

T.C.
MILLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ATATÜRK STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE LİSANSÜSTÜ
EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**YER SEÇİMİ, BOYUTLANDIRMA VE
ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİNİN
MODELLENMESİ VE ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BÜŞRA SULTAN BAYAT
20100201**

**TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ERTAN YAKICI
TEZ EŞ DANIŞMANI: DOÇ. DR. MÜMTAZ KARATAŞ**

**İSTANBUL
TEMMUZ 2023**

T.C.
MILLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ATATÜRK STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VE LİSANSÜSTÜ
EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**YER SEÇİMİ, BOYUTLANDIRMA VE
ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİNİN
MODELLENMESİ VE ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BÜŞRA SULTAN BAYAT
20100201**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :13.07.2023
Tezin Savunulduğu Tarih : 15.06.2023**

Tez Oy birliği / Oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

	Unvan Ad Soyad	İmza
Tez Danışmanı	: Doç. Dr. Ertan YAKICI	
Jüri Üyeleri	: Prof. Dr. Serol BULKAN Doç. Dr. Levent ERİŞKİN	

**İSTANBUL
TEMMUZ 2023**

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve ç) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 59 sayfalık kısmına ilişkin, 11/07/2023 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %9'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

1- Kaynakça hariç

2- Alıntılar hariç/dâhil

3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Büşra Sultan BAYAT

13.07.2023

ETİK BEYAN

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Dönem Projesi ve Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Büşra Sultan BAYAT
13.07.2023



Sevgili anneme ve babama...

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca beni hep daha iyiye yönlendiren, akademik olarak tüm soru ve sorunlarımda sonsuz desteğini sunan değerli danışmanım Doç. Dr. Ertan YAKICI'ya ve eş danışmanım Doç. Dr. Mümtaz KARATAŞ'a teşekkür ediyorum.

Bu süreçte, her türlü yol gösterici olan, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum Doç. Dr. Levent ERİŞKİN'e sonsuz teşekkür ederim. Tez savunma jürimde yer alarak değerli görüşleri ile araştırmamın şekillenmesini sağlayan Prof. Dr. Serol BULKAN'a teşekkür ederim.

Analiz aşamasındaki yazılım bölümü için desteğini esirgemeyip bana her daim vaktini ayıran Y.Müh. Recep Doğa SİYLİ'ye teşekkürümü sunuyorum.

Yıllarca süren eğitimim boyunca ve bu tezi araştırma ve yazma sürecinde bana kesintisiz destek ve sürekli teşvik sağlayan annem Nuray'a ve babam Celâl'e minnettarım.

İstanbul; Temmuz 2023

Büşra Sultan BAYAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZGÜNLÜK RAPORU	
ETİK BEYAN	
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xi
TÜRKÇE ÖZ	xii
İNGİLİZCE ÖZ (ABSTRACT)	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Yer Seçimi ve Boyutlandırma Problemi.....	3
2.2. Envanter Rotalama Problemi.....	7
2.3. Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi.....	11
3. PROBLEM TANIMI VE VARSAYIMLAR.....	15
4. MATEMATİKSEL MODEL	20
4.1. İndisler ve Kümeler	20
4.2. Parametreler.....	20
4.3. Karar Değişkenleri.....	21
4.4. Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar	22
5. ÇÖZÜM YÖNTEMİ.....	25

5.1. Yer Seçimi ve Boyutlandırma Probleminin Formülasyonu	25
5.2. AP1 Modeline Doğrusal Yaklaşım.....	27
5.3. Envanter Rotalama Probleminin Formülasyonu.....	29
6. SAYISAL DENEMELER.....	30
7. SONUÇ	42
KAYNAKÇA	44
ÖZGEÇMİŞ	46



