



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**MONTAJ SİSTEMLERİNDE PARÇA
BESLEME İÇİN MERKEZİ VE MERKEZİ
OLMAYAN DEPOLAMA KONUMLARI İLE
TESİS İÇİ LOJİSTİK KARARLARININ
ENTEĞRE OPTİMİZASYONU**

Pelin ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2026
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Pelin ŞAHİN tarafından hazırlanan “Montaj Sistemlerinde Parça Besleme İçin Merkezi ve Merkezi Olmayan Depolama Konumları ile Tesis İçi Lojistik Kararlarının Entegre Optimizasyonu” adlı tez çalışması 21/01/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

.....

Danışman

Doç. Dr. Bilal ERVURAL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kürşat ÖKSÜZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Pelin ŞAHİN

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MONTAJ SİSTEMLERİNDE PARÇA BESLEME İÇİN MERKEZİ VE MERKEZİ OLMAYAN DEPOLAMA KONUMLARI İLE TESİS İÇİ LOJİSTİK KARARLARININ ENTEGRE OPTİMİZASYONU

Pelin ŞAHİN

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Bilal ERVURAL

2026, 61 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Bilal ERVURAL

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Dr. Öğr. Üyesi Kürşat ÖKSÜZ

Tesis içi depolama süreçleri, özellikle üretim ve montaj sistemlerinde operasyonel verimliliğin kritik bileşenleridir. Bu süreçlerin etkin yönetilememesi zaman kayıplarına ve yüksek maliyetlere yol açarken, etkili bir depolama yönetimi malzeme akışını iyileştirir, gecikmeleri azaltır ve maliyetleri düşürür. Bu çalışma, depolama yönetimi ile montaj hatlarında parça besleme sürecini entegre ederek tesis içi lojistik süreçlerini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu tez çalışmasında, bir tesis içerisinde yer alan montaj hattında, sınıf tabanlı bir depolama politikası benimsenmiştir. Geliştirilen entegre matematiksel model; tesis içi parça besleme ve depolama kararlarını bir arada ele alarak uygulanabilir ve maliyet etkin bir optimizasyon yapısı sunmaktadır. Çalışma kapsamında, istasyon bloklarının ataması ve taşıma aracı seçimleri, merkezi depoda sınıf tabanlı depolama politikasına dayalı yerleşim kararları ile entegre edilmiştir. Bununla birlikte modelde, tesis içerisinde, Merkezi Depo, süpermarket ve istasyon döngüsündeki sınıf bazlı parça besleme çevrimlerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, model, sınıfların merkezi depo bölümlerine atanması ve sınıf bazlı çevrim sıklığının belirlenmesi olmak üzere iki kararla genişletilmiştir. Modelde amaç fonksiyonu; Merkezi depo ile süpermarket ve süpermarket ile istasyon arası taşıma maliyetlerinin yanında, sabit tur giderlerini, süpermarket maliyetlerini ve çevrim maliyetlerini bütüncül şekilde minimize etmektedir. Önerilen model, toplam taşıma ve depolama maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflerken, yalın üretim ilkeleriyle tam uyumlu, esnek ve düşük stoklu bir yapı sunmaktadır. Böylece, tam zamanında üretim anlayışını destekleyen, sürdürülebilir ve uygulanabilir bir tesis içi lojistik çözümü önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Depo yönetimi, karma tam sayılı programlama, montaj hattı lojistiği, sınıf tabanlı depolama, süpermarket, tesis içi lojistik, yalın üretim

ABSTRACT

MS THESIS

INTEGRATED OPTIMIZATION OF CENTRALIZED AND DECENTRALIZED STORAGE LOCATIONS AND IN-HOUSE LOGISTICS DECISIONS FOR PART FEEDING IN ASSEMBLY SYSTEMS

Pelin ŞAHİN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Bilal ERVURAL

2026, 61 Pages

Jury

**Assoc.Prof.Dr. Bilal ERVURAL
Asst.Prof.Dr. Kemal ALAYKIRAN
Asst.Prof.Dr. Kürşat ÖKSÜZ**

On-site storage processes are critical components of operational efficiency, particularly in production and assembly systems. While ineffective management of these processes leads to lost time and high costs, effective storage management improves material flow, reduces delays, and lowers costs. This study aims to optimize on-site logistics processes by integrating storage management with the parts supply process on assembly lines. In this thesis, a class based storage policy was adopted on an assembly line located within a facility. The developed integrated mathematical model offers a feasible and cost-effective optimization structure by considering in-site parts supply and storage decisions together. Within the scope of the study, the assignment of station blocks and the selection of transportation vehicle were integrated with layout decisions based on the class based storage policy in the central warehouse. Furthermore, the model aimed to optimize class based part supply cycles within the facility in the central warehouse, supermarket and station cycle. To this end, the model was expanded with two decisions: the assignment of classes to central warehouse sections and the determination of class based cycle frequency. The objective function in the model is; in addition to transportation costs between the central warehouse and supermarket and between supermarket and stations, it holistically minimizes fixed tour costs, supermarket costs, and distance costs. The proposed model aims to minimize total transportation and inventory costs while offering a flexible, low-inventory structure that is fully compatible with lean manufacturing principles. Thus, a sustainable and viable in-plant logistics solution that supports just in time manufacturing is proposed.

Keywords: Warehouse management, mixed integer programming, assembly line logistics, class based warehousing, supermarket, in-plant logistics, lean manufacturing

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, montaj sistemlerinde tesis içi depo yönetiminin iyileştirilmesinde, süreçlerin çok boyutlu ve birbirini etkileyen birden fazla kriter ile entegre şekilde ele alınmasının önemini vurgulamak ve çözüm önerilerini geliştirmek amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma sürecinde edinmiş olduğum bilgiler ve yapmış olduğum araştırmalar, tesis içi lojistik ve depolama süreçlerinin karmaşık karar ilişkilerini daha iyi anlamamı ve özümsememi sağlamıştır.

Bu süreçte, bilgi ve deneyimlerini paylaşarak bana yol gösteren, kıymetli önerileri ve yönlendirmeleriyle beni destekleyen ve çalışmama katkı sağlayan saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Bilal ERVURAL'a rehberliği ve değerli katkıları için içten teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışma, akademik gelişimimde bana katkı sağlamış ve depo yönetimi süreçlerinde ileride yapılması muhtemel çalışmalara bir çerçeve sunmayı amaçlamıştır.

Pelin ŞAHİN
KONYA-2026

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Tesis İçi Lojistik ve Hat Besleme Sistemleri	6
2.2. Depolama Stratejileri	6
2.2.1. Merkezi depolama.....	7
2.2.2. Merkezi olmayan (dağıtık) depolama	7
2.2.3. Hibrit depolama yaklaşımları.....	7
2.2.4. Depolama politikaları.....	7
2.2.5. Entegre problemler (depolama, hat besleme, taşıma).....	8
2.2.6. Literatür özeti ve boşluk analizi.....	9
3. PROBLEM TANIMI VE ÇALIŞMA KAPSAMI.....	17
3.1. Sistem Tanımı ve Süreç Akışı.....	17
3.2. Problemin Tanımı	19
3.3. Problemin Kapsamı ve Varsayımlar	20
4. METODOLOJİ	21
4.1. ABC Sınıflandırma Modeli	22
4.2. Önerilen Matematiksel Model	24
4.3. Modelleme Tercihleri ve Doğrusallaştırmalar	28
4.4. Çözüm Yaklaşımı ve Çözücü Ayarları	28
4.5. Deney Tasarımı ve Senaryo Kurgusu	28
4.6. Performans Ölçütleri	29
5. UYGULAMA.....	30
5.1. Girdi Verileri ve Parametreler.....	30
5.1.1. İstasyon-parça talep verisi.....	32
5.1.2. ABC sınıflandırma verileri ve çıktıları	33
5.2. Baz (Referans) Senaryo Sonuçları	35
5.3. Senaryo Sonuçları	39
5.4. Karşılaştırmalı Analiz	40

6. TARTIŞMA	43
6.1. Bulguların Yorumlanması ve Yönetmel Çıkarımlar	43
6.2. Karşılaştırmalı Analizin Tartışması	44
6.3. Duyarlılık Analizi Bulguları ve Tartışması.....	45
6.3.1. Depo bölge kapasitesindeki değişimin modele etkisi	45
6.3.2. Taşıma aracı sabit maliyeti değişiminin modele etkisi	46
6.3.3. Taşıma aracı kapasitesindeki değişimin modele etkisi	46
6.3.4. ABC sınıf kapasite oranlarındaki değişimin modele etkisi.....	47
6.3.5. Problem boyutlarının modelin performans ölçütlerine etkisi	48
6.3.6. Duyarlılık analizlerinin modele etkisinin değerlendirilmesi.....	49
6.3.7. Taktik ve operasyonel kararların modele etkisinin değerlendirilmesi	50
6.4. Geçerlilik, Sınırlılıklar ve Genellenebilirlik	53
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
7.1. Sonuçlar	55
7.2. Öneriler ve Gelecek Çalışmalar	56
KAYNAKLAR	57
EKLER	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Tesis içi yerleşim düzeni	18
Şekil 3.2. Tesis içi parça tedariki süreci	18
Şekil 5.1. Parçaların talep edilme sıklığı grafiği	31
Şekil 5.2. İstasyonların parça talebi grafiği	33
Şekil 5.3. Toplam parça talebi ve maksimum stok seviyesi grafiği	34
Şekil 6.1. Duyarlılık analizi sonuçları karşılaştırma grafiği	50



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Literatür araştırması özet.....	11
Çizelge 2.2. Önerilen çalışmanın literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması	15
Çizelge 4.1. Matematiksel modelin notasyonları	24
Çizelge 5.1. Probleme ait parametre değerleri	30
Çizelge 5.2. Taşıma araçlarının parametre değerleri.....	31
Çizelge 5.3. Sınıfların kapasite oranları	34
Çizelge 5.4. Parçaların ABC sınıflarına atanması	35
Çizelge 5.5. ABC sınıflarının atandığı depo bölgeleri	36
Çizelge 5.6. Sınıf tabanlı depolama politikası sonuçları	36
Çizelge 5.7. SM-sınıf tabanlı çevrim sayısı.....	37
Çizelge 5.8. SM-depo tabanlı parça akışı	37
Çizelge 5.9. Maliyet bileşenlerinin toplam maliyete etki oranı.....	38
Çizelge 5.10. Senaryoların karşılaştırması	40
Çizelge 5.11. Senaryoların sürece etkisinin karşılaştırmalı analizi	41
Çizelge 5.12. Senaryolara göre maliyet bileşenlerinin karşılaştırması.....	41
Çizelge 6.1. Modelin depo bölgesi kapasitesine parametresine duyarlılığı	45
Çizelge 6.2. Modelin taşıma aracı sabit maliyet parametresine duyarlılığı.....	46
Çizelge 6.3. Modelin taşıma aracı kapasite parametresine duyarlılığı	47
Çizelge 6.4. Duyarlılık analizi ABC kapasite oranları	47
Çizelge 6.5. Modelin ABC kapasite oranına duyarlılığının parça atamasına etkisi	48
Çizelge 6.6. Modelin ABC kapasite oranlarına duyarlılığı	48
Çizelge 6.7. Model boyutunun performans ölçütlerine etkisi	49
Çizelge 6.8. Değişkenlere göre modelin çözüm süresi ve sonuçları	49
Çizelge 6.9. Taktik seviye kararlar altında modelin çıktıları	51
Çizelge 6.10. Taktik seviye uygulaması altında taşıma kararları	51
Çizelge 6.11. Uygulama sonuçlarının karşılaştırılması	52
Çizelge 6.12. Mesafe kısıtları altında taktik karar uygulama sonuçları	52
Çizelge 6.13. Mesafe ile entegre taşıma kararlarının modele etkisi	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

SİMGELER

T	Toplam Parça Talebi (Turnover)
N	Maksimum Stok Seviyesi (Max Storage Requirement)

KISALTMALAR

JIT	Tam Zamanında Yaklaşımı (Just in Time)
MIP	Karma Tam Sayılı Programlama (Mixed-Integer Programming)
SM	Süpermarket (Merkezi Olmayan Ara Depolar)



1. GİRİŞ

Tesis içi üretim süreçlerinde, malzeme tedariki süreçlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi, üretimde sürekliliğin sağlanması ve operasyonel maliyetlerin minimize edilmesi açısından, hat besleme, depolama ve taşıma kararları, belirleyici bileşenlerdir.

Güncel üretim ve satış etkinliği, karma model montaj hatları aracılığıyla sağlanmaktadır. Karma model montaj hatlarının etkinliğini sağlayan en önemli faktörlerden biri, parçalar için uygulanan tam zamanında (Just in Time, JIT) besleme ilkesidir (Usta vd., 2017).

Hatların JIT prensibine uygun şekilde tam zamanında ve kesintisiz beslenebilmesi, depolama alanından başlayarak üretim noktasına uzanan süreç akışında, bu bileşenlerin her birinin uyumlu şekilde entegre edilerek planlanmasına bağlıdır.

Depolama sistemleri, üretim için ihtiyaç duyulan parçaların özellikleri, talep düzeyleri, kullanım sıklığı gibi pek çok etmene bağlı olduğundan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu kapsamda parçaların depo içerisindeki yerleşim şekillerinin planlanması, sürecin başlangıcını oluşturan toplama faaliyetlerinin performansında etkili olmaktadır.

Tesis içi merkezi depo, süpermarket ve montaj hatlarında yer alan istasyonlar arasında çok aşamalı bir malzeme akışı bulunmaktadır. Merkezi depodan süpermarketlere ve süpermarketlerden istasyonlara uzanan tedarik akışı taşıma mesafeleri, araç tur sayıları, kullanılacak taşıma araçlarının belirlenmesi gibi unsurlarla birlikte değerlendirilmesi gereken bir planlama problemidir. Bu noktada, ara nokta tabanlı dağıtım görevini üstlenen süpermarketlerin tesis içerisindeki konumları, sayıları, hangi istasyonlara hizmet vereceği ve hangi taşıma araçlarını kullanacağı kararları devreye girmektedir. Bu kararlar sistemdeki toplam maliyetleri doğrudan etkilemektedir.

Literatürde bu konuya ilişkin pek çok çalışma bulunması konunun önemini vurgulamakla beraber, mevcut çalışmaların çoğunda sınırlı depolama, taşıma ve besleme yaklaşımları farklı bir çerçevede ele alınmıştır. Bu duruma ek olarak, talep değişkenliği gösteren parçaların depo içerisinde belirli sınıflarda gruplandırılarak stoklanması, süpermarket yerleşimi, hat besleme kararlarının transferlerle birlikte planlanması kararları bütüncül bir bakış açısı ile yeterince vurgulanmamıştır. Bu durumda, tesis içi hat besleme süreçlerinin kapsamlı ve bütüncül şekilde uygulanmasına yönelik araştırma ihtiyacı doğmuştur.

Bu çalışmada, üretim için ihtiyaç duyulan parçaların tesis içerisinde yer alan bir merkezi depo içerisindeki bölgelere sınıflar halinde yerleştirilmesi, ara nokta tabanlı

dağıtımını yapacak olan süpermarketlerin konumlandırılması, hat üzerindeki istasyonların besleme kararları ve bu aradaki taşıma süreçlerinin planlanmasına yönelik yaklaşımlar farklı açılardan bütüncül şekilde ele alınmıştır.

Sabit konumlu ve sınıf tabanlı depolama yapıları, karşılaştırmalı olarak incelenmiş olup, operasyonel sürecin toplam maliyetini minimize etmeyi amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Toplam maliyet, montaj öncesi parça hazırlığı, toplama, tesis içi taşıma ve depolama maliyetlerini içerir. Her durum, maliyet formülasyonunda dikkate alınan parametrelerin aldığı belirli değerlere karşılık gelir (Sali vd., 2015).

Geliştirilen model, depolama, taşıma süreçlerinden doğan maliyet bileşenlerini dikkate almakla birlikte, depolama ve lojistik süreçleri kararlarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bütünleşik yaklaşım, tesis içi parça tedarikinin tüm süreçlerini alt problemlere ayırarak tek tek ele almakta ve bu yöntemle literatürdeki söz konusu boşlukları doldurmayı ve parçalı yaklaşımlara tamamlayıcı bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın amacı

Montaj sistemlerinde parça tedariki akışı, merkezi depodan alınan parçaların, süpermarketler üzerinden montaj hattında yer alan istasyonlara gönderilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Ele alınan uygulamada, “Süpermarket (SM)” olarak adlandırılan merkezi olmayan depolar uzun montaj hatlarında taşıma mesafesini azaltmak, hat kenarındaki stok yığılmalarının önüne geçmek ve parça besleme süreçlerini standardize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu kapsamda karar vericiler;

- (i) Her süpermarket hangi istasyon aralığına hizmet vermeli,
- (ii) Taşıma işlemleri hangi taşıma aracı tipi ve kapasitesi ile gerçekleştirilmeli,
- (iii) Hızlı/orta/yavaş dönen parçalar depoda nereye yerleştirilmeli,
- (iv) Hangi sınıflar hangi sıklıkla yenilenmeli

soruları ile karşılaşır.

Bu çalışma, bahsi geçen kararları tek ve tutarlı bir çerçevede maliyet odaklı şekilde toplayan çözülebilir bir matematiksel model sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, merkezi depo ile süpermarket ve süpermarket ile istasyon arasındaki etkileşiminin montaj hattı verimliliği ve genel tesis düzeni üzerindeki etkisini vurgulamakta ve Sınıf Tabanlı Depolama Politikası uygulamasının depolama sistemindeki etkisine değinmektedir.

Çalışmada, montaj hattında üretim için ihtiyaç duyulan parçaların tedariki; kendi içerisinde üç bölümden oluşan merkezi bir depodan alınan parçaların ilk olarak süpermarketlere, ardından süpermarketlerden alınarak montaj hattındaki istasyonlara gönderilmesiyle sağlanmaktadır.

Çalışmada, bir tesis içerisinde, montaj hattının ihtiyaç duyduğu parça tedariki, kendi içerisinde üç sınıfa ayrılmış (ABC) merkezi bir depodan süpermarketlere, süpermarketlerden istasyonlara parça tedariki sağlanmaktadır. Bu parçaların, sınıf bazlı yenileme çevrim durumlarına göre, merkezi depoda yerleştirileceği bölgelerin belirlenmesi, tesis içi taşıma süreçleri ve bloklara ayrılmış istasyonları besleyecek süpermarketlerin seçimi kararlarını kapsayan entegre bir optimizasyon modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece depo yönetimi ve tesis içi lojistik konuları hem literatürdeki boşlukları dolduracak hem de pratik uygulamalara katkı sağlayacak şekilde bütünsel olarak değerlendirilecektir.

Araştırmanın önemi

Tesis içi depolama süreçleri, özellikle üretim ve montaj sistemlerinde operasyonel verimliliğin kritik bileşenleridir. Bu süreçlerin etkin bir şekilde yönetilememesi, zaman kaybına ve yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Etkili bir depolama yönetimi ise malzemelerin sorunsuz bir şekilde akışını sağlar, maliyetleri en aza indirir ve gecikmeleri azaltır.

Doğru yönetilmeyen depolama faaliyetleri zaman kaybı ve yüksek maliyetlere sebep olabilmektedir. Depoların ve sevkiyat süreçlerinin planlanması, optimizasyonu ve kontrolü depo yönetimi olarak ifade edilmektedir (Erarslan ve Deste, 2022). Depo yönetimi; stok yönetimi, taşıma ve boşaltma süreçleri, teslimat süreleri ve lojistik maliyetlerin optimizasyonu açısından çok sayıda kriteri bir arada ele alır (Yerlikaya ve Arikan, 2022).

