerini içeren toplam sistem maliyetlerin enazlanmasını amaçlamaktadır. Envanter kontrol politikası olarak, 2 üssü katları gözlem politikası kullanılmaktadır. İkmal frekansı kararlarının toplam sistem maliyeti ve taktiksel kararlara etkisi olduğu gösterilmiştir. Problem çözümünde arama algoritması geliştirilmiş ve öncelikle açılacak olan tesis lokasyon-kapasite ve mağaza-tesis atama kararlarının optimize edildiği ve sonrasında bu kararlara göre ikmal frekansı optimizasyonunun gerçekleştirildiği iki katmanlı bir optimizasyon yaklaşımı göz önüne alınmıştır. Çözülen problem setinin sonuçlarının ortalama yüzde 68’inde depolarda depo ve mağazalar için ikmal frekansının 1 hafta olduğu çapraz sevkiyat gözlenmiştir. Diğer problemlerde ise ikmal frekansları depo ve mağazalar için 1 haftadan farklı çıkmıştır. Maliyet iyileşme yüzdeleri ve ulaşılan son maliyet açısından ikmal frekansları seçeneği olan depo ve perakende mağazaları için ortalama %10 daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. En fazla maliyet iyileşmesi, ölçek ekonomisi faktörlerinin %30 olduğu, tesis ve envanter maliyetlerinin baz modelden %80 daha düşük ve taşıma maliyetlerinin baz modelden %80 daha yüksek olduğu problemde %21 olarak gözlenmiştir. Ayrıca 2 üssü katları politikasının daha düşük sayıda depo ile daha düşük maliyetli bir taşıma sağlanmıştır. Böylelikle 2 üssü katları politikasının, depo ve perakende mağazaları arasında daha koordineli bir yapı sağladığı söylenebilir. Gelecek çalışmalarda bu çalışmadaki veri seti genişletilebilir. Ayrıca 2 üssü katları sonuçlarının envanter kontrol politikasında mağazaların ikmal frekans setinin herhangi bir sayıdan seçildiği ve depolarında kendisine bağlı olduğu mağazaların ikmal frekanslarının en küçük ortak katı olduğu bir başka tamsayı envanter politikası yaklaşımı ile karşılaştırılması yapılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Chopra, Sunil and Meindl, Peter.** Supply chain management. strategy, planning & operation. In *Das summa summarum des management*, pages 265–275. Springer, 2007.
- [2] **Snyder, Lawrence V and Shen, Zuo-Jun Max.** *Fundamentals of supply chain theory*. John Wiley & Sons, 2019.
- [3] **Max Shen, Zuo-Jun.** Integrated supply chain design models: a survey and future research directions. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 3(1):1, 2007.
- [4] **Daskin, Mark S and Coullard, Collette R and Shen, Zuo-Jun Max.** An inventory-location model: Formulation, solution algorithm and computational results. *Annals of operations research*, 110(1):83–106, 2002.
- [5] **Shen, Zuo-Jun Max.** A multi-commodity supply chain design problem. *Iie Transactions*, 37(8):753–762, 2005.
- [6] **Shen, Zuo-Jun Max and Daskin, Mark S.** Trade-offs between customer service and cost in integrated supply chain design. *Manufacturing & service operations management*, 7(3):188–207, (2005).
- [7] **Snyder, Lawrence V and Daskin, Mark S and Teo, Chung-Piaw.** The stochastic location model with risk pooling. *European Journal of Operational Research*, 179(3):1221–1238, 2007.
- [8] **Ozsen, Leyla and Coullard, Collette R and Daskin, Mark S.** Capacitated warehouse location model with risk pooling. *Naval Research Logistics (NRL)*, 55(4):295–312, 2008.
- [9] **Berman, Oded and Krass, Dmitry and Tajbakhsh, M Mahdi.** A coordinated location-inventory model. *European Journal of Operational Research*, 217(3):500–508, 2012.
- [10] **Tancrez, Jean-Sébastien and Lange, Jean-Charles and Semal, Pierre.** A location-inventory model for large three-level supply chains. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(2):485–502, 2012.
- [11] **Roundy, Robin.** 98%-effective integer-ratio lot-sizing for one-warehouse multi-retailer systems. *Management science*, 31(11):1416–1430, 1985.

- [12] **Federgruen, Awi and Queyranne, Maurice and Zheng, Yu-Sheng.** Simple power-of-two policies are close to optimal in a general class of production/distribution networks with general joint setup costs. *Mathematics of Operations Research*, 17(4):951–963, 1992.
- [13] **Farahani, Reza Zanjirani and Rashidi Bajgan, Hannaneh and Fahimnia, Behnam and Kaviani, Mohamadreza.** Location-inventory problem in supply chains: a modelling review. *International Journal of Production Research*, 53(12):3769–3788, 2015.
- [14] **Silver, Edward Allen and Pyke, David F and Peterson, Rein and others.** *Inventory management and production planning and scheduling*, volume 3. Wiley New York, 1998.
- [15] **Romeijn, H Edwin and Shu, Jia and Teo, Chung-Piaw.** Designing two-echelon supply networks. *European Journal of Operational Research*, 178(2):449–462, 2007.