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 3.1:** Farklı $t \in T$ gününde merkezlerden (“ Δ ” ile gösterilen) şubelere (“ \bullet ” ile gösterilen) giden araçlara ait rotalara (siyah kesikli doğrularla gösterilen) ve şubelerin talep noktalarını (“ $+$ ” ile gösterilen) kapsama durumları ile şubelerin atanmış olduğu merkezlere (beyaz kesikli çizgi ile gösterilen) ilişkin örnek görsel. 16
- Şekil 3.2:** Bir talep noktası ile açık şubelerin bulunduğu lokasyona (daire işaretiyle gösterilen) ilişkin örnek sorun. 17
- Şekil 5.1:** Modelde $\zeta_{TLA} = \{0.1, 0.05, 0.01\}$ İken Kullanılan Teğet Parçaları. 28
- Şekil 6.1:** $d_m^l \leq d_{ij}^{TS} \leq d_m^u$ İçin Farklı Üssel Azalma Sabitleri İle Örnek Kapsama Fonksiyonları. 31
- Şekil 6.2:** Her Veri Seti (Küçük Boy, Orta Boy ve Büyük Boy) İçin Modellerin (P1 ve AP1-TLA+AP2) Çözüm Süreleri. 35
- Şekil 6.3:** Her Veri Seti (Küçük Boy, Orta Boy ve Büyük Boy) İçin Modellerin (AP1 ve AP1-TLA) Çözüm Süreleri. 36

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Yer Seçimi ve Boyutlandırma Problemine İlişkin Literatür Özeti.....	7
Tablo 2.2: Envanter Rotalama Problemine İlişkin Literatür Özeti.....	11
Tablo 2.3: Yer seçimi ile ERP'ye İlişkin Literatür Özeti.....	13
Tablo 6.1: Her Örnek Kümesi İçin Deney Kurulumu.....	30
Tablo 6.2: Parametre Seti.....	32
Tablo 6.3: Küçük Boyuttaki Veri Seti İçin Performans Profili (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).....	33
Tablo 6.4: Orta ve Büyük Boyuttaki Veri Seti İçin Performans Profili (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).....	34
Tablo 6.5: P1 Ve AP1-TLA Modellerinde Küçük Boyuttaki Veri Seti İçin Çözüm Karakteristiği (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).....	37
Tablo 6.6: P1 Ve AP1-TLA Modellerinde Orta Boyuttaki Veri Seti İçin Çözüm Karakteristiği (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).....	39
Tablo 6.7: P1 Ve AP1-TLA Modellerinde Büyük Boyuttaki Veri Seti İçin Çözüm Karakteristiği (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).....	40

KISALTMALAR

C-MCLP	: Cooperative Maximum Coverage Location Problem (Kooperatif Maksimum Lokasyon Kapsama Problemi)
ERP	: Envanter Rotalama Problemi
GA	: Genetik Algoritma
GAMS	: The General Algebraic Modeling System
HGA	: Hibrit Genetik Algoritma
ILP	: Integer Linear Programming (Tamsayılı Doğrusal Programlama)
INLP	: Integer Non-Linear Programming (Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama)
MCLP	: Maximum Coverage Location Problem (Maksimum Lokasyon Kapsama Problemi)
MEXCLP	: The Maximum Expected Covering Location Problem (Maksimum Beklenen Kapsama Lokasyon Problemi)
MGCLP	: Multiple Gradual Cover Location Problem (Çok Kademeli Lokasyon Kapsama Problemi)
MILP	: Mixed Integer Linear Programming (Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama)
MINLP	: Mixed Integer Non-Linear Programming (Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama)
MIP	: Mixed Integer Programming (Karma Tamsayılı Programlama)
NMEXCLP	: Nonlinear Maximum Expected Covering Location Problem (Doğrusal Olmayan Maksimum Beklenen Kapsama Lokasyon Problemi)
NP	: Non-Deterministic-Polynomial Time
OvS	: Optimisation Via Simulation (Simülasyon Yoluyla Optimizasyon)
PSO-BP	: Parçacık Sürü Optimizasyonu-Bileşik Parçacık
TLA	: Tangent Line Approximation (Teğet Doğru Yaklaşımı)

TÜRKÇE ÖZ

YER SEÇİMİ, BOYUTLANDIRMA VE ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİNİN MODELLENMESİ VE ÇÖZÜMÜ

Büşra Sultan BAYAT

Millî Savunma Üniversitesi Atatürk Stratejik Araştırmalar ve
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İstanbul, Temmuz 2023