Etkin depo kullanımı, stok yönetimi, ulaşım mesafesi, kullanım alanı, teslimat-bekleme süreleri ve bu etkenlerden doğacak maliyetin minimize edilmesi açısından birçok kriteri dikkate almayı gerektirmektedir (Yerlikaya ve Arikan, 2022). Bu anlamda, depolarda seyahat sürelerini veya mesafeyi azaltmak için genellikle dört yöntem kullanılmaktadır: (1) iyi bir toplama rotası sırası belirleme, (2) depoyu bölgelere ayırma, (3) siparişleri gruplara atama ve (4) ürünleri doğru depolama yerlerine atama (Chen ve Wu, 2005).

Bir depodaki en önemli performans ölçümleri genellikle sipariş toplama için gereken zaman veya çabayla, yani raflardan ürünlerin alınması ve uygun araçla alınacakları noktaya teslim edilmesiyle ilgilidir (Kovács, 2011). Bu taşıma sürelerini ve mesafelerini azaltmak için ürünlerin doğru bir şekilde depolama yerlerine atanması önemli bir yöntemdir (Chen ve Wu, 2005).

Literatürde depo yönetimine yönelik problemler çoğunlukla belirtilen kriterlerden yalnızca biri ele alınarak ya da birkaçı arasından yalnızca belirli boyutlara odaklanarak değerlendirilmiştir. Ancak depo yönetimi kavramı, birden fazla etkenin ve durumun birbirini etkilediği ve birbiriyle ilişkili birçok kriterin bütüncül olarak değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu karmaşık bir süreçtir.

Bu çalışma, tesis içi merkezi ve merkezi olmayan depo (süpermarket), tesis içi lojistik ve hat besleme kararlarını bütünleşik bir yapıda ele alması açısından literatürdeki çalışmalardan ayrılmaktadır. Literatürde benzer problemleri elen alan mevcut çalışmalarda, depolama, konumlandırma ve taşıma kararlarının ayrı ayrı ele alındığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu kararların birbiri ile etkileşimi sınırlı ölçüde incelenmektedir.

Bu çalışmanın literatüre özgün katkısı aşağıdaki şekildedir:

- Tesis içi depolama, süpermarket ve hat besleme kararları bütünleşik olarak tek bir optimizasyon modeli altında ele alınmıştır.
- Doğrusal olmayan karar etkileşimleri, modelin verimliliğinin artırılması amacıyla uygun bir yöntemle doğrusallaştırılmış ve problemin çözülebilirliği sağlanmıştır.
- Sınıf tabanlı depolama politikasının, hat besleme performansı ve süreç maliyetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.
- Süpermarket ile istasyon arasında gerçekleşen turlarda JIT ağırlık katsayısı modele entegre edilerek süreç performansına etkisi analiz edilmiştir.
- Model, pratik ölçeklerde test edilmiş ve yapılan duyarlılık analizleriyle geliştirilen matematiksel modelin amaca uygunluğu ve uygulanabilirliği test edilmiştir.

Bu kapsamda, çalışmada literatürde genellikle ayrı olarak incelenen kararları bütüncül bir çerçevede ele alacak şekilde, merkezi depo tarafı (üst katman), süpermarket tarafı (orta katman) ve montaj hattı tarafı (alt katman) olmak üzere üç katmanlı bir yapıda kurgulanmıştır.

Üst Katman, merkezi depo tarafı, parçaların montaj hattına ulaşmadan önceki kısmı ifade etmektedir. Yani parçaların merkezi depodaki ilgili bölümlere kabul edildiği

ve sınıf tabanlı ürün yerleştirme kararlarının uygulandığı kısımdır. Bu kısımda, ABC sınıflaması yapılmaktadır. ABC sınıflaması, parçaların talep sıklıklarına göre merkezi depoda yer alan A, B ve C sınıflarına yerleştirilmesini ifade etmektedir.

Orta Katman, süpermarket tarafı, merkezi depolardan süpermarketlere ve süpermarketlerden istasyon bloklarına ürün akışının planlandığı kısımdır. Bu kısımda, süpermarket konum kararları, SM-istasyon blok atamaları, taşıma aracı seçimi, transfer sayısı kararları uygulanmaktadır.

Alt Katman, montaj hattı tarafı, ardışık istasyonların bloklara ayrılarak her bloğun bir süpermarket-araç kombinasyonuna atanmasını kapsar. Aynı zamanda, her bir istasyonun ürün taleplerinin karşılanması ve kapasite kullanımının belirlenmesi kararlarını da kapsar.

Model karma tam sayılı (MIP) formda yapılandırılmış ve pratik ölçeklerle uygulanabilirliği test edilmiştir. Uygulamada, montaj hattı uzunluğu, talep dağılımı ve kapasite gibi etmenlerin etkileri incelenerek elde edilen bulgular önerilen entegre yaklaşımın toplam maliyet ve tesis içi süreç performansına katkısını gösterecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tesis içi lojistik süreçleri optimize etmeyi amaçlayan çalışmalar arasında tesis içi depo konumu belirleme ve depo ürün atama problemleri sık karşılaşılan karar problemlerindendir.

Montaj sistemlerinde ve tesis içi lojistik süreçlerde depolama faaliyetlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi hem maliyetlerin düşürülmesi hem de operasyonel verimliliğin artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Literatür, depolama süreçlerinin optimizasyonu için çeşitli yaklaşımlar sunmakta ve bu yaklaşımlar genellikle depo yerleşimi, ürün atama, sipariş toplama süreçleri ve genel depo yönetim politikaları üzerine yoğunlaşmaktadır.

2.1. Tesis İçi Lojistik ve Hat Besleme Sistemleri

Üretim sistemlerinin verimliliğinin artırılmasında ve katma değeri olmayan işlerin önlenmesinde parça besleme süreçlerinin önemli bir etkisi vardır. Parça besleme süreçleri, parçaların kullanım noktalarına teslim edilme yöntemlerini ifade etmektedir (Yalçın vd., 2018).

Yalın üretim felsefesi, gereksiz hareketler ve taşıma süreçlerini ortadan kaldırmayı amaçlar. Montaj hatlarına ihtiyaç duyulan parçaların hat besleme süreçleriyle taşınması, tesis içi lojistik kapsamında değerlendirilmektedir (Arık ve Yufka, 2025).

İç lojistik faaliyetlerinde, bir ürünün parçalarının ilgili montaj hattına ve ardından iş istasyonlarına teslimi büyük önem taşır ve parça besleme sistemi, ürünün üretimi için gereken süreyi doğrudan etkiler. Bu süre, parçaların çeşitli özelliklerine bağlı olarak değişir (Oksuz vd., 2017).

Tesis içi lojistik, üretimde ihtiyaç duyulan parçaların, depodan montaj hattındaki doğru noktaya, doğru zamanda ve doğru miktarda ulaştırılmasını sağlayan faaliyetlerin tümünü kapsamaktadır. Bu sistemler, üretimde sürekliliği sağlayan ve toplam maliyetler üzerinde doğrudan etkili olan kritik kararlardır.

2.2. Depolama Stratejileri

Tesis içi lojistiğin temel zorluklarından biri olan depolama tesislerinin nasıl yapılandırılacağı kararı, merkezi mi yoksa merkezi olmayan bir depolama sisteminin mi daha uygun olduğunu belirlemeyi içerir (Şahin vd, 2024). Dolayısıyla, depoların nasıl yapılandırılacağına ilişkin kararlar, merkezi ve merkezi olmayan depolama sistemleri

arasında stratejik bir optimizasyon yapılmasını gerektirmektedir. Bu optimizasyon; tesis içi düzen, montaj hattı talep yapısı, tesis içi mesafeler gibi kriterlere bağlı olarak şekillenmektedir. Uygun depolama stratejisinin belirlenmesi, tesis içi süreçlerin performansını etkileyen çok boyutlu bir karar problemi olarak ele alınmaktadır.

2.2.1. Merkezi depolama

Merkezi depolama, birden fazla lokasyonun taleplerini karşılamak için envanteri tek bir merkezi konumda birleştirerek yerel depolara olan ihtiyacı ortadan kaldırır (Lee ve Jeong, 2009).

Envanterin tek bir merkezi konumda depolanması ve ihtiyaç halinde dağıtımın bu merkezden yapılması, tesis içi stok kontrolünü ve parça tedariki planlama etkinliğini artıracak bir etkidir.

2.2.2. Merkezi olmayan (dağıtık) depolama

Günümüz sistemlerinde, artan ürün çeşitliliği, parça besleme süreçlerinde büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Bu zorluğa yönelik özellikle otomotiv sektöründen birçok üretici, parça besleme stratejisi olarak süpermarket konseptini belirlemiştir. Bu bağlamda, süpermarketler, parçalar için ara depolar olarak hizmet veren, montaj hattının yakınında bulunan, merkezi olmayan şirket içi alanlardır (Emde ve Boysen, 2012).

2.2.3. Hibrit depolama yaklaşımları

Hibrit depolama yaklaşımları, merkezi ve merkezi olmayan depolama stratejilerinin bir arada uygulandığı depolama sistemleridir. Bu çalışmada, tesis içi parça akışı merkezi depodan başlayarak, merkezi olmayan depolar olan süpermarketler üzerinden gerçekleştirilmektedir. Böylece, merkezi ve dağıtık depolama stratejilerini bir araya getiren hibrit bir depolama yaklaşımı sunulmaktadır.

2.2.4. Depolama politikaları

Depo yerleşimi için yaygın olarak kullanılan politikalar; sınıf tabanlı politika, sabit politika, rastgele politika, tam devir politikası, veri madenciliği temelli politika, hacme dayalı politika, paylaşılan konum politikası, kalış süresi politikası ve korelasyona dayalı politikadır (Turner, 2009; Li vd., 2020; Yerlikaya ve Arıkan, 2022).

Tesis içerisinde yer alan depolara malzeme/ürün ataması yapılması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Sıklıkla kullanılan depolama politikaları şunlardır (Roodbergen ve Vis, 2009):

- Sabit Yerleşimli Depolama Politikası (Dedicated Storage Assignment): Her ürün türü sabit bir konuma atanır. Bu ürünün stok yenilemeleri her zaman aynı konumda gerçekleşir (Roodbergen ve Vis, 2009).
- Rastgele Depolama Politikası (Random Storage Assignment): Depolanacak bir paletin açık konumların her birinde depolanma şansı eşittir (Graves vd., 1977).
- En Yakın Konuma Yerleştirme Politikası (Closest Open Location Storage Assignment): Ürünlerin depolanması için karşılaşılan ilk boş alan kullanılır. Bu durum genellikle, giriş/çıkış noktalarının etrafında rafların dolu olduğu ve eğer fazla kapasite varsa arkaya doğru kademeli olarak daha boş hale gelen bir sisteme yol açar (Roodbergen ve Vis, 2009).
- Tam Devir Oranına Dayalı Depolama Politikası (Full-Turnover-Based Storage Assignment): En yüksek ciroya sahip ürün, giriş/çıkış noktasına en yakın konuma atanır (Graves vd., 1977).
- Sınıf Tabanlı Depolama Politikası (Class Based Storage Assignment): Bu depolama atama yöntemi, mevcut depo alanını bir dizi alana böler. Her bir ürün, talep sıklığına bağlı olarak bu alanlardan birine atanır. Alan içinde rastgele depolama uygulanır. Üç sınıflı sınıf tabanlı depolama genellikle ABC depolama olarak adlandırılır (Roodbergen ve Vis, 2009). Sınıf tabanlı depolamanın ana fikri, ürünleri sınıflara ayırmaktır. Her sınıf, deponun belirli bir alanına atanır. Her sınıfta ürünlerin depolanma şekli kendi içerisinde rastgeledir. Bu politikanın avantajı, hızlı hareket eden ürünlerin depoda yakın bir yerde depolanabilmesi ve rastgele depolamanın esnekliği ile yüksek depolama alanı kullanımının birlikte uygulanabilir olmasıdır (Chan ve Chan, 2011).

2.2.5. Entegre problemler (depolama, hat besleme, taşıma)

Tesis içi lojistikte depo içi yerleşim, hat besleme ve taşıma kararları birbiri ile bağımsız olarak ele alınması sistemde ortaya çıkabilecek alındığında, sistem performansının beklenen düzeyin altında kalmasına sebep olabilmektedir.

Tesis içi depolama politikası ile parçaların depo içerisindeki konumları belirlenirken, hat besleme stratejisi ile bu parçaların istasyonlara ne şekilde ve hangi sıklıkta iletileceği tanımlanır.

Ürünlerin farklı modellerinde ortak olmayan parça çeşitliliğinin artması, ürün taleplerinin değişken hale gelmesi gibi nedenlerle montaj hatlarına malzeme besleme konusunda yenilikçi yaklaşımlar izlenmesine ihtiyaç duyulmuştur (Durmuşoğlu vd., 2018).

Bu aşamada, taşıma kararları devreye girer ve bu kararlar, depolama ve besleme yapısını birbirine bağlayarak, maliyet, mesafe ve kaynak kullanımını optimum düzeyde dengelemektedir. Dolayısıyla, söz konusu kararların bütünleşik olarak ele alınması, toplam taşıma mesafesini ve maliyetleri azaltmanın yanında tesis içi süreç performansının artırılması açısından önemlidir.

2.2.6. Literatür özeti ve boşluk analizi

Çalışmada ele alınan probleme yönelik, depolama, sipariş toplama, depo ürün atama ve üretim planlaması ile ilgili günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır (Yerlikaya ve Arikan, 2022).

Yerlikaya ve Arikan (2022), ürünlerin depodaki alanlara atanması ve üretim planlamasını içeren bütünleşik problem için sınıf temelli depolama politikasını ele alan karışık tam sayılı doğrusal olmayan (MINLP) bir matematiksel model önermişlerdir.

Erarslan ve Deste (2022), işletmenin depoda ürün atama problemi için Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (ÇKKV) kullanarak bir optimizasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, mevcut depo alanı ve ürün özelliklerine en uygun yerleşim şeklini belirlemişlerdir.

Hu ve Chuang (2023), e-ticaret tedarik zincirinde hayati bir öneme sahip olan bir e-ticaret işletmesine ait depo düzenini optimize etmeyi ve sıralama verimliliğini artırmak amacıyla genetik algoritma kullanmışlardır.

Özalp vd. (2023), ekmek fırınları ve fırın ekipmanları üreten bir firmada, malzeme ambarındaki ergonomik riskler içeren işlemleri ve taşıma maliyetlerini azaltmak için depo raf atama problemini ele almışlardır. Ürünler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve çok kriterli ABC analizi yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra depodaki farklı kapasiteli raflara farklı tiplerdeki bileşenleri atayan bir iki amaçlı karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

Çelik, vd. (2023), depo kısıtlarını göz önünde bulundurarak, ürün depolamada dinamik lokasyon tabanlı yerleştirme algoritmasının geliştirilmesinde birçok farklı yöntemi birlikte kullanmışlardır.

Şahinaslan vd. (2023), makine öğrenimi algoritmalarının depo konumlarının belirlenmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlar ve uluslararası lojistik bir deponun verimliliğini artırmak için depo dolaşım mesafesini kısaltacak, yenilikçi ve etkin bir konumlandırma yöntemi geliştirilmesini amaçlamışlardır.

Demir ve Keskin (2023), zincir bir süpermarketin gerçek hayat sevkiyat problemine odaklanmışlardır. Her mağaza grubu için en uygun dağıtım merkezleri (DM) belirlenerek ürünlerin taşıma maliyetleri optimize edilmiş ve talep değişkenliğine bağlı ortaya çıkan olumsuz etkileri en aza indirmek üzere DM'ler için bir sevkiyat planı oluşturulması ele alınmıştır.

Şenaras vd. (2023), depolama yeri atama problemlerini çözmek için Tavlama Benzetimi Simülasyonu kullanmışlardır. Geliştirilen uygulama sayesinde, üretim sistemlerinde çok sayıda yarı mamulün depo adreslerine atanması gibi farklı türden problemlerin hızlı bir şekilde çözülmesi amaçlanmıştır.

Kurtay ve Erol (2023), son kullanma tarihi geçen mühimmatın birliklerden depolara ve depolardan da geri dönüşüm tesisine akışını optimize etmeyi amaçlamışlardır. Toplam maliyetin en aza indirilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak, aday depo konumları, her bir depodan kaç adet açılması gerektiği, birliklerin ilgili depolara atanması ve hangi deponun her dönemde geri dönüşüm tesisini besleyeceği kararlarına yönelik matematiksel bir model geliştirilmiştir.

Duque-Jaramillo vd. (2024), SKU'ların fiziksel değişkenlerini, depolama tasarımını ve operasyonunu (boyutlar, düzen, malzeme taşıma ekipmanı) ve heterojen ürün talebini entegre eden bir tahsis modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır.

Xu vd. (2024), Depolama Yeri Atama Problemi'ni (SLAP) çözmek için veri odaklı bir simülasyon metodolojisi önermişlerdir. Küresel sipariş toplama verimliliğine farklı faktörlerin katkısının değerlendirilmesi ve ortaya çıkan veri odaklı simülasyon paradigması aracılığıyla optimum depolama şemalarının araştırılması konusunda bir bakış açısı ve gösterimler sunmaktadır.

Kalkha vd. (2024), etkili depo yönetimi zamanında teslimatları sağlamak için kritik bir faktör olarak ortaya çıkan ve hızla gelişen e-ticaret alanında, değişen ürün hacimleri ve öngörülemez talepler nedeniyle yoğunlaşan bir zorluk olan e-ticaret depolarındaki Depolama Yeri Atama Problemi'ni (SLAP) ele almışlardır.

Ma vd. (2025), otomatik yüksek raflı depolarda depolama yeri tahsisinin depo operasyonlarının operasyonel verimliliğini önemli ölçüde etkilediği ve depo içindeki kargo kaybının genellikle ekipmanla temastan kaynaklandığı düşünüldüğünde rasyonel depolama tahsisi yoluyla birim kargo kaybını ve istifleyici vinçlerin ortalama seyahat süresini en aza indirmeyi amaçlayan yenilikçi bir çift amaçlı optimizasyon modeli önermişlerdir.

Demirtaş ve Bolahatoğlu (2025), bir işletmede nihai ürün için uygun muhafaza şartlarının oluşturulması ve ürünün takip edilebilmesi için uygun depolama sistemini seçmeyi amaçlamışlardır.

Bu bölümde, ele alınan problemlere yönelik, 2022 ile 2025 yılları arasında kapsayan, literatürde gerçekleştirilen güncel çalışmalar araştırılarak sunulmuş ve amaç, karar, yöntem ve bulguları detaylı olarak değerlendirilmiştir. İlgili çalışmaların, odaklandıkları temel problemler ve probleme yönelik çözümlerine ilişkin kapsamlı bir özet Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Literatürdeki çalışmaların, depolama, hat besleme ve taşıma kararlarına yaklaşımları, bu bileşenleri ne şekilde ele aldıkları, hangi yöntemleri kullandıkları ve nasıl sonuçlar elde ettikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler, literatürdeki mevcut sınırlılıkları ve boşlukları belirleyerek bu çalışmanın şekillendirilmesine ve geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

Çizelge 2.1. Literatür araştırması özet

Yazar(lar), (Yıl)	Başlık	Amaç	Alınan Kararlar	Yöntem	Bulgular
Yerlikaya ve Arikan (2022)	Sipariş toplama sistemlerinde üretim planlama ve sınıf temelli depo ürün atama problemi için bütünleşik model önerisi	Depo ürün atama problemi, sınıf temelli depolama politikası	- Depo içi ürün atama problemi için matematiksel model önerisi - Önerilen model ile sabit politikalı model analizi	- Sınıf Tabanlı Depolama Politikası - Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama (MINLP)	Önerilen model, sabit politikalı modele göre alan maliyetinden tasarruf etmiştir.
Erarslan ve Deste (2022)	Depolarda Ürün Atama Problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı: Bir İşletme Uygulaması	Bir işletme deposunda ürün atama problemi için optimizasyon çalışması	- Dikey boyutta ELECTRE TRI ile sınıflandırma - Yatay boyutta TOPSIS, VIKOR ile sıralama	Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (ÇKKV): ELECTRE TRI, TOPSIS, VIKOR	Mevcut depo alanı ve ürün özelliklerine en uygun optimum yerleşim şekli belirlenmiştir.

Çizelge 2.1.(devam) Literatür araştırması özet

Yazar(lar), (Yıl)	Başlık	Amaç	Alınan Kararlar	Yöntem	Bulgular
Hu ve Chuang (2023)	E-commerce warehouse layout optimization: systematic layout planning using a genetic algorithm	E-ticaret depolarında düzeni optimize etmek ve verimliliği artırmak	• Depo yerleşim düzeni optimizasyonu • Taşıma maliyetini minimize etme	• Doğrusal Olmayan Programlama • Genetik Algoritma	Taşıma maliyeti optimizasyondan sonra önemli ölçüde azaltılmıştır.
Özalp vd. (2023)	Ergonomik Riskler İçeren Depo Raf Atama Problemi İçin Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli: Bir Uygulama	Ekmek fırın ekipmanları üreten bir firmada ergonomik riskleri azaltacak bir depo raf atama modeli geliştirilmesi	• Çalışanın üzerindeki ergonomik yükü azaltmak • İşçilik maliyetini azaltmak	• Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) • Çok Kriterli ABC Analizi • İki Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Çalışanın metabolik hızı ve üzerindeki ergonomik riskin azaltılabildiği ve çalışan verimliliğinin artırılabilceği gösterilmiştir.
Çelik vd. (2023)	Veri Madenciliği ve Stok Tutma Süresi Teknikleri ile Depolar için Dinamik Ürün Analizi Modelinin Geliştirilmesi	Çıkış siparişleri baz alınarak dinamik bir ürün analizi modeli geliştirilmesi	• İdeal dönemlerin belirlenmesi • Ürünlerin bekleme sürelerinin hesaplanması • Lokasyonların ürünler ile eşlenmesi • Ürünlerin toplama lokasyonlarını belirleme	• Standart Sapma • Stokta Tutma Süresi Tekniği • Pareto Analizi • Apriori Tekniği	Modüler yapıda dinamik ürün analizi sistemi modülünün geliştirilmesi sağlanarak depo içi verimliliğinde ve maliyetlerinde ortalama azalma sağlanacağı tespit edilmiştir.
Şahinaslan vd. (2023)	Lojistik Depolarda Sipariş Toplama ve Konumlandırmaya Yönelik Yenilikçi Bir Yaklaşım	Depo dolaşım mesafesini azaltacak yenilikçi ve etkin bir depo konumlama yöntemi geliştirilmesi	Depo yerleştirme ile toplama süre ve mesafelerin azaltılması	• Makine Öğrenmesi Algoritmaları • Delphi Metodu • ABC Analizi • Sezgisel Algoritmalar	Giriş çıkış işlemlerinde kat edilen mesafe azalmış ve depo doluluk oranı yükselmiştir. Dinamik sınıf yaklaşımı ile süreden ve alandan kazanç sağlanmıştır.
Demir ve Keskin (2023)	Bir Süpermarket Zincirinde İki Seviyeli Tedarikçi Yönetimli Stok Problemi İçin Etkili Bir Sezgisel Yöntem	Talep değişkenliğinin getirdiği bu olumsuz etkileri minimize eden dağıtım merkezi (DM) sevkiyat planı oluşturulması	• DM'lerin iş yükünün daha dengeli dağıtılması • Talep değişkenliğine bağlı olumsuz etkilerin azaltılması	• Tam Sayılı Doğrusal Programlama • Sezgisel Yöntemler	DM'lerin arz kapasitesinin sınırsız olduğu varsayılarak düzgün (dalgalı olmayan) bir sevkiyat planı oluşturulmuştur.

Çizelge 2.1.(devam) Literatür araştırması özet

Yazar(lar), (Yıl)	Başlık	Amaç	Alınan Kararlar	Yöntem	Bulgular
Şenaras vd. (2023)	Depolama Yeri Atama Problemleri İçin Tavlama Benzetimi	Yarı mamullerin imalat atölyesinde var olan ambarlara montaj hattına taşıma süresini minimum kılacak şekilde atanması	Birim zamanda taşıma mesafesini minimize eden depo yerinin atanması	Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)	Tavlama Benzetimi Yöntemi ile 3303,62 m/saatlik taşıma gerçekleşmiştir.
Kurtay ve Erol (2023)	Mühimmat Geri Dönüşüm Problemi İçin Depo Yer Seçimi ve Dağıtım Ağı Tasarımı	Tersine lojistik sisteminde ürünlerin akışını optimize etmeyi amaçlayan depo yer seçimi ve dağıtım ağı tasarımı	- Tesis kapasite analizi - Aday depo yer seçimi - Dağıtım ağı tasarımı	Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	Depo yerleri, maliyet-etkin, çevreye ve insana yönelik az risk taşıyan şekilde belirlenmiş ve verimsiz yerlerin sayısı azaltılarak verimliliğin artırılması sağlanmıştır.
Duque-Jaramillo vd. (2024)	Warehouse management optimization using a sorting-based slotting approach	SKU özellikleri, depo düzeni ve talebi entegre eden tahsis modeli geliştirilmesi	- Depolama yönetiminin verimliliğini iyileştirmek - Değişikliklere uyarlanan metodoloji geliştirilmesi	- Tam Sayılı Doğrusal Programlama - ABC Classification - Cube per Order Index (COI) - Traveling Salesman Problem (TSP) - Six different slot assignment sequences (SAS)	En uygun yerleştirme yöntemi TSP yöntemi olarak belirlenmiştir.
Xu vd. (2024)	Data-Driven Simulation Methodology For Exploring Optimal Storage Location Assignment Scheme in Warehouses	Depolama Yeri Atama Problemi'ni (SLAP) çözmek için yeni bir veri odaklı simülasyon metodolojisi geliştirilmesi	Korelasyon ve ciro sıklığına dayalı depolama politikası	- Simülasyon - Isı Haritaları	Toplama sıklığının depolama politikası tasarlamada ve sipariş toplama verimliliğini artırmada farklı öğeler arasındaki korelasyondan daha büyük bir rol oynadığı çıkarımı yapılmıştır.

Çizelge 2.1.(devam) Literatür araştırması özet

Yazar(lar), (Yıl)	Başlık	Amaç	Alınan Kararlar	Yöntem	Bulgular
Kalkha vd. (2024)	Enhancing Warehouse Efficiency with Time Series Clustering: A Hybrid Storage Location Assignment Strategy	Değişen ürün hacimleri ve öngörülemeyen talepler nedeniyle yoğunlaşan e-ticaret depolarındaki Depolama Yeri Atama Problemi'nin (SLAP) ele alınması	Sipariş hazırlama ve toplama sürelerinde verimlilik sağlanması	- Zaman Serisi Kümeleme Algoritmaları - Öz-Düzenlemeli Haritalar - Akıllı Depolama Yeri Atama (ISLA) - Kendini Organize Eden Haritalar (SOM) - Dinamik Zaman Bükme Tabanlı K-Ortalamlar (DTW) - Hiyerarşik Kümeleme (AHC)	Sipariş toplama performansında verimlilik artışı gözlemlenmiştir.
Ma vd. (2025)	Research on Storage Location Allocation in Three-Dimensional Automated Warehouse Based on Cargo Damage Control	Depolama tahsisi yoluyla birim kargo kaybını ve istifleyici vinçlerin ortalama seyahat süresini en aza indirmeyi amaçlayan çift amaçlı bir optimizasyon modeli önerisi	- Depolama yeri tahsisini optimize etme - Alan israfını minimize etme - Müşteri taleplerine hızlı yanıt verme - Operasyonel maliyetleri azaltma	- SPEA-II - CPLEX - NSGA-II	SPEA-II algoritmasının depolama tahsis problemlerini çözmedeki etkinliği doğrulanmıştır.
Demirtaş ve Bolahatoğlu (2025)	SWARA-MOORA Yöntemi ile Depolama Sistemi Seçimi	Ürün için uygun şartların oluşturarak takibinin sağlanabilmesi için ideal depolama sistemi seçimi	Alternatifler arasında en ideal depolama sisteminin seçilmesi	- Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) - Çok Amaçlı Optimizasyon (MOORA)	Kriterlerin ağırlıkları dikkate alınarak alternatifler arasında en ideal depolama sistemi olarak Birim Yük OD/ÇS seçilmiştir.

Bu çalışmada önerilen yöntemlerin ve uygulanan yaklaşımların literatürdeki çalışmalar ile arasındaki farklılıklarının kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla Çizelge 2.2’de bir karşılaştırma sunulmuştur. Bu karşılaştırma ile hem literatürdeki yöntemlerin bakış açısı ve sınırlamaları hem de bu çalışmanın özgün ve yenilikçi bakış açısını vurgulayarak çalışmanın literatürdeki boşluklara sağlayacağı katkıyı göstermektedir.

Çizelge 2.2. Önerilen çalışmanın literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması

Yazar, Yıl	DEPOLAMA		TAŞIMA	DAĞITIM		
	Depo Yerleşim ¹	Ürün Konumlama	Taşıma Aracı Kararları ²	Ara Depo Kullanımı ³	Ürün Akış Yönü	Akış Tipi
Yerlikaya ve Arikan (2022)		X			Üretim Merkezi → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Erarslan ve Deste (2022)		X			Üretim Merkezi → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Hu ve Chuang (2023)	X	X		X	Üretim Merkezi → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Özalp vd. (2023)	X	X			Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Çelik vd. (2023)	X	X			Üretim Merkezi → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Şahinaslan vd. (2023)	X	X			Üretim Merkezi → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Demir ve Keskin (2023)	X		X		Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Şenaras vd. (2023)		X			Depo → Üretim Merkezi	Tesis İçi
Duque-Jaramillo vd. (2024)		X			Üretim Merkezi → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Xu vd. (2024)		X			Üretim Merkezi → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Kalkha vd. (2024)		X			Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Ma vd. (2025)		X			Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Kurtay ve Erol (2023)	X	X		X	Saha → Depo → Teslim Noktası	Tesis Dışı
Demirtaş ve Bolahatoğlu (2025)	X				Üretim Merkezi → Depo	Tesis İçi
Önerilen Çalışma (2025)	X	X	X	X	Depo → Üretim Merkezi	Tesis İçi

¹ Yeni bir depo kurulması, depo içi sınıf yerleşim bölgesi seçimi, mevcut deponun yeniden tasarlanması işlemlerini ifade etmektedir.

² Lojistik sürecinde, birden fazla seçenek arasından, ilgili noktalara malzeme tedarikini sağlayacak olan taşıma aracının seçilmesi ve aracın depolar ve istasyonlar arasında yapacağı tur sayısı kararlarını ifade etmektedir.

³ Lojistik sürecinde tedariki yönlendirme, geçici stok, denge görevi gören birden fazla depo veya ara lojistik noktanın konumlandığı durumu ifade etmektedir.

Literatür, depolama yönetimi ve optimizasyonu için çok çeşitli yöntemler ve politikalar geliştirilmiş olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte:

1. Depolama süreçlerinin ara lojistik nokta tabanlı optimizasyonu konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.
2. Sınıf Tabanlı Depolama Politikası üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır.
3. Taşıma aracı belirleme ve tur sayısı kararları konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır.
4. Çoğu çalışmada dış tedarik süreçleri ele alınmış olup tesis içi tedarik üzerinde yapılan çalışmalar sınırlıdır.

Çalışma, depolama süreçleriyle tesis içi süreçlerin entegrasyonunu sağlayarak literatürdeki boşlukları doldurmayı ve optimize bir depolama politikası sunmayı hedeflemektedir.

3. PROBLEM TANIMI VE ÇALIŞMA KAPSAMI

Günümüzde tesis içi lojistik süreçlerde etkinliğin artırılması amacıyla modern depolama politikalarının ve optimizasyon tekniklerinin uygulanması büyük bir önem taşımaktadır.

Literatürde, depolama politikalarına yönelik birçok yaklaşım geliştirilmiş ve bu politikaların farklı uygulamalar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ancak depo yönetiminin ara nokta tabanlı lojistik verimliliği artıracak şekilde ele alınması, üretimde ihtiyaç duyulan parçaların depo içerisinde sınıf tabanlı konumlandırılması, ve taşıma kararlarının birlikte alınarak maliyet odaklı entegre bir model geliştirilmesi konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

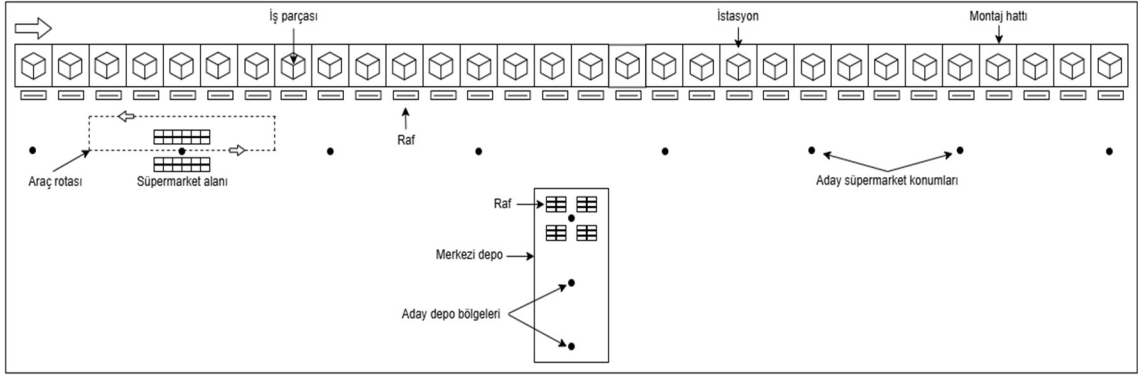
3.1. Sistem Tanımı ve Süreç Akışı

Çalışmada ele alınan sistem, parçaların tesis içi depolama ve hat besleme süreçlerine yönelik kararları kapsamaktadır. İncelenen tesis ortamında, kendi içerisinde merkezi bir depo, süpermarketler ve ardışık istasyonlardan oluşan I-tipi düz bir montaj hattı bulunmaktadır. Tesiste, parçalar merkezi depoda muhafaza edilmekte ve ihtiyaç doğrultusunda süpermarketler aracılığıyla istasyonlara taşınmaktadır. Dolayısıyla sistem, merkezi depo, süpermarketler ve istasyonlar arasında gerçekleşen depolama taşıma faaliyetlerinden oluşmaktadır.

Merkezi depo, kendi içerisinde birden fazla bölgeden oluşmaktadır. Her depo bölgesi, birbiri ile aynı belirli bir kapasiteye sahiptir. Montaj hattındaki istasyonlar tarafından talep edilen parçalar depodaki ilgili bölümlerden alınarak, istasyonlara iletilmek üzere ilgili süpermarketlere aktarılmaktadır.

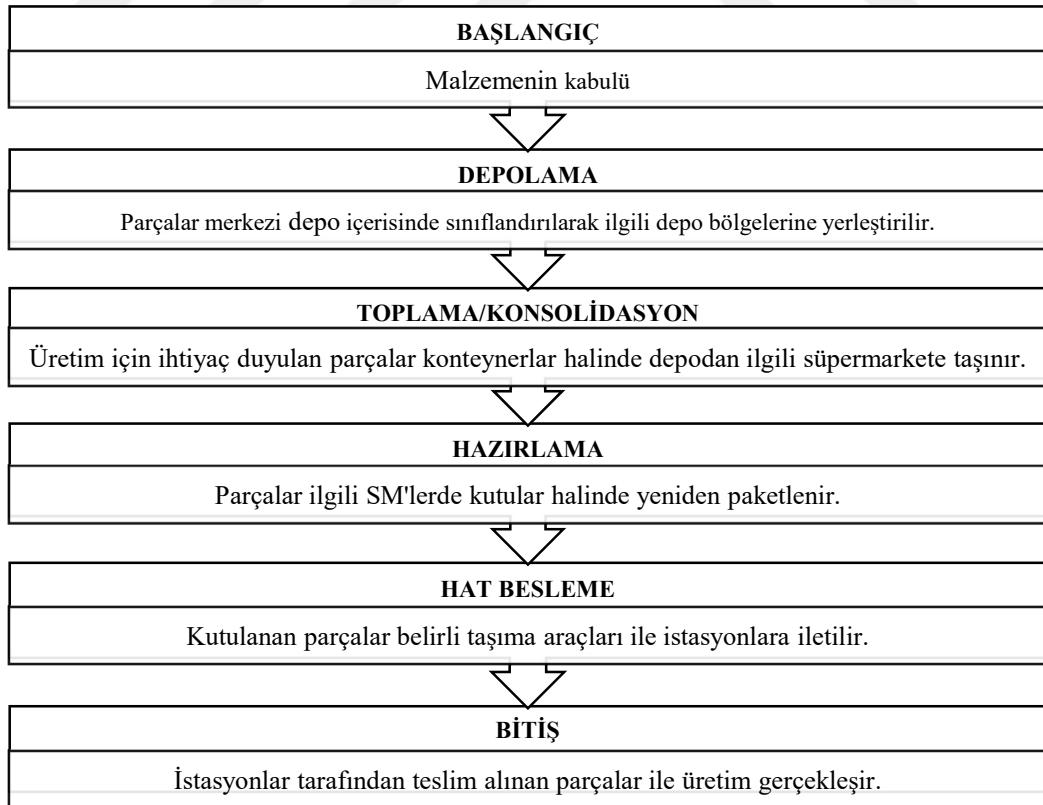
Süpermarketler, merkezi depodan alınan parçaları ilgili istasyonlara ileten ara nokta tabanlı bir dağıtım merkezi görevi görmektedir. Süpermarketlerden istasyonlara parça tedariki her süpermarkete atanan belirli araç türleri ile gerçekleştirilmekte ve taşıma faaliyetleri istasyonların taleplerine planlanmaktadır. Taşıma faaliyetlerini gerçekleştiren araçlar, farklı kapasite ve maliyet özelliklerine sahip olmakla birlikte atandıkları süpermarket-istasyon bloklarına hizmet vermektedir.

Mevcut tesis düzeni için Şahin vd. (2024)'nin çalışmalarının başlangıç noktasında örnek aldığı, Nourmohammadi vd. (2019)'nin çalışmasında yer alan mevcut tesis düzeni ele alınmıştır. Mevcut düzen, probleme yönelik merkezi depo ve depo içi bölgeler eklenerek geliştirilmiş olup Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tesis içi yerleşim düzeni

Sistemdeki parça tedariki, ilgili parçaların talepler doğrultusunda merkezi depodaki ilgili bölgelerden alınmasıyla başlamaktadır. Ardından parçaların ilgili süpermarketlere taşınması ve son olarak montaj hattında yer alan istasyonlara teslim edilmesi ile devam etmektedir. Tesis içerisindeki parça tedarik süreçleri Şekil 3.2’de gösterilen süreç akış şemasındaki şekilde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.2. Tesis içi parça tedariki süreci

Şemadan da anlaşılacağı üzere üretim sürecinin ilk aşaması parçaların depodan tedarik edilmesi ile başlamaktadır. Dolayısıyla bu aşamada yaşanacak olan en ufak problem sürecin diğer aşamalarında da aksamaya ve verimliliğin düşmesine neden olacaktır. Bu durum, çalışmanın önemini vurgulamaktadır.