Bu tezde, stratejik ve operasyonel kararlar olan tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır. Tedarik zinciri kararlarını yönetmek, maliyetlerini azaltmaya ve hizmet seviyelerini iyileştirmeye çalışan firmalar için önemli bir zorluk haline gelmiştir. Tipik bir tedarik zincirinin temel kararları, tesislerin sayısını, konumunu ve büyüklüğünü belirlemek, tedarikçilerden malzemeleri nasıl temin edeceklerini ve tedarik noktalarına nasıl dağıtacaklarını belirlemektir. Bu nedenle, Karma Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama (MINLP) modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelde, bazı şubeler merkezlere atanmıştır ve bu merkezlerden hizmet almaktadır. Ayrıca, bu şubeler kapsadıkları müşterilere hizmet vermektedir. MINLP modeli, en uygun merkezi belirlemeyi, şube sayısını, yerini, hangi şubelerin hangi merkezlere atanacağını, şubelerin boyutunu ve haftalık merkezlerden şubelere giden araç rotalarını bulmayı hedeflemektedir. Başlangıçta, ticari çözümler kullanılarak küçük boyutlu örneklerle çözümler elde edilmiştir. Ancak, orta ve büyük ölçekli problemler karmaşıklık sebebiyle kısa zamanda çözülememiştir. Bu nedenle, optimum ve optimuma yakın çözümler bulmak amacıyla iki aşamalı Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (MILP) yöntemi geliştirilmiştir. Bu çözüm yöntemi ile MINLP performansları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kademeli kapsama, yer seçimi, boyutlandırma, envanter rotalama problemi.

Bilim Kodu: 90610

Sayfa Sayısı: xiii+46

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ertan YAKICI

Tez Eş Danışmanı: Doç. Dr. Mümtaz KARATAŞ

ABSTRACT

MODELING AND SOLUTION OF LOCATION, SIZING AND INVENTORY ROUTING PROBLEM

Büşra Sultan BAYAT

Turkish National Defense University Atatürk Strategic Studies and
Graduate Institute
İstanbul, July 2023

In this thesis, a supply chain network with strategic, and operational decisions has been designed. Managing supply chain decisions has become a significant challenge for companies aiming to reduce costs and improve service levels. The fundamental decisions of a typical supply chain include determining the number, location, and size of facilities, as well as how to source materials from suppliers and distribute them to the points of supply. Therefore, a Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP) model has been developed. In the proposed model, certain branches are assigned to centers and receive services from these centers. Additionally, these branches provide services to the customers they cover. The MINLP model aims to determine the optimal center, the number of branches, their locations, which branches are assigned to which centers, the size of the branches, and the weekly vehicle routes from centers to branches. Initially, solutions were obtained using commercial solvers with small-sized examples. However, medium and large-scale problems could not be solved quickly due to complexity. Therefore, a two-stage Mixed Integer Linear Programming (MILP) method was developed to find optimal and near-optimal solutions. This solution method was compared with the performance of MINLP.

Keywords: Gradual coverage, location selection, sizing, inventory routing problem.

Science Code: 90610

Pages: xiii+46

Supervisor: Assoc. Prof. Ertan YAKICI, Ph.D.

Co-supervisor: Assoc. Prof. Mümtaz KARATAŞ, Ph.D.

1. GİRİŞ

Günümüzde, kamu ve özel sektör şirketleri, verimliliklerini artırmak için tedarik zinciri kararlarıyla ilgili organizasyonlarına dikkat etmektedir. Bu nedenle, tedarik zinciri ve ağ tasarım kararlarını yönetmek, maliyetlerini azaltmaya ve hizmet seviyelerini iyileştirmeye çalışan firmalar için önemli bir zorluk haline gelmiştir. Tipik bir tedarik zincirinin temel kararları, tesislerin sayısını, konumunu ve büyüklüğünü belirlemek, tedarikçilerden malzemeleri nasıl temin edeceklerini ve tedarik noktalarına nasıl dağıtacaklarını belirlemektir. Sonuç olarak, gelişmiş bir sistem için etkili tedarik zinciri stratejileri, farklı karar düzeylerini içermeli ve entegre bir yaklaşım kullanmalıdır.