3.2. Problemin Tanımı

Çalışmada, öncelikli olarak parçaların merkezi depo içerisinde A, B ve C sınıflarına, çevrim miktarlarına göre sınıf tabanlı olarak atanması ve ardından bu sınıfların, merkezi depo içerisinde depo aday bölgesi olarak belirlenen (j_1 , j_2 ve j_3) 3 konumdan hangisine tahsis edileceği kararları modelde çözümlenmektedir. SM'ler bu merkezi depodaki ilgili bölümde yer alan sınıflardan beslenmekte ve taşıma araçları ile kendilerine atanan istasyon bloklarına parçaların dağıtımı yapılmaktadır. Bu sebeple, tesis içi süreçlerin verimli olarak sürdürülebilmesi için;

- (i) parçaların, merkezi depo içerisinde hangi sınıflarda depolanacağını belirlenmesi,
- (ii) sınıfların merkezi depo içerisinde yer alan depo bölgelerinden hangisine atanacağını belirlenmesi,
- (iii) hangi SM'lerin tesis içerisinde hangi aday konumlarda açılacağını belirlenmesi,
- (iv) kurulacak SM sayısının belirlenmesi,
- (v) kurulan her SM'in hangi ardışık istasyon bloklarını besleyeceğini belirlenmesi,
- (vi) SM ile istasyon blokları arasında parça besleme işleminin hangi taşıma aracı ile gerçekleştirileceğinin belirlenmesi,
- (vii) merkezi depo ile SM arası parça akış miktarı ve buna bağlı olarak çevrim sayısının belirlenmesi,
- (viii) SM ile İstasyon arası taşıma aracının/araçlarının yapacağı tur sayısının ve açılacak SM'lerin doluluk oranlarının belirlenmesi

gibi kararların ele alınması gerekmektedir.

Bu doğrultuda, problem, tesis içi depolama ve lojistik süreçlerinin bütünleşik olarak yönetilmesini ve depolama, taşıma, tur, kurulum maliyetlerinin çeşitli sınırlamalar altında optimize edilmesini kapsamaktadır.

Problemde, maliyetin minimize edilmesinin yanında, etkin SM ve depo yerleşimi, kapasite yönetimi, parçaların montaj hattına tam zamanında ve eksiksiz (JIT) şekilde temin edilmesi ve bu etmenlerin lojistik süreçlerdeki etkisinin analiz edilmesi de oldukça önem taşımaktadır.

3.3. Problemin Kapsamı ve Varsayımlar

Bu çalışmada, tesis içi üretim sürecinde depolama, taşıma ve hat besleme süreçleri bütünleşik olarak ele alınmaktadır. Problem kapsamında, parçalar talep edilme miktarlarına göre belirli sınıflara ayrılarak merkezi depo içerisindeki bölgelere atanmaktadır. Ara dağıtım sürecini üstlenecek olan süpermarketlerin tesis içerisinde yerleştirileceği konumlar ve sistemin optimum düzeyde yürütülebilmesi için kurulması gereken süpermarket sayısına karar verilmektedir. Süpermarketlerden montaj hattındaki ilgili istasyon bloklarına parça akışının gerçekleştirileceği taşıma araçları türü ve sayısı kararları birlikte ele alınmaktadır. Nihayetinde tüm bu kararlar alınırken toplam maliyeti etkileyen depolama alanı kullanımına ve taşıma faaliyetlerine yönelik maliyetler en aza indirgenmektedir.

Çalışma deterministik bir yapıda ele alınmıştır. İstasyonların parça talepleri, depo bölgeleri ve aday süpermarket konum bilgileri ile süpermarket ve taşıma aracı kapasitelerinin planlama dönemi boyunca sabit olduğu varsayılmıştır.

Taşıma mesafeleri, depo–süpermarket–istasyon blokları arasındaki yerleşim bilgisine bağlı olarak sabit kabul edilmiş; araç tur sayıları ve taşıma maliyetleri bu mesafeler ve talep miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Süpermarketlerden istasyonlara gerçekleştirilen parça tedariki faaliyetlerinin, istasyon taleplerinin tamamını karşılayacak şekilde yürütüldüğü kabul edilmiştir.

Kullanılan bu deterministik kabul, matematiksel modelin çözümünü ve test edilebilirliğini mümkün kılmakla birlikte, gerçek bir uygulamada ortaya çıkabilecek talep, kapasite gibi operasyonel değişkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle matematiksel modelin sonuçları belirlenen varsayımlar altında geçerli olup, farklı senaryolar söz konusu olduğunda elde edilen veriler değişkenlik gösterebilir. Bu durum, çalışmanın temel sınırlılığını ifade etmekte olup, gelecek çalışmalarda daha esnek ve çok dönemli yaklaşımlar değerlendirilebilir.

Tesis içi lojistik süreçlerin bütünleşik optimizasyonu için karar değişkenleri; istasyonları besleyecek süpermarketlerin belirlenmesi/atanması, depo içi bölgelere sınıf bazlı parça yerleşimleri, taşıma işlemini gerçekleştirecek araç tipi ve buna bağlı tur sayısı kararlarını kapsamaktadır. Oluşturulan matematiksel modelde toplam maliyetler (taşıma maliyetleri, sabit maliyetler ve depo maliyetleri) minimize edilmektedir.

4. METODOLOJİ

Geliştirilen entegre optimizasyon modeli setler, parametreler ve karar değişkenleri ile yapılandırılmıştır. Setler; istasyonlar, süpermarketler, araç türleri, parçalar ve merkezi depo bölgelerini kapsamaktadır. Parametreler; mesafe, maliyet, kapasite, koordinat, talep miktarları ve sınıf dağılımlarını kapsamaktadır. Karar değişkenleri ise; her süpermarketin besleyeceği istasyon bloklarını, sınıfların merkezi depo içerisindeki bölgelere atamalarını, taşıma aracı tipi ve bu araçların yapacağı tur sayılarını, SM kapasitelerini ve sınıf bazlı yenileme çevrimlerini kapsamaktadır.

Etkin bir depo yönetimi, malzeme tedarikinde lojistik işlemlerinin minimum maliyetle karşılanabilmesi durumunu da kapsamaktadır. Bu nedenle depo yönetimi sürecine taşıma probleminin entegre edilmesi bu çalışmanın bu konu kapsamında yapılan benzer araştırmalara ve uygulamalara göre fark yaratacağı unsurlardan biridir.

Modelde, sistemde yer alan operasyonel kısıtlar detaylı olarak tanımlanmıştır. Bu kısıtlar arasında;

- her istasyon aralığı bir blok tarafından kapsanmaktadır,
- her süpermarket en fazla bir istasyon aralığını (blok) beslemektedir,
- süpermarketlere atanan toplam parça miktarı ilgili süpermarketin kapasitesini aşmamalıdır,
- her sınıf merkezi depo içerisinde yer alan bölgelerden birine atanmalıdır.
- sınıfların merkezi depo içerisinde yer alan bölgelere atamaları bölgelerin kapasitelerine uygun şekilde yapılmalıdır,
- taşıma aracı tur sayılarına bağlı taşıma kapasitesinin aşılmaması sağlanmalıdır,
- süpermarketlere iletilen sınıf bazlı akışların merkezi depo-süpermarket arasındaki mesafeler üzerinden doğrusallaştırılması gerekmektedir,
- sınıf bazlı yenileme çevrimlerinin minimum gereklilikleri belirlenmelidir

yer almaktadır.

Amaç fonksiyonu, taşıma maliyetleri, sabit maliyetler ve depo maliyetleri olmak üzere bu üç toplam maliyeti minimize edecek şekilde kurgulanmıştır. Çözümün üretilebilirliği ve uygulanabilirliği açısından;

- talepler planlama dönemi için istasyon blokları ve sınıflar bazında bilinir,
- montaj hattında yer alan k istasyonlar ardışık şekilde sıralıdır ve koordinatları (x_k, y_k) , süpermarket s aday konumlarının koordinatları (x_s, y_s) ve aday j depo

bölgelerinin koordinatları (x_j, y_j) ile tanımlanır. j depo bölgesi ile SM arasındaki etkin mesafe (Dd_{js}) Eşitlik (4.1)'deki şekilde hesaplanır,

$$Dd_{js} = |x_j - x_s| + |y_j - y_s| + 1 \quad (4.1)$$

- bir taşıma aracının, süpermarket ile ilgili istasyon bloğu arasında kat ettiği etkin mesafe (d_{skl}) Eşitlik (4.2)'deki şekilde hesaplanır,

$$d_{skl} = |x_s - x_k| + |y_s - y_k| + |x_s - x_l| + |y_s - y_l| + (1 - k) \quad (4.2)$$

- araç tiplerinin maliyet ve kapasite verileri işletme verisinden alınır,
- SM kapasiteleri ve merkezi depo bölge kapasiteleri sınıf bazında önceden bilinir.

Bu varsayımlar, tipik planlama girdilerine karşılık gelmektedir. Model ölçeklendikçe verilerin detay düzeyi artırılabilir.

Problemin çözümüne yönelik önerilen matematiksel modelde, talep, kapasite ve mesafe parametreleri deterministik olarak kabul edilmektedir. Başka bir ifadeyle, talep, kapasite ve maliyet parametrelerinin önceden bilindiği ve çalışma süresince değişkenlik göstermediği varsayılmıştır. Bu varsayım, matematiksel modelin çözülebilir, uygulanabilir ve yorumlanabilir olmasını sağlamakla birlikte beklenmeyen talep değişimleri veya ortaya çıkabilecek beklenmeyen değişimleri dikkate almamaktadır. Özetle model, öngörülebilir koşullar altında test edilmiş olup, çeşitli değişkenler veya belirsizlik içeren durumlar için ihtiyat payı içermemektedir.

4.1. ABC Sınıflandırma Modeli

Bu çalışmada parçaların depodaki erişilebilirliğini artırmak amacıyla sınıf tabanlı depolama yaklaşımı benimsenmiş ve parçalar A, B ve C sınıflarına atanmıştır. Sınıf tabanlı depolama politikasında her parça için toplam talep miktarı ve maksimum stok seviyesi belirleyici parametrelerdir. Toplam talep miktarı, parçanın istasyonlar tarafından toplam talep edilme miktarını; maksimum stok seviyesi ise parçanın ihtiyaç duyduğu en yüksek depolama gereksinimini ifade etmektedir.

Parçaların sınıflandırılabilmesi için hangi parçaların daha sık devir yaptığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle parça başına düşen devir oranı (θ_p) Eşitlik (4.3)'te hesaplanmıştır.

$$\theta_p = \frac{T_p}{N_p} \quad (4.3)$$

Burada; p , parça sayısını ($p \in P$, $P = 1, \dots, 50$) ifade etmektedir. Parça başına düşen erişim oranı θ_p ile, toplam parça hareketi (Turnover), T_p ile ve maksimum stok seviyesi (Max Storage Requirement) ise N_p ile ifade edilmektedir.

Devir oranı yüksek olan parçalar verimliliğin artırılması için depoda daha kolay erişilebilir alanlara yerleştirilmelidir. Bu nedenle parçaların devir oranları (θ_j) büyükten küçükçe Eşitlik (4.4)'teki şekilde sıralanır.

$$\theta_{(1)} \geq \theta_{(2)} \geq \dots \geq \theta_{(|P|)} \quad (4.4)$$

Sınıf Tabanlı Depolama Politikası'nda parçaların sınıflara ayrılması için yalnızca belirli bir oran değil, bu orandaki erişim değerlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bunun için her parçanın toplam erişim oranı içerisindeki katkısının belirlenebilmesi için kümülatif değerlerin Eşitlik (4.5)'teki şekilde ifade edilmesi gerekmektedir.

$$A_j = \sum_{a=1}^j \theta_k \quad (4.5)$$

Burada A_j , j . sıradaki parçanın kümülatif erişilebilirlik değerini ifade etmektedir.

Kümülatif erişilebilirlik değerlerinin Eşitlik (4.6)'daki şekilde normalize edilmesi gerekmektedir. Böylece parçaların depolama alanına duyduğu ihtiyaç oranı belirlenmektedir.

$$\Phi_j = \frac{A_j}{\sum_{p=1}^P \theta_p} \quad (4.6)$$

Burada Φ_j , normalize kümülatif erişilebilirlik değerini ifade etmektedir.

Sınıf Tabanlı Depolama Politikası'nda her parça yalnızca tek bir sınıfa atanabilir. Bunun koşulu sağlanabilmesi için aşağıda belirtilen karar değişkeni dikkate alınmış ve Eşitlik (4.7) kullanılmıştır.

$$\sum_{c \in C} x_{pc} = 1 \quad \forall p \in P \quad (4.7)$$

$$x_{pc} = \begin{cases} 1, & \text{parça } p, \text{ sınıf } c' \text{ ye atandı} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Burada A, B ve C sınıfları, c ile temsil edilmektedir.

Her sınıf için belirli bir kapasite ayrılmıştır. Bu kapasite oranları Çizelge 5.3'te belirtilmektedir. Kapasiteler, A sınıfı parçaların %20'sini, B sınıfı parçaların %30'unu, C sınıfı ise parçaların %50'sini kapsayacak şekilde deterministik olarak belirlenmiştir.

Parçalar Eşitlik (4.8) kullanılarak her bölgenin kapasitesi (w_c) dikkate alınarak yerleştirilmiştir.

$$\sum_{p \in P} x_{pc} = w_c \cdot |P| \quad (4.8)$$

Sonuç olarak yüksek devire sahip parçaların daha erişilebilir bölümlere yerleştirilmesi amacıyla Eşitlik (4.9)'da belirtilen matematiksel model kullanılarak parçalar, ilgili sınıflara atanmıştır.

$$\text{Max} \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} w_c \cdot \theta_p \cdot x_{pc} \quad (4.9)$$

4.2. Önerilen Matematiksel Model

Bu bölümde, depolama, hat besleme ve taşıma süreçlerini bütünleşik olarak ele alan matematiksel modelin detayları sunulmaktadır. Problemin çözümüne yönelik oluşturulan modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları bu bölümde yer almakta olup, matematiksel modele ilişkin notasyonlar Çizelge 4.1'de detaylı olarak sunulmaktadır.

Çizelge 4.1. Matematiksel modelin notasyonları

<i>İndisler</i>	
k, l, u	istasyonlar ($k, l, u = 1, \dots, I$)
s	süpermarketler ($s = 1, \dots, S$)
e	taşıma aracı tipi ($e = 1, \dots, E$)
p	parçalar ($p = 1, \dots, P$)
c	sınıflar (A, B, C)
j	depo-bölge eşlemesi (depo bölgeleri) ($j = 1, \dots, J$)
<i>Parametreler</i>	
<i>Konum Parametreleri</i>	
x_k, y_k	istasyon k için x ve y koordinatları
x_s, y_s	süpermarket s için x ve y koordinatları
x_j, y_j	depo bölgesi j için x ve y koordinatları
<i>Taşıma Aracı Parametreleri</i>	
q_e	e taşıma aracının tur başına kutu kapasitesi
p_e	e taşıma aracının tur başına sabit maliyeti
c_e	e taşıma aracının mesafe başına kutu taşıma maliyeti
<i>Ürün ve Talep Parametreleri</i>	
pr_{pc}	parça p ile c sınıfı eşleşmesi
dem_{pk}	istasyon k 'nın parça p talebi
tds_{kc}	istasyon k 'nın sınıf c talebi
td_{klc}	blok $k..l$ 'nin sınıf c talebi
tdt_{kl}	blok $k..l$ 'nin toplam talebi
sd_k	istasyon k 'nın toplam talebi
$tdem_{kl}$	blok $k..l$ 'nin kutu bazlı toplam talebi
U_c	lineerizasyon için toplam sınıf c hacmi
tdp_p	toplam parça p talebi

Çizelge 4.1.(devam) Matematiksel modelin notasyonları

<i>Mesafe Parametreleri</i>	
d_{skl}	istasyon k 'dan l 'ye kadar olan tüm istasyonlara süpermarket s 'den parça tedariki için kat edilen toplam mesafe
Dd_{js}	depo bölgesi j ile süpermarket s arası mesafe
<i>Depo ve SM Parametreleri</i>	
$cdep$	depo-SM mesafe başına kutu maliyeti
Kc	depo-SM çevrim başına kurulum/elleçleme maliyeti
$Qdep$	depo-SM kutu başına çevrim kapasitesi
β	SM-istasyon turlarında JIT ağırlık katsayısı
cd_j	j depo bölgesinin kapasitesi
H	süpermarket s üst kapasite sınırı
T	açılacak maksimum süpermarket s sayısı
rc	süpermarket kutu başına alan maliyeti
IC	süpermarket kurulum maliyeti
<i>Karar Değişkenleri</i>	
F_{sc}	depo-SM arası sınıf c akışı (kutu)
W_{scj}	doğrusallaştırılmış değişken: $f(s,c) * x(c,j)$
q_{se}	süpermarket s 'ye atanan araç e 'nin SM- istasyon arası tur sayısı
n_{sc}	süpermarket s için sınıf c yenileme çevrim sayısı
x_{cj}	class c , depo bölgesi j 'ye atanıyorsa, 1; aksi halde, 0
NS	kurulan süpermarket sayısı
bl_s	süpermarket s bir blok seçiyorsa, 1; aksi halde 0
cs_s	süpermarket s kapasitesi (kutu)
y_{sm}	süpermarket s açıldıysa, 1; aksi halde, 0
z_{skle}	süpermarket s , araç e ile blok $k..l$ 'yi besliyorsa, 1; aksi halde, 0

Montaj sistemlerinde, depo yönetimi ve lojistik süreçlerini bütünleşik olarak optimize etmeyi amaçlayan matematiksel model, karmaşık tam sayılı programlama modeli ile eşitlikler kullanılarak şu şekilde formüle edilmiştir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z = & \sum_s \sum_e \sum_{k \leq l} (z_{skle} \times tdt_{kl} \times d_{skl} \times c_e) + \sum_s \sum_e q_{se} \times p_e \\
 & + \sum_s \sum_c \sum_j cdep \times W_{scj} \times Dd_{js} + \sum_s \sum_c Kc \times n_{sc} + \sum_s rc \times cs_s + \sum_s IC \times y_{sm}
 \end{aligned} \quad (4.10)$$

Modelde, Eşitlik (4.10) ile gösterilen amaç fonksiyonu, taşıma maliyetleri, sabit maliyetler ve depo maliyetleri olmak üzere üç maliyet kaleminden oluşmakta olup toplam maliyetleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

$$\sum_s^S \sum_e^E \sum_{k \leq u \leq l}^I z_{skle} = 1, \quad \forall_u \in I \quad (4.11)$$

Eşitlik (4.11) ile gösterilen kısıt, her istasyon aralığının yalnızca bir blok tarafından kapsanması gerekliliğini ifade etmektedir.

$$\sum_e^E \sum_{k \leq l}^I z_{skle} \leq 1, \quad \forall_s \in S \quad (4.12)$$

Eşitlik (4.12) ile gösterilen kısıt, her süpermarketin yalnızca bir istasyon aralığını (blok) beslemesi gerekliliğini ifade etmektedir.

$$\sum_c^C F_{sc} \leq cs_s, \quad \forall_s \in S \quad (4.13)$$

Eşitlik (4.13) ile gösterilen kısıt, atanan toplam akışın, süpermarket kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır.

$$cs_s \leq H, \quad \forall_s \in S \quad (4.14)$$

Eşitlik (4.14) ile gösterilen kısıt, her süpermarketin kapasitesinin tanımlanmış olan maksimum kapasite sınırını aşmaması gerekliliğini ifade etmektedir.

$$\sum_s^S \sum_e^E \sum_{k \leq l}^I z_{skle} = NS, \quad 1 \leq NS \leq T \quad (4.15)$$

Eşitlik (4.15) ile gösterilen kısıt, her süpermarkete atanabilecek maksimum blok sayısını ve kurulabilecek maksimum süpermarket sayısını sınırlamaktadır. Seçilen blok sayısı ve kurulan süpermarket sayısının maksimum sınırı aşamayacağını ifade etmektedir.

$$q_{se} \geq \frac{1}{q_e} \times \left(\sum_{k \leq l}^I \left(\sum_c^C \beta \times td_{klc} \right) \times z_{skle} \right), \quad \forall_s \in S, \quad \forall_e \in E \quad (4.16)$$

Eşitlik (4.16) ile gösterilen kısıt, her süpermarketin kendisine atanan hizmet vereceği bloklara taşınacak parçaların, taşıma aracı kapasitesini dikkate alarak taşınabilmesi için gereken minimum tur sayısını ifade etmektedir.

$$\sum_j^J x_{cj} = 1, \quad \forall c \in C \quad (4.17)$$

Eşitlik (4.17) ile gösterilen kısıt, her sınıfın bir j depo bölgesine atanması gerektiğini ifade etmektedir.

$$\sum_c^C \left(\sum_p^P tdp_p \right) \times x_{cj} \leq cd_j, \quad \forall j \in J \quad (4.18)$$

Eşitlik (4.18) ile gösterilen kısıt, j depo her bir sınıfın her bir parçanın toplam talebi ile birlikte hesaplanarak j depo bölgesine atanan sınıf-parça miktarlarının toplam j depo bölgesi kapasitesini aşmaması gerektiğini ifade etmektedir.

$$n_{sc} \geq \frac{F_{sc}}{Q_{dep_c}}, \quad \forall_s \in S, \quad \forall_c \in C \quad (4.19)$$

Eşitlik (4.19) ile gösterilen kısıt, ihtiyaç duyulan parça talebini karşılamak için ilgili parçaların bulunduğu hep bir sınıf ile süpermarket arasında ihtiyaç duyulan tur sayısını ifade etmektedir.

$$F_{sc} = \sum_e^E \sum_{k \leq l}^I td_{klc} \times z_{skle}, \quad \forall_s \in S, \quad \forall_c \in C \quad (4.20)$$

Eşitlik (4.20) ile gösterilen kısıt, her süpermarketin toplam parça akışını ifade etmektedir. Her süpermarketin aldığı toplam akış miktarı kendisine atanan istasyon bloklarındaki talep miktarına göre hesaplanmaktadır.

$$\sum_k^I \sum_l^I \sum_e^E z_{skle} \leq y_{sm}, \quad \forall_s \in S \quad (4.21)$$

Eşitlik (4.21) ile gösterilen kısıt, her süpermarketin bloklara hizmet vermesine yalnızca açıldığı durumda izin vermektedir. Her süpermarket için en fazla 1 blok seçilebilmektedir.

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel model detaylı bir şekilde açıklanmış ve modelin içerdiği parametreler, karar değişkenleri ve kısıtlar detaylı şekilde sunulmuştur.

4.3. Modelleme Tercihleri ve Doğrusallaştırmalar

Geliştirilen matematiksel modelde yer alan sınıf bazlı akışlar, depo ile süpermarket arası akış, süpermarket ile istasyonlar arası akış gibi karar değişkenlerinin çarpımı durumunda olması nedeniyle, modeli doğrusal olmayan bir yapıya dönüştürmektedir.

$$W_{scj} \leq F_{sc}, \quad \forall s \in S, \quad \forall c \in C, \quad \forall j \in J \quad (4.22)$$

$$W_{scj} \leq U_c \times x_{cj}, \quad \forall s \in S, \quad \forall c \in C, \quad \forall j \in J$$

$$W_{scj} \geq F_{sc} - U_c \times (1 - x_{cj}), \quad \forall s \in S, \quad \forall c \in C, \quad \forall j \in J$$

Modelin çözülebilirliğini artırmak ve daha büyük ölçekli verilerle çözüm süresini yönetebilmek amacıyla, Eşitlik (4.22) ile gösterilen kısıt kullanılarak, doğrusal olmayan (nonlinear) karmaşık modelin doğrusallaştırılmasını sağlamaktadır.

Belirtilen kısıt, sürekli akışta etkili olan ikili karar değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki kuran Big-M tabanlı bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım sayesinde, sistemde kullanılmayan depo bölgesi, süpermarket bağlantıları üzerinden bir akış oluşmasının önüne geçilmiştir.

4.4. Çözüm Yaklaşımı ve Çözücü Ayarları

Geliştirilen matematiksel model, GAMS programı üzerinde tasarlanmış ve karma tam sayılı programlama (MIP) yöntemiyle ve CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür.

Modelde taktik (sınıf ve depo bölgesi atamaları, kurulacak süpermarket seçimi ve konumlarının belirlenmesi) ve operasyonel (taşıma aracı seçimi ve yapılması gereken tur sayıları) kararları eş zamanlı ele alınmıştır. Çözücü varsayılan ayarlarla optimuma ulaşmıştır.

4.5. Deney Tasarımı ve Senaryo Kurgusu

Bu çalışmada, önerilen matematiksel modelin performansını ve karar yapısını değerlendirmek amacıyla baz (referans) senaryo, alternatif senaryo ve duyarlılık analizleri olmak üzere üç katmanlı bir deney tasarımı yapısı kurgulanmıştır.

Senaryo kurgusu, farklı depolama politikalarının çözüm üzerindeki etkisini karşılaştırmalı olarak ele almaktadır. Çalışmada baz (referans) senaryo olarak sınıf tabanlı

depolama politikası esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, alternatif senaryo uygulandığında elde edilen parametre değişimlerinin yorumlanmasında temel alınmıştır.

Alternatif senaryoda, sabit konumlu depolama politikası esas alınmıştır. Bu senaryoda, tüm sistem koşulları aynı tutulmuş olup yalnızca farklı depolama koşullarının sistemin ve modelin performansına etkisinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Bunlara ek olarak, geliştirilen matematiksel modelin duyarlılığını ve uygulanabilirliğini test etmek amacıyla, bir dizi duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, merkezi depo içerisindeki bölgelerin kapasiteleri, taşıma aracı sabit maliyetleri, taşıma aracı kapasiteleri ve parçaların atandığı A, B ve C sınıflarının kapasiteleri değiştirilerek analizler oluşturulmuştur.

Modelde ele alınan problem boyutlarının değişmesi halinde modelin uyum sağlayabilirliği küçük, orta ve büyük olmak üzere üç farklı boyutta karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Aynı zamanda model, operasyonel ve taktik kararlar altında çözülmüş olup, bütünsel olarak ele alınan kararların, birbiriyle gerçekten etkileşim gösterip göstermediğini ve bütünsel bir yaklaşıma ihtiyaç duyulup duyulmadığını değerlendirmeye yönelik olarak kurgulanmıştır. İlgili senaryo ve analizlere ait sonuçlar beşinci bölümde detaylı olarak sunulmaktadır.

4.6. Performans Ölçütleri

Geliştirilen matematiksel modelin, oluşturulan senaryolar ve duyarlılık analizleriyle değerlendirilmesi amacıyla toplam maliyet ve çözüm süresi olmak üzere iki performans ölçütü kullanılmıştır.

Toplam Maliyet, geliştirilen modelin amaç fonksiyonunda, toplam maliyet değeri sistem performansının ölçülmesinde temel olarak ele alınmaktadır. Toplam maliyet taşıma maliyetleri, sabit maliyetler ve depo maliyetlerinden oluşmaktadır.

Çözüm Süresi, gerçekleştirilen duyarlılık analizleri için modelin çözüm performansını ölçmek amacıyla çözücü tarafından elde edilen çözüm süreleri performans ölçütü olarak ele alınmaktadır.

5. UYGULAMA

Bu bölümde, modelin girdisi olan veri setleri ve bu veriler kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Öncelikle modelde kullanılan veri setleri ve parametreler tanıtılmakta, ardından deney tasarımı ve senaryoların uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlar ve sonuçların karşılaştırmalı analizleri yer almaktadır.

5.1. Girdi Verileri ve Parametreler

Söz konusu tesiste, I-tipi montaj hattında 30 adet ardışık istasyon ve bu istasyonları besleyecek süpermarketlerin yerleştirilmesi amacıyla 8 adet aday süpermarket konumu bulunmaktadır. İstasyonların parça talepleri, A, B ve C olmak üzere üç bölgeye ayrılmış olan merkezi bir depodan, ara dağıtım noktaları olan süpermarketler aracılığıyla 3 farklı taşıma aracı kullanılarak karşılanmaktadır.

İstasyonların parça talepleri, aday süpermarket ve depo bölgesi koordinatları Ekler bölümünde, problemle ilgili parametreler ise Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

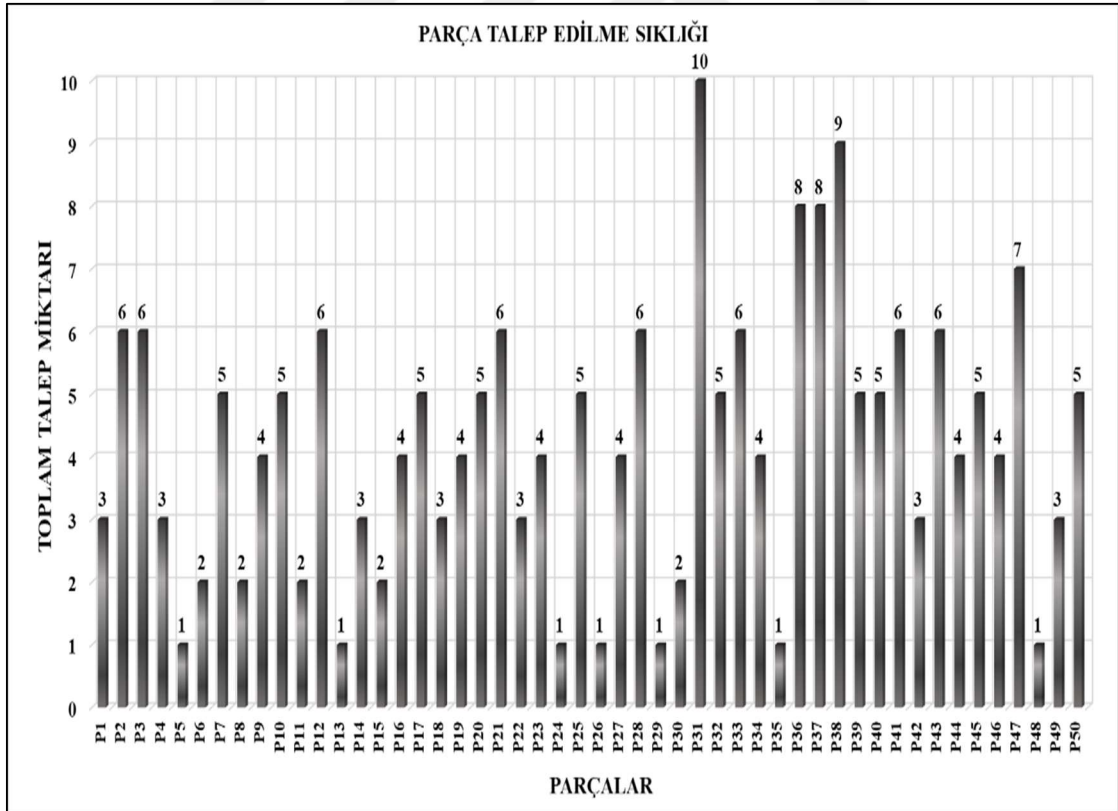
Çizelge 5.1. Probleme ait parametre değerleri

Parametreler	Değer
İstasyon sayısı (I)	30
Kurulabilecek maksimum süpermarket sayısı (S)	8
Taşıma aracı türü (E)	3
Parça sayısı (P)	50
Merkezi depo bölge sayısı ($j1, j2, j3$)	3
Maksimum süpermarket kapasitesi (H)	100
Depo-SM çevrim kapasitesi (kutu/çevrim) (Q_{dep})	30
<i>Maliyet Parametreleri</i>	
Süpermarket birim kurulum maliyeti (IC)	1.000
Depo-SM arası değişken maliyet (kutu×mesafe) (c_{dep})	2,0
Depo-SM çevrimi başına kurulum/elleçleme maliyeti (Kc)	5,0
Süpermarkette kutu başına kapasite/alan maliyeti (rc)	10

Çizelge 5.2. Taşıma araçlarının parametre değerleri

	Tip 1 Araç	Tip 2 Araç	Tip 3 Araç
Kapasite (kutu*mesafe cinsinden) (q_e)	10	30	50
Sabit tur maliyeti (p_e)	100	500	2.000
Değişken birim taşıma maliyeti (c_e)	3	2	1

İstasyonlarda kullanılacak parçaların talep sıklıkları Şekil 5.1’de görüldüğü şekilde değişkenlik göstermekte olduğundan, her parça bu durum dikkate alınarak kendilerine ait bir sınıfa (A, B, C) atanacaktır. Bunun için, Sınıf Tabanlı Depolama Politikası kullanılmıştır. Sınıflandırılmış depolama düzeni sayesinde parçaların, talep düzeyine göre sınıflandırılarak daha erişilebilir olması ve istasyon taleplerinin hızlı bir şekilde karşılanması amaçlanmıştır.



Şekil 5.1. Parçaların talep edilme sıklığı grafiği

Problemin çözümünde öncelikle, Şekil 3.2’de akışı gösterilen sürecin, malzeme kabulünden sonraki ilk aşaması olan, talep edilen 50 adet parçanın, talep düzeylerine göre sınıflara atanma kararları ile başlanmış olup ardından veri tabanı modellenerek sınıfların merkezi depo içerisindeki bölgelere atamaları gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen matematiksel modelde, sürecin sonraki aşamalarında belirleyici olan parça tedariki süreçlerinin operasyonel verimliliği artıracak şekilde yürütülmesi için, SM kurulum kararları, taşıma aracı seçimi, SM’lerin besleyeceği istasyon bloklarının SM’lere ataması gerçekleştirilmiş ve SM ile istasyonlar arasında gerçekleştirilen taşıma faaliyetlerinde kullanılacak araçların tipi ve tur sayıları belirlenmiştir. Tüm bu kararlar matematiksel model içerisinde entegre biçimde yer almaktadır.

Bu kapsamda, çözümün bu aşamasında Sınıf Tabanlı Depolama Politikası (Class Based Storage Policy) kullanılarak, parçalar belirli sınıflara atanmış ve tesis içi depolama süreçlerinin optimizasyonuna yönelik öneriler geliştirilmiştir. Bu aşamada ele alınan kısıtlar aşağıdaki gibidir:

- Parçalar istasyonların talep miktarlarına göre toplam talebi aşmayacak şekilde karşılanacaktır.
- Parçalar sınıflandırılırken talep miktarları dikkate alınacaktır.
- Parçalar depoda, %20’si A (yüksek devir), %30’u B (orta devir) ve %50’si C (düşük devir) olmak üzere 3 sınıfa ayrılacaktır.

Problemin ilerleyen aşamalarında, parçalar ilgili sınıflara (A, B, C) atandıktan sonra bu sınıfların, merkezi depoda yer alan üç adet depo bölgesinden hangilerine atanacağı belirlenecektir.

Parçaların sınıflandırılması için ilk aşamada, parçaların istasyonlar tarafından toplam talep edilme miktarlarının hesaplanması ve buna göre A, B ve C sınıflarına atanması işlemleri aşağıdaki kısıtlar doğrultusunda, matematiksel model kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.1.1. İstasyon-parça talep verisi

Her bir istasyonun üretim aşamasında ihtiyaç duyduğu parça miktarları, istasyon–parça talep yapısı, aşağıda belirtilen Eşitlik (5.1), Eşitlik (5.2) ve Eşitlik (5.3) üzerinden tanımlanmıştır. Örnek uygulama kapsamında montaj hattındaki istasyonlar için toplam $|P|$ adet parçaya ihtiyaç duyulmakta olup parça kümesi P ile gösterilmiştir:

$$p = 1, \dots, 50 \quad \forall p \in P \quad (5.1)$$

Her parça (p) en az bir istasyonda (k) kullanılmaktadır. Parçaların kullanılmadığı istasyon yoktur.

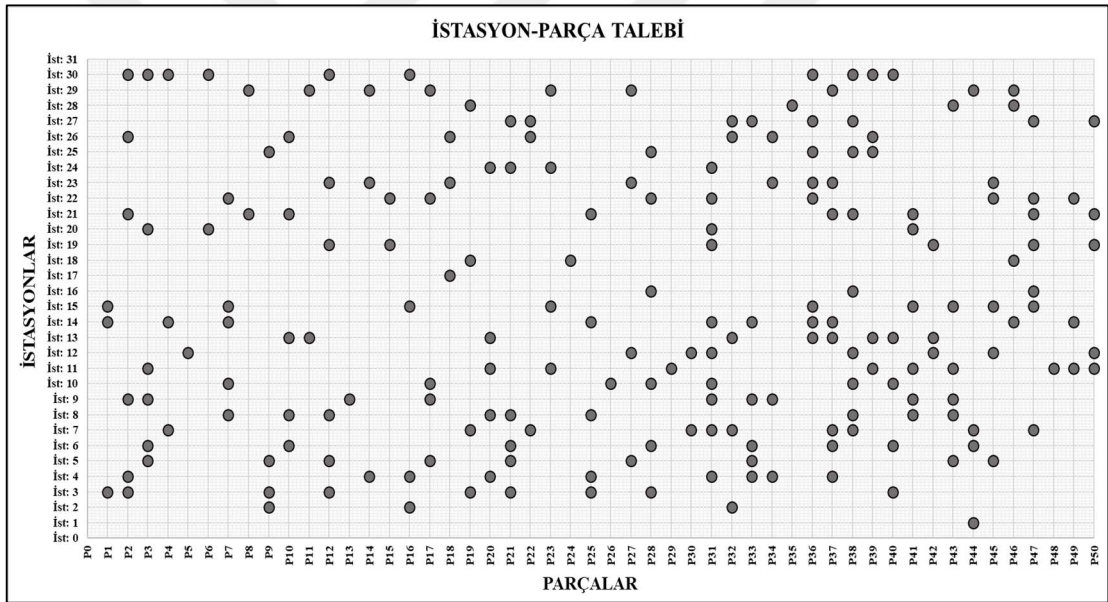
$$\sum_{k \in K} x_{pk} \geq 1 \quad \forall p \in P \quad (5.2)$$

x_{pk} : Parça p 'nin istasyon k 'ya atanması

İstasyon talep miktarları (d_k) sabit olup parçalar (p), istasyonların (k) talebini aşmayacak şekilde temin edilmektedir.

$$\sum_{p \in P} x_{pk} \geq d_k \quad \forall k \in K \quad (5.3)$$

Problem bu kısıtlar dikkate alınarak GAMS üzerinde çözümlenmiş olup parçaların istasyonlar tarafından talep edilme durumları Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. İstasyonların parça talebi grafiği

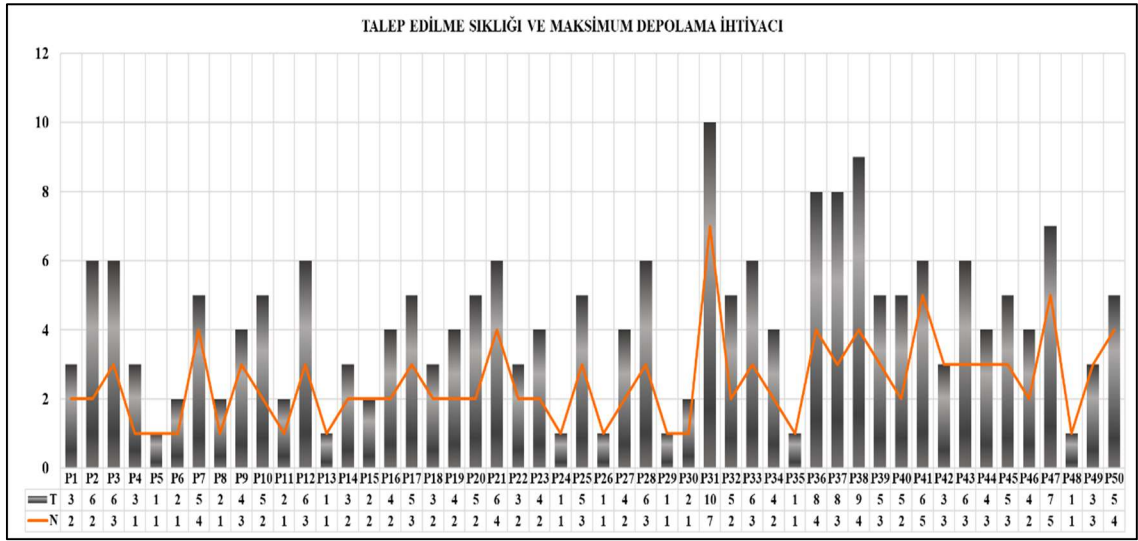
5.1.2. ABC sınıflandırma verileri ve çıktıları

İstasyonların parça talep sıklığında dalgalanmalar olduğundan, parçaların belirli sınıflara ayrılarak depolanması, erişim kolaylığı sağlayacağından sürecin daha yönetilebilir olmasını sağlayacaktır.