Lojistik ağı olarak da adlandırılan tedarik zinciri, planlama ve zaman dilimlerine göre üç karar düzeyine sahiptir. Bunlar stratejik, taktik ve operasyonel seviyede kararlardır. Stratejik kararlar, uzun vadeli etkilere sahip olan lojistik ağ tasarımı, tesis konumu, kapasite belirleme, depo düzeni ve filo büyüklüğünü içerir. Stratejik kararlar genellikle tahmine dayalı toplu veriler kullanır. Taktik kararlar, orta düzeyde sermaye yatırımları, üretim ve dağıtım planlaması ve kaynak tahsisi gibi yıllık, yarı yıllık veya mevsimsel zaman dilimlerine göre alınır. Bu kararlar, tahmin edilen ayrıntılı verilere dayanır. Operasyonel kararlar, günlük operasyonlar veya gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilen ve günlük sevkiyatlar, araç gönderimi veya sipariş toplama gibi dar bir kapsama sahiptir. Bunlar düşük maliyetli işlemlerdir ve çok ayrıntılı verilere dayanırlar.

Genel kapsamda, tedarik zinciri ağ tasarımı problemlerinde, üç katman bulunur: tedarikçiler (merkezler), dağıtım noktaları (şubeler) ve talep noktaları (müşteriler). Merkezlerden şubelere malzemeler gönderilir ve şubeler de müşterilerin taleplerini karşılar. İstenilen müşteri hizmet seviyesini sağlamak için bir şubede önceden belirlenmiş bir envanter seviyesi tutulur.

Bu tezin motivasyonu, askeri lojistik sisteminin öneminden kaynaklanmaktadır. Askeri lojistik, savunma sanayinin hayati bir parçasıdır. Bu nedenle, askeri lojistik sisteminin başarısı harekât kabiliyeti başarısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bir

askeri lojistik sisteminin tabi olduğu hususlar, mevzuatlar, envanter yönetimi, buna bağlı depoların kurulum yerleri ve lojistiğin gerçekteştiği ortamlardır. Ayrıca, operasyonel seviyede askeri lojistiğin hızı ve etkinliği de hayati öneme sahiptir. Bu sebeple, çalışmada tesislerin yerleşimine ilişkin karar stratejik, envanter ve rotalamaya ilişkin kararlar operasyonel seviyede ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasında, tesislerin (merkez ve şube) konumunu, şubelerin boyutunu, envanter kararlarını ve araç rotalama yönünü dikkate alarak bir MINLP formülasyonu geliştirilmiştir. Modeli doğrusallaştırmak için iki aşamalı bir çözüm yöntemi ele alınmıştır. İlk aşamada, kademeli kapsama konseptini benimsediğimiz yer seçimi ve boyutlandırma problemi için MINLP formülasyonu geliştirilmiştir. GAMS modelleme programındaki SCIP ticari çözücüsü kullanılmıştır. Daha sonra, formülasyonu doğrusallaştırabilmek için Teğet Doğru Yaklaşımı (TLA) kullanılmıştır. İkinci aşamada ise, ERP'ye yönelik MILP formülasyonu geliştirilmiştir. Çözüm yöntemi kapsamında doğrusallaştırılmış modeller için de GAMS modelleme programındaki CPLEX ticari çözücüsü kullanılmıştır.

Bu çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Yer seçimi, boyutlandırma ve envanter rotalama problemi ile ilişkili literatür taraması Bölüm 2'de yapılmıştır. Bölüm 3'te problem tanımı ve varsayımlar açıklanmıştır. Matematiksel modele Bölüm 4'te yer verilmiştir. Bölüm 5'te, çözüm yöntemi sunulmuştur. Sayısal denemeler ise Bölüm 6'da yapılmıştır. Sonuç kısmı Bölüm 7'de açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, yer seçimi, boyutlandırma ile envanter rotalama problemi ve iki problemin birlikte ele alındığı çalışmalara ilişkin literatür taraması yapılmıştır.