Çalışmada, sınıf tabanlı depolama politikası kapsamında, her parça ilgili A, B ve C sınıflarına atanmıştır. Böylece devir oranı yüksek, orta ve düşük olan parçalar birbirinden ayrıştırılarak depo içerisindeki sınıflarının sabit olması sağlanmıştır.

Sınıf tabanlı depolama politikası kapsamında her parça için toplam talep miktarı (turnover) ve maksimum stok seviyesi (max storage requirement) parametreleri belirleyici rol almaktadır.

ABC sınıflandırma alt modeli için gerekli olan toplam talep miktarı (T_p) ve maksimum stok seviyesi (N_p) değerleri, örnek uygulama veri setinden elde edilmiştir. Bu parametrelere ilişkin özet görselleştirme Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Toplam parça talebi ve maksimum stok seviyesi grafiği

Sınıf tabanlı depolama politikasında kullanılan sınıf kapasite oranları Çizelge 5.3'te sunulmaktadır.

Çizelge 5.3. Sınıfların kapasite oranları

Sınıflar	Kapasite Oranları
A Sınıfı	%20
B Sınıfı	%30
C Sınıfı	%50

Çizelge 5.4'te görüldüğü şekilde; parçaların %20'si (10 adet) en çok talep edilen parçalar olduğundan A bölgesine, %30'u (15 adet) orta düzey talep edilen parçalar olduğundan B bölgesine ve %50'si (25 adet) az talep edilen parçalar olduğundan C bölgesine yerleştirilmiştir.

Çizelge 5.4. Parçaların ABC sınıflarına atanması

SINIF	PARÇALAR
A Sınıfı	P2, P3, P4, P6, P10, P20, P32, P37, P38, P40
B Sınıfı	P8, P11, P12, P16, P17, P19, P23, P27, P28, P30, P33, P34, P36, P43, P46
C Sınıfı	P1, P5, P7, P9, P13, P14, P15, P18, P21, P22, P24, P25, P26, P29, P31, P35, P39, P41, P42, P44, P45, P47, P48, P49, P50

5.2. Baz (Referans) Senaryo Sonuçları

Bu çalışmada önerilen model, depolama, taşıma ve hat besleme kararlarını entegre şekilde ele alarak tesis içi süreçlerin verimliliğini artırırken maliyeti minimize etmeyi hedeflemektedir. Bu entegrasyonun doğru şekilde sağlanabilmesi için, Şekil 3.2'de akışı gösterilen sürecin, malzeme kabulünden sonraki ilk aşaması olan depo içi süreçlerde verimliliği sağlamak için parçaların depo içerisindeki konumları sınıf tabanlı depolama politikası kullanılarak belirlenmiştir. Böylece, parçaların depo içerisindeki konumlarının, taşıma ve hat besleme süreçlerine verimliliğe ve toplam maliyete olan etkisi bütünsel olarak değerlendirilmiştir.

Önerilen matematiksel uygulandığında elde edilen sonuçlara göre, maliyeti minimize etmeyi hedefleyen amaç fonksiyonu toplam maliyet değeri 16.345 depo içerisindeki konumları, sınıf tabanlı depolama politikası kullanılarak belirlenen parçaların atandığı A, B ve C sınıflarının depo bölgelerine Çizelge 5.5'te gösterildiği şekilde yerleştirilmesine karar verilmiştir. Buna göre, A ve C sınıfları merkezi depodaki j1 bölgesine ve B sınıfı ise merkezi depodaki j2 bölgesine atanmıştır.

Çizelge 5.5. ABC sınıflarının atandığı depo bölgeleri

Sınıf	Atandığı Depo Bölgesi (j)
A Sınıfı	# 2
B Sınıfı	# 1
C Sınıfı	# 1

Aynı zamanda Çizelge 5.6’da gösterilen süpermarket kurulum, hat besleme ve taşıma kararları sonuçlarına göre, süpermarket aday konumlarından, 3, 4 ve 5 numaralı konumlara, 3 adet SM’in açılmasına ve süpermarket-istasyon kombinasyonları için 1 ve 2 numaralı taşıma araçlarının kullanılmasına karar verildiği görülmektedir. 1 numaralı süpermarketin kendisine atanan istasyonların taleplerini karşılayabilmesi için taşıma aracının süpermarket ile istasyon bloğu arasında 4 tur yapması gerekmektedir. 2 numaralı süpermarketin kendilerine atanan istasyonların taleplerini karşılayabilmeleri için taşıma aracının süpermarket ile istasyon bloğu arasında 9 tur yapması gerekmektedir. 3 numaralı süpermarketin kendilerine atanan istasyonların taleplerini karşılayabilmeleri için taşıma aracının süpermarket ile istasyon bloğu arasında 3 tur yapması gerekmektedir.

Çizelge 5.6. Sınıf tabanlı depolama politikası sonuçları

Süpermarket	Konum	Kapasite	Araç Tipi (e)	Araç Tur Sayısı	Beslenen Blok (k, l)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
# 1	3	31	Tip 1	4	1 - 5	16.345
# 2	4	89	Tip 1	9	6 - 15	
# 3	5	90	Tip 2	3	16 - 30	

Elde edilen sonuçlara göre, parça tedariki için, yalnızca e1 ve e2 tipi araçların tercih edildiği görülmektedir. Bu durum, araç tiplerine ait, Çizelge 5.2’de belirtilen sabit, değişken maliyetler ve kapasite parametreleri birlikte değerlendirilerek açıklanabilmektedir.

Montaj hattında, istasyon bazlı parça talep miktarlarının görece düşük olması sebebiyle, e3 tipi taşıma aracının sunduğu yüksek kapasite avantajı etkin olarak kullanılmamıştır. Buna ek olarak, e3 tipi aracın sabit tur maliyetleri diğer araçlara kıyasla

yüksek olduğundan, kısa mesafeli ve birden fazla turlardan oluşan bu yapıda, sabit taşıma maliyetleri baskın bir faktör haline gelmiştir.

Ortalama taşıma mesafelerinin, depo bölgesi ve süpermarket konumlarına bağlı olarak düşük olması sebebiyle, değişken taşıma maliyetlerinin etkisi sınırlanmıştır. Bu sebeple geliştirilen model, toplam taşıma maliyetini minimize etmek için, sabit maliyeti diğerlerine kıyasla düşük olan e1 ve e2 tipindeki taşıma araçlarını kullanmayı tercih etmiştir.

Sınıf tabanlı depolama politikasına göre konumlandırılan parçaların bu konumlardan alınacak şekilde modele entegre edilmesi doğrultusunda, A, B ve C sınıfları ile ilgili süpermarketler arasındaki çevrim sayıları Çizelge 5.7’de ve depo bölgeleri ile ilgili süpermarketler arasındaki kutu bazlı parça akış miktarları Çizelge 5.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. SM-sınıf tabanlı çevrim sayısı

Süpermarket	Depo Bölgesi 1 (j ₂)	Depo Bölgesi 2 (j ₁)	
	A Sınıfı	B Sınıfı	C Sınıfı
# 1	1	1	1
# 2	1	1	2
# 3	1	1	2

Çizelge 5.8. SM-depo tabanlı parça akışı

Süpermarket	Depo Bölgesi 1 (j ₂)	Depo Bölgesi 2 (j ₁)	
	A Sınıfı	B Sınıfı	C Sınıfı
# 1	7	12	12
# 2	25	25	39
# 3	22	30	38

Merkezi depo içerisindeki tüm depo bölgelerinin (j₁, j₂, j₃) kapasiteleri eşit (500 birim) olmasına rağmen, model uygulandığında, j₃ depo bölgesine hiçbir sınıf ataması yapılmadığı görülmektedir. Bu durum, depo bölgelerinin bulundukları konumlardan kaynaklanmaktadır. Taşıma maliyeti, kat edilen etkin mesafe ve parça talebinin

istasyonlarca karşılanma durumuna ve kapasiteye bağlı olarak gerçekleştirilen tur sayısına göre değişkenlik göstermektedir. Depo bölgesi j3, montaj hattına, diğer depo bölgelerine kıyasla daha uzak bir konumda olduğundan, j3 depo bölgesinin kullanımı mesafeyi artırmakta ve buna bağlı olarak taşıma maliyetini de artırmaktadır. Tüm depo bölgelerinin kapasitelerinin eşit olmasının bağlayıcı bir unsur olmaması nedeniyle model, daha kısa mesafelerde bulunan j1 ve j2 depo bölgelerini tercih etmiş; bu sebeple j3 depo bölgesi sonuçlarda yer almamıştır. Sonuçlar, j1 ve j2 depo bölgelerinin konumsal avantajı kullanılarak, toplam taşıma maliyeti en aza indirmeye yeterli olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bu bulgu, taşıma mesafelerinin tesis içi lojistik süreçlerin maliyetini etkileyen bir unsur olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, istasyonlardaki parça talep yapısının değişmesi ya da merkezi depo içerisindeki depo bölgelerinin kapasitelerinin farklılaşması durumunda, çözüm yapısının ve sonuçların değişebileceği ve j3 depo bölgesinin de kullanımının gerekebileceği düşünülmektedir.

Amaç fonksiyonunda toplam maliyet ($cost_{tot}$); Eşitlik (5.4)'te gösterildiği şekilde, mesafeye bağlı taşıma ve araç maliyetleri ($cost_t$), parça atama maliyetleri ($cost_a$), süpermarket kutu başına kapasite alan maliyetleri ($cost_s$) ve süpermarket kurulum maliyetleri ($cost_f$) bileşenlerinden oluşmaktadır.

$$cost_{tot} = cost_t + cost_a + cost_s + cost_f \quad (5.4)$$

Bu bileşenlerin her birinin maliyeti, toplam maliyete oranlandığında elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. Maliyet bileşenlerinin toplam maliyete etki oranı

BİLEŞENLER	ETKİ ORANI
$cost_t$	%79
$cost_a$	%0,39
$cost_s$	%15
$cost_f$	%21

Amaç fonksiyonu bileşenlerine ayrıldığında, toplam maliyette en baskın etkiye sahip bileşenin taşıma maliyeti olduğu sonucuna varılmıştır. Taşıma maliyeti, toplam maliyetin yaklaşık %79'unu oluşturarak en baskın bileşen olup, ikinci derece etkili

bileşen yaklaşık %21 oranıyla süpermarket kurulum maliyetleridir. Kapasite alan maliyetlerinin etkisi yaklaşık %15 ve atama maliyetlerinin etkisi yaklaşık %0,39 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, atama maliyeti, toplam maliyet üzerinde belirleyici bir etken değildir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen modelin, taşıma kararların toplam maliyet üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

5.3. Senaryo Sonuçları

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin performansını değerlendirmek amacıyla, önerilen modeldeki sınıf tabanlı depolama politikası kullanılan baz (referans) senaryo ve sabit konumlu depolama politikası kullanılan alternatif senaryo, aynı sayısal girdiler kullanılarak iki farklı şekilde çözülmüştür. Baz (referans) senaryo ve alternatif senaryo sonuçları Çizelge 5.10'da sunulmuştur.

Bu kapsamda, baz (referans) senaryoda, parçaların atandığı sınıfların merkezi depo içerisindeki bölgelere atanması ve süpermarketler aracılığıyla istasyonların beslenmesi ele alınmıştır. Ayrıca, taşıma faaliyetlerinde kullanılan farklı kapasite, sabit ve değişken maliyet yapılarına sahip araçların operasyonel süreçlerdeki etkisi analiz edilmiştir. Alternatif senaryoda ise, parçaların doğrudan depo içerisindeki bölgelere atanması ve süpermarketler aracılığıyla istasyonların beslenmesi ele alınmıştır.

Modelin uygulanabilirliği test edilirken, her iki senaryo da aynı talep, kapasite girdileri ve aynı tesis yerleşim düzeni esas alınarak çözülmüş olup, senaryolar arasındaki tek fark, karar yapılarındaki değişikliklerdir.

Sabit konumlu depolama politikası uygulaması ile elde edilen sonuçlara göre, 3, 4, 5 ve 7 numaralı aday konumlarda, kullanım kapasiteleri sırasıyla 58, 53, 44 ve 55 olacak şekilde 4 adet SM'in açılmasına karar verildiği görülmektedir.

1, 2 ve 4 numaralı süpermarketlerin kendilerine atanan istasyonların taleplerini karşılayabilmeleri için Tip 2 taşıma aracının süpermarket ile istasyon bloğu arasında 2 tur yapması gerekmektedir. 3 numaralı süpermarketin kendisine atanan istasyonların taleplerini karşılayabilmesi için Tip 3 taşıma aracının süpermarket ile istasyon bloğu arasında 1 tur yapması gerekmektedir.

Senaryoların sonuçları değerlendirildiğinde, önerilen modeldeki baz (referans) senaryonun, kaynakları daha etkin kullandığı görülmektedir. Baz (referans) senaryoda, alternatif senaryoya göre, kurulan süpermarket sayısının azalması ve tam kapasite kullanılması daha az sayıda depolama noktasının daha verimli kullanıldığını

göstermektedir. Benzer şekilde, tur sayısının artarak, kullanılan taşıma aracı sayısında azalma olması, modeldeki maliyet minimizasyonu amacına uyumlu bir çözüm yapısına sahip olduğunu göstermektedir. Blok sayısındaki azalma, her bir süpermarketin hizmet verdiği istasyon sayısının artarak, sistemin bütünleşik bir yapıya ulaştığının göstergesidir. Tüm bu göstergelere göre, baz (referans) senaryonun, sistem verimliliğini artırırken toplam maliyeti azaltan etkin bir çözüm sunduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 5.10. Senaryoların karşılaştırması

SENARYOLAR		SM	Konum	Kapasite	Araç Tipi (e)	Araç Tur Sayısı	Beslenen Blok (k, l)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
1	Alternatif Senaryo <i>Sabit Konumlu Depolama Politikası</i>	# 1	3	58	Tip 2	2	1 - 8	25.921
		# 2	4	53	Tip 2	2	9 - 14	
		# 3	5	44	Tip 3	1	15 - 22	
		# 4	7	55	Tip 2	2	23 - 30	
2	Baz (Referans) Senaryo <i>Sınıf Tabanlı Depolama Politikası</i>	# 1	3	31	Tip 1	4	1 - 5	16.345
		# 2	4	89	Tip 1	9	6 - 15	
		# 3	5	90	Tip 2	3	16 - 30	

5.4. Karşılaştırmalı Analiz

Bu bölümde, alternatif senaryo (sabit konumlu depolama politikası) ve baz senaryo (sınıf tabanlı depolama politikası) uygulandığında elde edilen taşıma maliyetleri, sabit maliyetler ve depo maliyetleri kalemlerinden oluşan toplam maliyet değerleri karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, senaryoların uygulanması sonucu elde edilen, kurulan toplam süpermarket sayısı, kullanılacak toplam taşıma aracı türü ve istasyonların atandığı toplam blok sayısı gibi kararların karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 5.11’de verilmektedir.

Çizelge 5.11. Senaryoların sürece etkisinin karşılaştırmalı analizi

KARARLAR	SENARYOLAR		SÜRECİN ETKİLENME ORANI
	Alternatif Senaryo	Baz (Referans) Senaryo	
SM Sayısı	4	3	%25
Blok Sayısı	4	3	%25
Amaç Fonksiyonu	25.921	16.345	%37

Karşılaştırmalı analize göre, süpermarket sayısında alternatif senaryoya kıyasla yaklaşık %25 oranında azalma sağlanmış olup, bu durum tam kapasite kullanılarak tesis içi daha az sayıda alanda kurulan ara depolama alanlarının daha verimli kullanıldığını göstermektedir. Blok sayısında gözlemlenen yaklaşık %25 oranındaki azalma, her bir süpermarketin hizmet verdiği istasyon bloklarının daha az parçalı bir yapıya ulaştığını göstermektedir. Son olarak, en kritik gösterge olan amaç fonksiyonu toplam maliyetinde, sınıf tabanlı depolama politikasının önerilen model ile entegre şekilde uygulanması sayesinde, yaklaşık %37 oranında iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu oran çalışmanın maliyeti minimize etme noktasında amacına ulaştığını göstermektedir.

Alternatif ve baz (referans) senaryo uygulamalarına ilişkin elde edilen maliyet bileşenlerinin karşılaştırması Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Senaryolara göre maliyet bileşenlerinin karşılaştırması

MALİYET BİLEŞENLERİ	SENARYOLAR		SÜRECİN ETKİLENME ORANI
	Alternatif Senaryo	Baz (Referans) Senaryo	
Taşıma ve araç maliyeti	19.166	11.190	%42
Parça atama maliyeti	655	55	%92
SM kapasite alan maliyeti	2.100	2.100	%0
SM kurulum maliyeti	4.000	3.000	%25

Alternatif senaryoda, maliyet bileşenleri olan; taşıma maliyetleri, atama maliyetleri, kapasite ve kurulum maliyetlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Baz (referans) senaryoda ise, maliyet bileşenlerinin büyük bir kısmında iyileşme sağlanmıştır. Baz senaryonun uygulanması ile birlikte, modelin en etkili bileşeni olan taşıma ve araç maliyetinde yaklaşık %42 oranında bir kazanç sağlanmıştır. Parça atama maliyetlerinde sınıf tabanlı depolama uygulaması sayesinde yaklaşık %92 oranında büyük bir iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileşme, parçaların konumlarının sınıf bazlı olarak daha etkin şekilde belirlenmesiyle ve sınıfların depo içerisinde belirli bölgelere yerleştirilmesiyle sağlanmış olup gereksiz parça hareketleri ve uyumsuz atamalar ortadan kaldırılmıştır.

Süpermarket kapasite alan maliyetlerinde değişiklik gözlenmemesinin sebebi, taleplerin deterministik olarak sabit belirlenmiş olması ve her iki senaryoda da süpermarketlerin toplam kullanılan kapasitelerinin aynı olmasıdır. Talep miktarları sabit olduğundan, toplam depolama alanı ihtiyacı değişmemektedir. Ancak bu duruma ek olarak, baz (referans) senaryoda kurulan süpermarket sayısındaki azalma sayesinde kurulum maliyetlerinde yaklaşık %25 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileşme, yalnızca operasyonel olarak gerekli olan süpermarketlerin kurulmasına izin verilerek, ihtiyaca hizmet etmeyen süpermarket kurulumlarının engellenmesi ile elde edilmiştir.

Bu sonuca göre, taşıma kararlarının toplam maliyete etkisinin yaklaşık %79 oranıyla en yüksek paya sahip olduğunu ve modelin amacının maliyetleri minimize etmek olduğu göz önünde bulundurduğumuzda, baz (referans) senaryonun modelin amacı doğrultusunda maliyet-etkin bir çözüm yaklaşımı sunduğunu göstermektedir.

6. TARTIŞMA

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin uygulanması ile elde edilen bulgular, literatürde benzer problemleri ele alan çalışmalar doğrultusunda tartışılmakta olup sonuçların süreç performansı ve karar süreçlerine olan etkileri değerlendirilmektedir. Buna ek olarak, elde edilen sonuçlardan yapılan çıkarımlar ile çalışmanın literatüre katkısı sunulmaktadır.

6.1. Bulguların Yorumlanması ve Yönetmel Çıkarımlar

Çalışmaya göre elde edilen sonuçlar, mevcut tesis içi süreçlerde taşıma kararlarının, toplam maliyeti büyük ölçüde etkilediği ve yapılan baskın maliyet analizine göre, taşıma maliyetlerinin diğer maliyet kalemlerine kıyasla daha yüksek oranda etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun başlıca nedeni, taşıma kararlarının, kullanılan araç tipi ve tur sayısına bağlı olan tekrarlı bir süreci kapsamaması ve buna bağlı olarak da maliyet yaratan bir yapıda olmasıdır.

Merkezi depo içerisinde, sınıf tabanlı depolama politikası uygulandığında, talep düzeyi yüksek olan parçaların daha erişilebilir konumlara yerleştirilmesi sağlanarak, taşıma mesafeleri ve buna bağlı olarak taşıma maliyetleri azaltılmıştır. Yapılan alternatif senaryo analizinde, sabit konumlu depolama politikası, bu esnekliği tam anlamıyla sağlayamadığından taşıma maliyetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, doğru depolama politikası seçiminin, tesis içi lojistik maliyetlerindeki belirleyici etkisini ortaya koymaktadır.

Taşıma aracı seçimi ve tur kararları incelendiğinde, taşıma kapasitesi yüksek araçlar kullanıldığında yapılacak tur sayısının azaldığı fakat bu araçların tur başına sabit maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle taşıma maliyetlerini ve dolayısıyla toplam maliyeti artırdığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, kapasitesi ve tur başına sabit maliyeti diğerlerine kıyasla daha düşük araçların kullanıldığı baz (referans) senaryoda, yapılacak tur sayısı artmasına rağmen taşıma maliyetlerinin, toplam maliyet üzerindeki etkisinin daha dengeli ve daha düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, taşıma kararlarında, tur sayısının ile araç türüne bağlı maliyet yapısının birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Yönetmel açıdan, elde edilen sonuçlar, depolama, taşıma ve hat besleme kararlarının bir bütün olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle taşıma maliyetlerinin etkisinin baskın olduğu sistemlerde, depolama politikası ve taşıma

kararları, toplam maliyeti doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, karar vericilerin maliyet bileşenlerinin sistem genelinde etkileşimine odaklanması önerilmektedir.

6.2. Karşılaştırmalı Analizin Tartışması

Geliştirilen matematiksel modelin performansını ölçmek amacıyla uygulanan senaryolardan elde edilen senaryo sonuçlar, kurulan süpermarket sayısı, seçilen taşıma aracı sayısı ve türü, istasyonların blok sayısı ve amaç fonksiyonu maliyet değeri açısından sınıf tabanlı ve sabit konumlu depolama politikaları karşılaştırmalı şekilde analiz edilmiştir.

Önerilen sınıf tabanlı matematiksel modelde, kurulmasına karar verilen süpermarket sayısı yaklaşık %25 oranında azalma olmasıyla birlikte, kurulum maliyetlerinde yaklaşık %25 oranında iyileşme sağlanmıştır. Süpermarket sayısının artması ile birlikte süpermarket kurulum maliyetlerinin de artacağı göz önünde bulundurulduğunda elde edilen bu sonuç modelin amacı ile uyumludur. Aynı zamanda, taşıma kararları maliyet odaklı tercih edilmiş olup, taşıma maliyetlerinde yaklaşık %42 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Bu durum, modelin en etkin bileşeni olması sebebiyle toplam maliyeti büyük ölçüde olumlu etkilemiştir.

İstasyonların kapsandığı blokların sayısı önerilen modelde yaklaşık %25 oranında daha az olmasına rağmen daha kapsamlı bir planlama ile verim artışı elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu değeri, yani toplam maliyet, yaklaşık %37 oranında azalarak sistem verimliliğini artırmakla birlikte modelin amacına uygun çalıştığını göstermektedir.

Taşıma maliyetlerinin, toplam maliyet üzerindeki etkisinin diğer maliyet bileşenlerine kıyasla daha baskın olması göz önünde bulundurulduğunda, önerilen modelde tur başına ortalama maliyet düşürülerek toplam maliyetin de bu yönde minimize edilmesi sağlanmıştır. Modeli etkileyen atama ve kurulum maliyetlerinde de sırasıyla yaklaşık %92 ve yaklaşık %25 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Süpermarket kapasite alan maliyetlerinde bir değişiklik gözlenmemiş olup, bu durum talep miktarlarının sabit olmasından ve toplam depolama alanı ihtiyacının değişmemesinden kaynaklanmaktadır.

Karşılaştırmalı analiz sonuçları, sınıf tabanlı depolama politikası ile depo, lojistik ve hat besleme kararlarının bütünleşik olarak ele alınması, hem maliyet hem de operasyonel verimlilik anlamında sabit konumlu yaklaşıma göre daha üstün performans göstermiştir. Bu doğrultuda, depo, lojistik ve hat besleme kararlarının süreç performansında ve maliyetlerinde stratejik öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir.

6.3. Duyarlılık Analizi Bulguları ve Tartışması

Çalışmanın bu bölümünde, probleme yönelik geliştirilmiş olan matematiksel modelin temel parametre değerlerinde meydana gelebilecek değişiklikler doğrultusunda gösterdiği tepkinin analizi yapılmaktadır. Özellikle depo bölgelerinin kapasiteleri, taşıma araçlarının maliyetleri ve kapasiteleri gibi parametrelerdeki olası değişikliklerin, toplam maliyet ve karar değişkenleri üzerindeki etkisi incelenerek, matematiksel modelin kararlılığı ve uygulanabilirliği test edilmektedir. Bu sayede, modelin farklı koşullar altında ne kadar esnek sonuçlar üretebildiği ortaya konulmaktadır.

6.3.1. Depo bölge kapasitesindeki değişimin modele etkisi

Temel senaryoda, merkezi depo içerisinde yer alan depo bölgelerinin kapasiteleri eşit olarak tanımlanmış olmasına rağmen modelin uygulanması sonucunda j3 bölgesine herhangi bir atama yapılmadığı gözlemlenmişti. Bu durumun kapasitenin farklılaşmasına bağlı olarak değişebileceği düşünülüyordu.

Birinci duyarlılık analizi kapsamında, merkezi depo içerisinde yer alan depo bölgelerinin kapasitelerinin sonuçlar üzerindeki etkisini incelemek için depo bölgelerinin kapasitesi 500 birimden 300 birime düşürülerek model yeniden çözülmüştür. Bu değişiklik sonrasında modelin amaç fonksiyonu değeri 18.057 olarak bulunmuştur. Sınıfların depo bölgesi atamalarına yönelik elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Modelin depo bölgesi kapasitesine parametresine duyarlılığı

Sınıf	Atandığı Depo Bölgesi (j)
A Sınıfı	# 3
B Sınıfı	# 1
C Sınıfı	# 2

Elde edilen sonuçlar, depo bölgelerinin kapasitesinde yapılan değişikliklerle birlikte j3 depo bölgesinin de kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu durum, depo içi bölge kapasitelerinin, sınıf tabanlı atama kararlarında etkin bir rol oynadığını ve modelin kapasite değişimlerine duyarlı olduğunu göstermektedir.

6.3.2. Taşıma aracı sabit maliyeti değişiminin modele etkisi

Bu duyarlılık analizinde, taşıma aracı seçiminin sabit maliyet parametresine karşı duyarlılığı ele alınmıştır. Tüm araç türleri için kapasite ve değişken maliyetler eşit duruma getirilmiş olup yalnızca sabit maliyetler farklılaştırılarak model yeniden uygulanmıştır. Araçların sabit maliyetleri sırasıyla, 200, 500 ve 100 olarak değiştirilmiştir. Bu değişiklik sonrasında modelin amaç fonksiyonu değeri 16.686 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 6.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2. Modelin taşıma aracı sabit maliyet parametresine duyarlılığı

Süpermarket	Konum	Kapasite	Araç Tipi (e)	Araç Tur Sayısı	Beslenen Blok (k, l)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
# 1	3	92	Tip 3	10	1 - 12	16.686
# 2	5	99	Tip 3	10	13 - 28	
# 3	7	19	Tip 3	2	29 - 30	

Araç sabit maliyetinin değiştirilmesi sonucunda model, sabit maliyeti diğerlerine kıyasla en düşük olan taşıma aracını tercih etmiştir. Bu durum, geliştirilen matematiksel modelin maliyeti minimize etme yaklaşımını desteklemektedir. Taşıma aracı seçimine bağlı olarak süpermarket konumları, tur sayıları ve beslenen istasyon bloklarında ufak düzeyde değişiklikler meydana gelmiş olup bu değişiklikler modelin genel yapısını bozmayacak ölçülerde sınırlı kalmıştır.

6.3.3. Taşıma aracı kapasitesindeki değişimin modele etkisi

Bu analizde, taşıma aracı seçiminin kapasite parametresine karşı duyarlılığı ele alınmıştır. Tüm araç türleri için sabit ve değişken maliyetlerde herhangi bir değişiklik yapılmadan, araç kapasiteleri sırasıyla 10, 70 ve 20 olarak değiştirilmiştir. Bu değişiklik sonrasında modelin amaç fonksiyonu değeri 14.770 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 6.3’te gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. Modelin taşıma aracı kapasite parametresine duyarlılığı

Süpermarket	Konum	Kapasite	Araç Tipi (e)	Araç Tur Sayısı	Beslenen Blok (k, l)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
# 1	3	49	Tip 2	1	1 - 7	14.770
# 2	4	62	Tip 2	1	8 - 14	
# 3	5	99	Tip 2	2	15 - 30	

6.3.4. ABC sınıf kapasite oranlarındaki değişimin modele etkisi

Bu analizde, parçaların ABC sınıflarına dağılımlarının, sınıfların depo bölgelerine atamalarının ve modelin, sınıfların kapasite oranlarına karşı duyarlılığı ele alınmıştır. Sınıf kapasiteleri sırasıyla %30, %40 ve %30 olarak değiştirilmiştir. Bu değişiklik sonrasında modelin amaç fonksiyonu değeri 16.876 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 6.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.4. Duyarlılık analizi ABC kapasite oranları

Sınıflar	Kapasite Oranları
A Sınıfı	%30
B Sınıfı	%40
C Sınıfı	%30

Sınıf kapasitelerinde yapılan değişiklikler sonucunda parçaların atandığı ABC sınıfları Çizelge 6.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.5. Modelin ABC kapasite oranına duyarlılığının parça atamasına etkisi

SINIF	PARÇALAR
A Sınıfı	P2, P3, P4, P6, P8, P10, P11, P12, P16, P19, P20, P32, P37, P38, P40
B Sınıfı	P1, P14, P17, P18, P21, P22, P23, P25, P27, P28, P30, P31, P33, P34, P36, P39, P43, P45, P46, P47
C Sınıfı	P5, P7, P9, P13, P15, P24, P26, P29, P35, P41, P42, P44, P48, P49, P50

Sınıf kapasitelerinin değişmesine bağlı olarak tüm sınıfların atandığı yeni merkezi depo bölgeleri Çizelge 6.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 6.6. Modelin ABC kapasite oranlarına duyarlılığı

Sınıf	Atandığı Depo Bölgesi (j)
A Sınıfı	# 1
B Sınıfı	# 2
C Sınıfı	# 1

6.3.5. Problem boyutlarının modelin performans ölçütlerine etkisi

Modelin performans ölçütleri olan toplam maliyet ve çözüm süresinin, modelin boyutu değiştiğindeki durumunu gözlemlemek amacıyla mevcut model, küçük, orta ve büyük olacak şekilde 3 farklı boyutta çalıştırılmıştır. Küçük boyutta, 10 parça ve 15 istasyondan oluşacak şekilde problemin boyutu küçültülmüştür. Orta boyut, geliştirilen modeli ifade etmektedir. Büyük boyutta ise 100 parça ve 10 adet aday süpermarket konumu olacak şekilde problemin boyutu büyütülmüştür. Elde edilen sonuçların mevcut model ile karşılaştırması Çizelge 6.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.7. Model boyutunun performans ölçütlerine etkisi

Model Boyutu	Çözüm Süresi (saniye)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
Küçük (10 parça, 15 istasyon)	0,031	9.418
Orta (50 parça, 30 istasyon)	0,079	16.345
Büyük (100 parça, 10 aday SM konumu)	0,094	16.151

Elde edilen sonuçlara göre, önerilen modelin, farklı problem boyutlarına uyum sağlayabildiği gözlemlenmiştir. Problem boyutları küçüldüğünde modelin çözüm süresi azalmakta, boyutlar büyüdüğünde ise çözüm süresi artmaktadır.

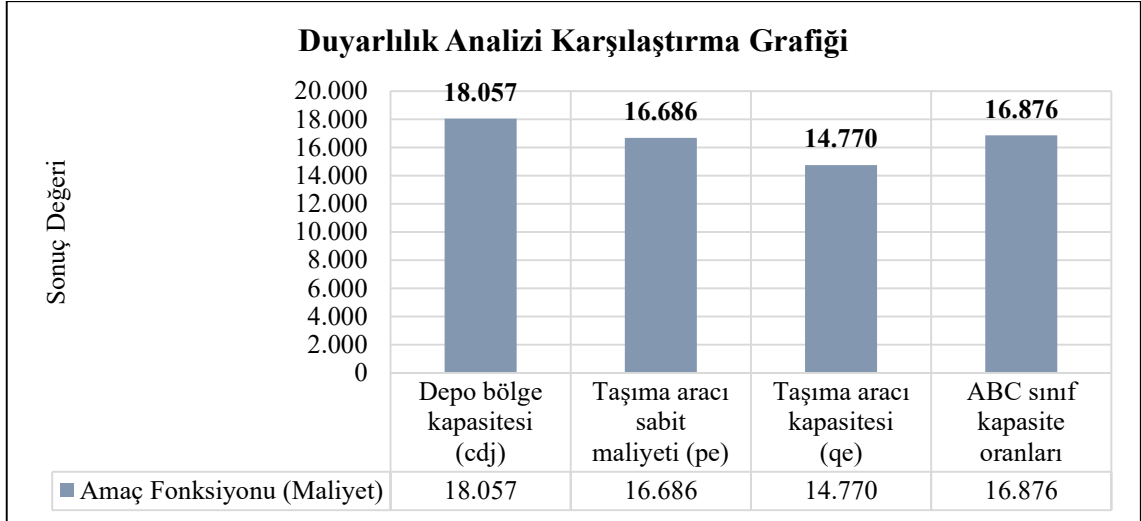
6.3.6. Duyarlılık analizlerinin modele etkisinin değerlendirilmesi

Geliştirilen matematiksel model, duyarlılık analizleri kapsamında, merkezi depo bölgelerini, taşıma araçlarını ve ABC sınıflarını kapsayan temel parametrelerin farklı seviyeleri kullanılarak yeniden çözülmüş ve her analiz için elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri Çizelge 6.8’de gösterilmiştir. Bu duyarlılık analizleri, modelin olası değişimlere karşı duyarlılığı göstermiş olup modelin maliyet ve çözüm performansının nasıl etkilendiği ortaya koymuştur.

Çizelge 6.8. Değişkenlere göre modelin çözüm süresi ve sonuçları

Değişkenler	Çözüm Süresi (saniye)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
Depo bölge kapasitesi (cdj)	0,093	18.057
Taşıma aracı sabit maliyeti (pe)	0,078	16.686
Taşıma aracı kapasitesi (qe)	0,078	14.770
ABC sınıf kapasite oranları	0,109	16.876

Şekil 6.1’de farklı duyarlılık analizleri altında, yapılan değişikliklerin geliştirilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu değeri olan toplam maliyet üzerindeki etkisi ve duyarlılığı özetlenmektedir.



Şekil 6.1. Duyarlılık analizi sonuçları karşılaştırma grafiği

Bunlara ek olarak modelde, problemin boyutu küçüldüğünde çözüm süresinin yaklaşık %61 oranında ve toplam maliyetin yaklaşık %42 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Problemin boyutu büyüdüğünde ise çözüm süresinde yaklaşık %16 oranında bir artış yaşanmaktadır. Bu sonuçlar geliştirilen modelin, problemin boyutlarına duyarlı olduğunu göstermektedir. Boyutlar değişkenlik gösterdikçe modelin çözüm süresi ve amaç fonksiyon değeri de farklılaşmaktadır.

6.3.7. Taktik ve operasyonel kararların modele etkisinin değerlendirilmesi

Bu bölümde, parça talep miktarlarının sabit olduğu kabul edilerek, taktik ve operasyonel karar seviyelerinin ayrıştırılmasının geliştirilen matematiksel model üzerindeki etkisi incelenmiştir.

İlk aşamada model, taşıma ve tur kararlarını kapsayan operasyonel seviye kararlar devre dışı bırakılarak yalnızca taktik seviye kararlar ile çalıştırılmıştır. Böylece, kurulacak süpermarket sayısı, süpermarketlerin yerleşeceği konumlar ile besleyeceği bloklar ve ABC sınıflarının depo içerisindeki bölgeleri belirlenmiştir. Süpermarket kapasite alan maliyeti ve depo içi yerleşim planlamasına yönelik kararlar taktik seviye kararlar kapsamında değerlendirilmiş olup, operasyonel kararlar kapsamında ele alınmamıştır. Taktik seviye kararlara ilişkin elde edilen sonuçlar Çizelge 6.9’da sunulmaktadır.