2.1. Yer Seçimi ve Boyutlandırma Problemi

Yer seçimi ve boyutlandırma probleminde kademeli kapsama konsepti benimsenmiştir. Bu sebeple, probleme ilişkin literatür taramasında tesislerin yer seçimine ve boyutuna karar verirken kademeli kapsama konsepti benimseyen çalışmalar ağırlıklı olarak ele alınmıştır.

Yer seçimi modelleri, lojistik, tedarik zinciri tasarımı, telekomünikasyon, kamu altyapı planlaması ve birçok endüstriyel ve kamu sektöründe karar destek araçlarının temel unsurlarını oluşturmaktadır. Birçok uygulamada, müşterilerin tesisler tarafından ikili olarak kapsanmadığı, ancak tesislere olan mesafeye göre kademeli olarak kapsandığı olasıdır. Ayrıca, müşteriler tek bir şube tarafından değil, onlara ortaklaşa hizmet veren şubeler tarafından hizmet alabilmektedir. Miranda ve Sinl (2019)'nin çalışmasında, Çok Kademeli Lokasyon Kapsama Problemi (MGCLP) incelenmiştir.

Çalışmada, MGCLP'yi çözmek için ilk kesin çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Özellikle, MGCLP için dört farklı MIP formülasyonu geliştirilmiştir. Daha sonra bu formülasyonlara dayanan Dal ve Kesme (Branch and Cut) metodu geliştirilmiştir. Analiz aşamasında ise farklı özelliklere sahip yeni örnekler ile çözüm aranmıştır.

Aynı şirket tarafından kontrol edilen m yeni perakende veya hizmet tesisinin, benzer ürün veya hizmet sunan bazı diğer tesislerin zaten bulunduğu bir alanda yerleştirilmesi problemi ele alınmıştır. Yeni tesisler, önceden var olanlarla müşteri talebi için rekabet etmektedir. Bu çalışmada, şirket tarafından kontrol edilen tüm tesislerde görülen toplam müşteri talebinin en yüksek olduğu yeni tesisler için bir optimal yerleşim kümesi bulmak amaçlanmıştır.

Averbakh vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, bir ağ üzerinde Kooperatif Maksimum Kapsama Lokasyon Problemi (C-MCLP) ele alınmıştır. Bu modelde, her

bir tesisin belirli bir sinyal yaydığı ve bu sinyal gücünün bir sinyal gücü fonksiyonu tarafından mesafeye göre azaldığı varsayılmıştır. Talep noktası, tüm tesislerden iletilen toplam sinyal, önceden belirlenmiş bir eşik değerini aştığında kapsanmış sayılmıştır. Amaç, tesisleri yerleştirmek ve toplam kapsanan talebi maksimize etmektir. İki tesisi kapsayan problem için, doğrusal ve parçalı doğrusal sinyal gücü fonksiyonları için algoritmalar sunulmuştur. p -tesisli problem için, küçük örneklerde kullanılabilir bir MIP formülasyonu ve büyük örnekler için kullanılabilir iki sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Berman vd. (2010)'nin çalışmasında, kademeli kapsama modelleri, kooperatif kapsama modeli ve değişken yarıçaplı model sınıflarının özetini sunulmuştur. Kademeli kapsama modelleri ile kapsanan talep oranını temsil eden genel bir kapsama işlevi olan "tamamı ya da hiçbiri" varsayımını gevşetmeyi amaçlamıştır. Kooperatif kapsama modelinde ise tüm tesislerin her talep noktasının kapsamasına katkıda bulunduğu bir mekanizmayla "bireysel kapsama" varsayımını değiştirmek için tasarlanmıştır. Bunun için kapsama, tesisler tarafından bir "sinyal" iletimi olarak görülmektedir. Her tesis tarafından iletilen sinyal, uzaklıkla birlikte azalır. Ancak, her talep noktasında alınan sinyal, tüm tesislerin iletimlerinin toplamıdır. Eğer talep noktasındaki sinyal gücü belirli bir eşiği aşarsa nokta kapsanmış, aksi takdirde kapsanmamış sayılmıştır. Değişken yarıçaplı model, kapsama yarıçapı varsayımını gevşetmek için tasarlanmıştır. Kapsama yarıçapı modelinde tesis maliyeti belirlenmiştir. Böylece, belirlenmiş sayıda tesis yerine, karar vericinin farklı tiplerde tesisler inşa etmek için belirli bir bütçesi vardır ve daha büyük (pahalı) tesisler daha büyük kapsama yarıçapına sahiptir.

Kesikli kooperatif kapsama problemleri, Berman vd. (2011) tarafından ele alınmıştır. Her tesisten bir sinyal yayılmakta ve sinyal mesafeye göre azalmaktadır. Her talep noktası tüm tesislerden yayılan toplam sinyale göre kapsanmaktadır. Bir talep noktasındaki birikimli sinyal belirli bir eşiği aştığında kapsanmış sayılmaktadır. Çalışmanın amacı, potansiyel noktaların verildiği bir kümeden p tesis için konumları seçerek kapsamı maksimize etmektir. Maksimum kapsama yaklaşımı ile çözülebilen diğer iki problem küme kapsama ve p -merkez problemlerine eşdeğerdir. Çalışmada, optimal çözüm veren model ve sezgisel algoritmalar önerilmiştir.

Berman vd. (2018)'nin çalışmasında, bir talep noktasının tamamen kapsanıp kapsanmadığı yerine kısmen kapsanabileceği olasılığı dikkate alınarak, kapsama yerleşim modelleri incelenmiştir. Birden çok tesise ait ortak kısmi kapsama sorunu

ele alınmıştır. Ortak kapsama ilişkisinin bireysel kısmi kapsamalara etkisi için teorik temeller oluşturulmuştur. Bu teorik temellere dayalı modeller geliştirilmiştir. Yerleşim problemleri, optimal çözümün belirli bir yüzdesi içinde hem sezgisel hem de optimal olarak çözülmüştür.

Drezner ve Drezner (2013) tarafından yapılan çalışmada, kademeli kapsamaya sahip çoklu tesis yerleşim problemi ele alınmıştır. Kademeli kapsama, bir talep noktasının tesis tarafından belirli bir mesafeye kadar tamamen kapsanması anlamına gelmektedir. Başka bir mesafenin ötesinde talep noktası hiçbir şekilde kapsanmaz. Bu iki mesafe arasında talep noktası kısmen kapsanmaktadır. p tesis olduğunda, her talep noktasının kapsaması belirli bir formülle hesaplanmıştır. Bu durumda, p tesisler için konumları bulmak ve toplam kapsamayı maksimize etmek amaçlanmıştır. Bu makalede, her talep noktasının minimum kapsamasını maksimize etmek için başka bir amaçla model formüle edilmiştir. Çözüm yöntemi olarak sezgisel algoritmalar önerilmiştir.

Drezner vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada kapsama modelleri ele alınmıştır. Tesise belirli bir mesafe uzaklıkta olan bir talep noktasının kapsandığı, mesafenin dışında kalan durumda kapsanmadığı varsayılmıştır. Kademeli kapsama modellerinde ise bir talep noktasının, tesisten belirli bir mesafe uzaklıkta olması durumunda tamamen kapsandığı ve kapsama yavaş yavaş azaldıktan sonra daha büyük bir mesafede tamamen kapsanmadığı varsayılmıştır. Kademeli kapsama modelleri, kapsamadaki kesintiyle ilgili sorunu ele almaktadır. Bu makalede sunulan stokastik kademeli kapsama modelinde, kademeli kapsama modellerinde kullanılan kısa ve uzun mesafelerin rastgele değişkenler olduğu varsayılmıştır. Bu kademeli kapsama modellerinin geliştirilmiş bir sürümü, birçok durumda gerçek davranışın daha gerçekçi bir gösterimini sağlamıştır. Yeni konsept temelinde maksimum kapsama modeli analiz edilmiştir.