Çizelge 6.9. Taktik seviye kararlar altında modelin çıktıları

Süpermarket	Konum	Beslenen Blok (k, l)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
# 1	6	1 - 12	22.280
# 2	2	13 - 14	
# 3	3	15 - 30	

Elde edilen veriler, ikinci aşamada matematiksel modele parametre olarak eklenmiş ve model bu sabit kararlar altında çözülmüştür. Uygulama sonucunda yalnızca Çizelge 6.10'da gösterilen, taşıma aracı seçimi, araçların hangi süpermarket-blok kombinasyonuna atanacağı, yapılması gereken tur sayıları ve Çizelge 6.11'de verilen maliyet bileşenleri ve amaç fonksiyonu değeri sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 6.10. Taktik seviye uygulaması altında taşıma kararları

Süpermarket	Konum	Kapasite	Araç Tipi (e)	Araç Tur Sayısı	Beslenen Blok (k, l)
# 1	6	92	Tip 2	4	1 - 12
# 2	2	19	Tip 1	2	13 - 14
# 3	3	99	Tip 2	4	15 - 30

Yalnızca taktik kararlar altında çözülen modelin amaç fonksiyonunda, toplam maliyetin, geliştirilen matematiksel modele kıyasla arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, önerilen modelde önemli bir etken olan mesafe temelli kısıtların ve operasyonel kararların bu aşamada devre dışı bırakılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle süpermarket ve blok atamalarında mesafe koşullarının sağlanamaması sebebiyle ortalama taşıma mesafesi artmış ve bu durum Çizelge 6.11'de gösterildiği gibi taşıma maliyetlerinde ve dolayısıyla toplam maliyette artışa neden olmuştur.

Çizelge 6.11. Uygulama sonuçlarının karşılaştırılması

MALİYET	UYGULAMA		SÜRECİ ETKİLENME ORANI
	Taktik Model	Bütünleşik Model	
Taşıma ve araç maliyeti	17.120	11.190	%35
Amaç fonksiyonu	22.280	16.345	%27

Elde edilen sonuçlara göre, iki uygulama şekli karşılaştırıldığında, operasyonel ve taktik kararların bütünleşik olarak ele alınmadığı durumda, toplam maliyetin en etkili bileşeni olan taşıma maliyetlerinde yaklaşık %35, amaç fonksiyonu değerinde ise yaklaşık %27 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, geliştirilen modelin uyguladığı bütünleşik yaklaşımın, maliyet üzerindeki etkinliğinde ve kaynakların kullanım şeklinde belirgin bir avantaj sağladığını göstermektedir.

Mesafe temelli kısıtların ve operasyonel kararların eksikliğinin giderildiği durumda oluşacak değişimi gözlemlemek ve taşıma kararların bu durumdaki etkinliğini değerlendirmek amacıyla mesafe kısıtları, eklenerek model taktik seviyede taşıma kararları devre dışı bırakılarak yeniden çözülmüş olup sonuçlar Çizelge 6.12’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.12. Mesafe kısıtları altında taktik karar uygulama sonuçları

Süpermarket	Konum	Kapasite	Araç Tipi (e)	Araç Tur Sayısı	Beslenen Blok (k, l)	Amaç Fonksiyonu (Maliyet)
# 1	1	13	Tip 1	2	1 - 3	17.279
# 2	3	98	Tip 1	10	4 - 14	
# 3	6	99	Tip 1	10	15 - 30	

Mesafe kısıtlarının, taşıma kararları ile entegre edilmeden eklendiği taktik seviyede çözülen modelde, toplam maliyetin, ilk uygulamaya kıyasla daha düşük olduğu fakat önerilen modele kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, geliştirilen bütünleşik modelde taşıma kararlarının sürece entegre edilmesinin maliyet üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu uygulamanın taşıma maliyetlerine ve toplam maliyete etkisi, Çizelge 6.13’te geliştirilen modelle karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 6.13. Mesafe ile entegre taşıma kararlarının modele etkisi

MALİYET	UYGULAMA		SÜRECİ ETKİLENME ORANI
	Taktik Model (Mesafe Kısıtlı)	Bütünleşik Model	
Taşıma ve araç maliyeti	12.119	11.190	%8
Amaç fonksiyonu	17.279	16.345	%5

Elde edilen sonuçlara göre, mesafe kısıtlarının taşıma kararları ile entegre olmadan ele alındığı durumda, taşıma maliyetlerinde yaklaşık %8, amaç fonksiyonu değerinde ise yaklaşık %5 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, geliştirilen modelde, taşıma kararlarının mesafe kısıtlarıyla entegreli olarak ele alınmasının, maliyet üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

6.4. Geçerlilik, Sınırlılıklar ve Genellenebilirlik

Geliştirilen model karma tam sayılı programlama modeli kapsamında depolama, lojistik ve hat besleme kararlarını bütünleşik bir yapıda ele almaktadır. Bu bölümde geliştirilen matematiksel modelin geçerliliği, sınırlılıkları ve farklı sistemlerde uygulanabilirliği ele alınmış olup üç başlık altında değerlendirilmiştir.

Geçerlilik başlığı altında değerlendirildiğinde, geliştirilen modelin geçerliliği, problemin yapısal özelliklerinin tutarlı şekilde ifade edilmesine dayanmaktadır. Çalışmada, istasyonların parça talep miktarları gibi bazı veriler önceden bilinmekte ve sabit kabul edilmektedir. Aynı zamanda geliştirilen model, sınıf tabanlı depolama politikasının, süreç performansına etkilerini de yansıtmaktadır. Bu kapsamda, modelin geçerliliği, kullanılan verilerin yapısı, doğruluğu, varsayımların koşulları yansıtırma ölçüsü ve karar vericinin operasyonel ve taktik düzeydeki kararlarına bağlıdır.

Sınırlılıklar başlığı altında değerlendirildiğinde, model bazı deterministik varsayımlar altında uygulanmıştır ve bu varsayımlar bazı sınırlılıklar doğurmaktadır. Gerçek hayat uygulamalarında gerçekleşebilecek talep belirsizliği faktörü modelde doğrudan temsil edilmemektedir. Ayrıca maliyet parametrelerinin sabit olduğu varsayımı dinamik maliyet yapılarının modele yansımalarını sınırlandırmaktadır.

Genellenebilirlik başlığı altında değerlendirildiğinde, geliştirilen model, çeşitli parametreler değiştirilerek farklı dağıtım ve lojistik süreçlerinde kolaylıkla kullanılabilir

bir yapıdadır. Problemin büyüklüğü, depo kapasitesi, araç kapasitesi, araç maliyeti gibi parametrelerde oluşabilecek değişimler modelin temel yapısını bozmamakta olup model bu değişikliklere uyum sağlayabilecek bir yapıdadır. Bu sayede model, yalnızca ele alınan problem için değil, benzer dağıtım sistemleri için de genellenebilir bir karar çerçevesi sunmaktadır. Ancak problem boyutlarının büyümesiyle çözüm karmaşıklığının artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenerek yorumlanmakta ve çalışmanın ilerleyen dönemlerde daha da geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmaktadır.

7.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında I-tipi düz bir montaj hattında, merkezi depo, süpermarket ve istasyonlar arasındaki lojistik faaliyetleri ve tesis içi depo yönetimi konularını entegre şekilde optimize eden bir matematiksel model geliştirilmiştir. Merkezi depo A, B ve C olmak üzere üç sınıfa ayrılmış ve her sınıfın deponun hangi bölgesine atanacağı kararları belirlenmiştir. Bu kararlar, kapasiteler, talep miktarları ve maliyetler dikkate alınarak maliyeti minimize edecek şekilde uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen kazanımlar aşağıdaki gibidir:

- Montaj hattında ihtiyaç duyulan parçalar, merkezi depo içerisinde sınıf tabanlı depolama politikası kullanılarak talep miktarlarına göre sınıflandırılmış ve depodaki bölgelere sınıf bazlı olarak atanmıştır.
- Tesis içerisindeki aday konumlardan hangilerine süpermarketlerin kurulacağı ve bu süpermarketlerin hangi istasyon bloklarını, hangi taşıma aracı ile besleyeceği belirlenmiş ve araçların yapacağı tur sayıları belirlenmiştir.
- Kurulan süpermarketlerin, montaj hattında talep edilen parçaları merkezi deponun hangi bölgesinden alınacağı ve bu aşamada gerçekleşecek çevrim miktarları belirlenmiştir. Depolardan SM'lere gelen ürünlerin istasyonlara taşınmasında görev alan her araç için yapılacak tur sayıları belirlenmiştir.
- Önerilen modelde, toplam maliyetin bileşenleri olan, taşıma ve araç maliyetleri, atama maliyetleri, kapasite alan maliyetleri ve kurulum maliyetlerinden tasarruf edilmiştir.
- Geliştirilen matematiksel modelin uygulanmasıyla, sabit konumlu depolama politikasına kullanılan düzende 25.921 olan toplam maliyet 16.345'e düşürülerek yaklaşık %37 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileşme, tesis içi depolama, taşıma, hat besleme kararlarının ve operasyonel maliyet bileşenlerinin entegre olarak optimize edilmesiyle sağlanmıştır.
- Geliştirilen modelde, operasyonel ve taktik kararların bütünleşik şekilde ele alınması maliyet ve süreç performansında oldukça etkilidir. Bu süreçler birbirinden bağımsız ele alındığında, maliyet artışı ve performans kaybı

gözelemlenmiştir. Bu nedenle modelin bütüncül yaklaşımı, maliyetleri minimize ederken sistem performansını da artırmaktadır.

Bu çalışma, literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak, merkezi depo, süpermarket ve istasyonlar arasındaki akışı tek bir entegre modelde optimize etmektedir. Sınıf tabanlı depolama politikası kullanılarak parçaların depolama kararlarının yönetimi ve her SM-istasyon parça tedariki için kullanılacak taşıma aracı kararları ve her aracın gerçekleştireceği tur sayısının dikkate alınarak optimize edilmesi kapsam ve çözüm açısından önemli bir fark oluşturmaktadır.

Geliştirilen model, maliyet odaklı bir yaklaşımla çalışmakta ve depolama, taşıma, hat besleme kararlarını bütünleşik olarak ele alarak süreçleri optimize edebildiğini ve maliyeti minimize edebildiğini etkin biçimde göstermektedir. Farklı parametre değerleri kullanılarak yapılan analizler, modelin çeşitli bileşenlerindeki değişimlere duyarlı olduğunu göstermiştir. Bunun yanında, önerilen sınıf tabanlı depolama politikası, sabit konumlu depolama politikası ile karşılaştırıldığında, depo içi parça yerleşimini daha dengeli hale getirmiş olup, taşıma ve hat besleme süreçlerinde verimliliği artırırken maliyeti minimize ederek modelin amacına ulaşmasına katkı sağlamıştır. Elde edilen tüm sonuçlar, geliştirilen entegre matematiksel modelin hem operasyonel yönden hem de maliyet yönünden süreç performansı açısından literatürdeki mevcut yaklaşımlara yeni bir bakış açısı getirerek probleme yönelik önemli bir iyileşme önerisi sunmaktadır.

7.2. Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Gelecekteki çalışmalarda, deterministik olarak sabit kabul edilen merkezi deponun konumu dinamik hale getirilerek model daha esnek hale getirilebilir. Bunun yanı sıra merkezi depoda birden fazla giriş/çıkış kapısı kullanılarak bir sevkiyat rotalama algoritması geliştirilebilir.

Parçaların bulundukları depo konumlarından toplama süreçleri için rotalama optimizasyonu ayrı bir çalışma konusu olabilir. Aynı zamanda problem boyutları (örneğin parça sayısı, depo bölge sayısı, kapasite kısıtları vb.) büyütülerek daha gerçek uygulamalara uygun yapıda ve daha karmaşık senaryolarla model test edilebilir ve çözüm önerileri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Arık, O. A., ve Yufka, P. N. (2025). Montaj hattı besleme esaslı Milk-Run sistemi ile yeni bir matematiksel model yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 40(2), 1173-1182. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1505204>
- Chan, F. T. S., ve Chan, H. K. (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage, *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2686-2700. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.058>
- Chen, M. C., ve Wu, H. P. (2005). An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns, *Omega*, 33(4), 333-343. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.05.003>
- Çelik, C., Aladağ, Z., ve Alkan, A. (2023). Veri madenciliği ve stok tutma süresi teknikleri ile depolar için dinamik ürün analizi modelinin geliştirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(2), 172-182. <https://doi.org/10.5505/pajes.2022.29974>
- Demir, Y., ve Keskin, M. E. (2023). Bir süpermarket zincirinde iki seviyeli tedarikçi yönetimli stok problemi için etkili bir sezgisel yöntem, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(3), 1893-1906. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1079002>
- Demirtaş, M., ve Bolahatoğlu, K. (2025). SWARA-MOORA Yöntemi ile Depolama Sistemi Seçimi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 40(1), 69-77. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1665844>
- Duque-Jaramillo, J. C., Cogollo-Flórez, J. M., Gómez-Marín, C. G., ve Correa-Espinal A. A. (2024). Warehouse management optimization using a sorting-based slotting approach, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(1), 133-150. <https://doi.org/10.3926/jiem.5661>
- Durmuşoğlu, M. B., Sol, E., ve Çevikcan, E. (2018). Fabrika İçi Lojistik Süreçlerinin Set Yapma Esaslı Tasarımı ve Bir Uygulama. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 83-98. <https://doi.org/10.17482/uumfd.456038>
- Emde, S., ve Boysen, N. (2012). Optimally locating in-house logistics areas to facilitate JIT-supply of mixed-model assembly lines, *International Journal of Production Economics*, 135(1), 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.07.022>
- Erarslan, F. S., ve Deste, M. (2022). Depolarda Ürün Atama Problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı: Bir İşletme Uygulaması, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Gelistirme Dergisi*, 14(2), 514-530. <https://doi.org/10.29137/umagd.1039353>
- Şenaras, A. E., Şenaras, O. M., ve İnanç, Ş. (2023). Depolama Yeri Atama Problemleri İçin Tavlama Benzetimi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 15(3), 1753-1760. <https://doi.org/10.20491/isarder.2023.1678>

- Graves, S. C., Hausman, W. H., ve Schwarz, L. B. (1977). Storage-Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems, *Management Science*, 23(9), 935-945. <https://www.jstor.org/stable/2630774>
- Hu, X., ve Chuang, Y. F. (2023). E-commerce warehouse layout optimization: systematic layout planning using a genetic algorithm, *Electronic Commerce Research*, 23(1), 97-114. <https://doi.org/10.1007/s10660-021-09521-9>
- Kalkha, H., Khiat, A., Bahnasse, A., ve Ouajji, H. (2024). Enhancing Warehouse Efficiency with Time Series Clustering: A Hybrid Storage Location Assignment Strategy, *IEEE Access*, 12, 52110-52126. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3386887>
- Kovács, A. (2011). Optimizing the storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics, *International Journal of Production Economics*, 133(1), 312-318. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.028>
- Kurtay, K. G., ve Erol, S. (2023). Mühimmat geri dönüşüm problemi için depo yer seçimi ve dağıtım ağı tasarımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 40(1), 29-42. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1345897>
- Lee, D.-J., ve Jeong, I.-J. (2009). Regression approximation for a partially centralized inventory system considering transportation costs, *Computers & Industrial Engineering*, 56(4), 1169-1176. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.06.005>
- Li, X., Hua, G., Huang, A., Sheu, J.-B., ve Cheng T. C. E. (2020). Storage assignment policy with awareness of energy consumption in the Kiva mobile fulfilment system, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102158>
- Ma, Q., Xu, L., Zhu, L., ve Jia, P. (2025). Research on storage location allocation in three-dimensional automated warehouse based on cargo damage control, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 16(1), 177-196. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2024.10.003>
- Nourmohammadi, A., Eskandari, H., Fathi, M., ve Ng, A. H. (2019). Integrated locating in-house logistics areas and transport vehicles selection problem in assembly lines, *International Journal of Production Research*, 59(2), 598-616. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1701207>
- Oksuz, M. K., Usta, S. K., ve Satoglu, S. I. (11-13 October 2017). *A Combined Methodology for Selection of Part Feeding System Based on Part Features*. CIE47 Proceedings, Lisbon, Portugal. <https://www.researchgate.net>
- Özalp, B. T., Nazlı, A. H., Barlıntı, A. M., Kıl, C., Sıampan, M., ve Akansel, M. (2023). Ergonomik Riskler İçeren Depo Raf Atama Problemi için Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli: Bir Uygulama, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 28(3), 721-740. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1341596>
- Roodbergen, K. J., ve Vis, I. F. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems, *European Journal of Operational Research*, 194(2), 343-362. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>

- Sali, M., Sahin, E., ve Patchong, A. (2015). An empirical assessment of the performances of three line feeding modes used in the automotive sector: line stocking vs. kitting vs. sequencing. *International Journal of Production Research*, 53(5), 1439-1459. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.944630>
- Şahin, P., Karaağaç, A., Sunulu, E., ve Ervural, B. (2024). Montaj Sistemlerinde Tesis İçi Lojistik Kararları Altında Hat Yerleşim Stratejilerinin Karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 153-165. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.39>
- Şahinaslan, Ö., Karatas, C., ve Şahinaslan, E. (2023). Lojistik Depolarda Sipariş Toplama ve Konumlandırmaya Yönelik Yenilikçi Bir Yaklaşım, *Verimlilik Dergisi*, 57(3), 491-512. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1188635>
- Turner, S. (2009). *Joint Multi-item Storage Location Assignment Capacitated Lot Sizing Problem* [Master dissertation]. <https://hdl.handle.net/20.500.14776/1180>
- Usta, S. K., Oksuz, M. K., ve Durmusoglu, M. B. (2017). Design methodology for a hybrid part feeding system in lean-based assembly lines. *Assembly Automation*, 37(1), 84-102. <https://doi.org/10.1108/AA-09-2016-114>
- Xu, C., Zhao, M., ve Li, H. (2024). Data-driven simulation methodology for exploring optimal storage location assignment scheme in warehouses, *Computers and Industrial Engineering*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110627>
- Yalçın, S. E., Henden, B., Başaran, İ., Pamuk, B., ve Öztürk, N. (2018). Montaj Hattı Parça Besleme Süreçlerinin Planlanması için Kural Tabanlı Sistem Tasarımı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 71-82. <https://doi.org/10.17482/uumfd.450727>
- Yerlikaya, M. A., ve Arikan, F. (2022). An integrated model for production planning and class based storage location assignment problem in order picking systems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(3), 1703-1712. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.927184>

EKLER**EK-1** İstasyonların kutu bazlı parça talebi

İSTASYON	TALEP (Kutu)
# 1	1
# 2	3
# 3	9
# 4	9
# 5	9
# 6	8
# 7	10
# 8	9
# 9	9
# 10	7
# 11	10
# 12	8
# 13	9
# 14	10
# 15	9
# 16	3
# 17	1
# 18	3
# 19	6
# 20	4
# 21	9
# 22	9
# 23	8
# 24	4
# 25	5
# 26	7
# 27	8
# 28	4
# 29	9
# 30	10

EK-2 Aday süpermarket ve depo bölgeleri koordinatları

PARAMETRE TÜRÜ	PARAMETRE ADI	KOORDİNATLAR (x, y)
SÜPERMARKET	s1	(1, 5)
	s2	(5, 5)
	s3	(9, 5)
	s4	(13, 5)
	s5	(18, 5)
	s6	(22, 5)
	s7	(26, 5)
	s8	(30, 5)
DEPO BÖLGESİ	j1	(15,5 ; 10)
	j2	(15,5 ; 15)
	j3	(15,5 ; 20)