Karatas ve Onggo (2019) tarafından yapılan çalışmada, kapsama problemi başlığı altında üç model geliştirilmiştir. İlk iki model tamsayılı doğrusal olmayan programlama (INLP) ve tamsayılı doğrusal programlama (ILP) matematiksel modelleridir. Üçüncüsü ise simülasyon yoluyla optimizasyon (OvS) modelidir. Modellerde, çoklu sensör ve hedef tipleri, olasılıksal algılama fonksiyonu, sensör güvenilirliği, iletişim menzili, iletişim girişimi, ağ topolojisi ve bütçe kısıtları dikkate alınmıştır. Deney sonuçlarına göre, INLP çözümlerinin ILP global optimum çözümlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. INLP modeli, sadece küçük problemler

için pratiklik sağlamıştır. ILP ve OvS modelleri ise daha büyük problemlerle başa çıkabilmiştir. ILP ile çözmek için, ILP modelini yeniden formüle etmek gerekmiştir. Ancak bu işlemin oldukça zor olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, çalışmadaki katkılar iki katmandan oluşmaktadır: İlk olarak modeller, literatürdeki diğer modellere göre daha ayrıntılıdır. İkincisinde ise engel kapsama problemini çözmek için OvS'nin nasıl kullanıldığı ve daha gerçekçi varsayımların ele alınmasındaki faydası gösterilmiştir.

Kademeli kapsama, işbirlikçi talep kapsama ve değişken kapsama performansı olan tesislerin bulunduğu çok amaçlı bir tesis yerleştirme problemi Karatas (2017)'in çalışmasında sunulmuştur. Hedefler, talep kapsama düzeyi gereksinimlerinden sapmaları ve tahsis edilen bütçeyi en aza indirmek şeklindedir. Kademeli kapsama performansı, değişken tesis maliyetleri ve tesis kapasiteleri doğrusal olmayan fonksiyonlar olarak ele alınmıştır. Konum problemi öncelikle çok amaçlı INLP olarak modellenmiştir. Ardından, problem ağ benzeri bir yapıya eşlenerek, eşdeğer çok amaçlı ILP geliştirilmiştir. Makul hesaplama süreleri içinde yüksek kaliteli çözümler elde etme amacıyla, birleştirilmiş INLP-ILP çözüm prosedürü önerilmiştir. Küçük, orta ve büyük boyutlu sorunlar için rastgele oluşturulan veriler üzerinde kapsamlı hesaplamalı deneyler yapılmıştır. Detaylı sonuçlar sunulmuş ve birleştirilmiş INLP-ILP prosedürünün etkili olduğu gösterilmiştir.

Karatas ve Dasci (2020)'nin çalışmasında, alt düzey tesislerin (şubelerin) müşteriler için ilk temas noktası olarak hareket ettiği ve üst düzey tesislerin (merkezlerin) şubelere tedarikçi olarak hareket ettiği veya hizmetleri sağladığı sistemler için iki aşamalı hiyerarşik bir yerleşim problemi sunulmuştur. Ayrıca, daha yeni ve gerçekçi kapsama yapıları olan kademeli ve işbirlikçi kapsamaya da yer verilmiştir. Problemi çeşitli ayarlarda uygulamak mümkün olsa da çalışmada en uygun uygulama kablolu telekomünikasyon ağlarında baz istasyonlarının ve mobil anahtar merkezlerinin konumunu belirlemek amaçlanmıştır. Problemin iki rekabetçi formülasyonu geliştirilmiştir. Her biri doğrusal olmayan bileşenleri içermektedir. Daha sonra doğrusallaştırma yapılmış ve performansları test edilmiştir.

Karasakal ve Karasakal (2004) çalışmasında maksimum kapsama lokasyon problemini (MCLP) ele almıştır. Yapılan çalışmada, önceden belirlenmiş bir sayıda tesisin yerini belirleyerek talep noktalarının kapsanmasının maksimize edilmesi konusu ele alınmıştır. Bir talep noktası, minimum kritik mesafe içinde ise tamamen kapsandığı ve maksimum kritik mesafe dışında ise tamamen kapsanmamış olduğu

varsayılmıştır. Kapsama oranının bir kritik mesafe yerine bir mesafe aralığında kısmi kapsama olarak değişebilmesine izin verilmiştir. Bu makalede, kısmi kapsama varlığında MCLP formüle edilmiştir. Lagrange gevşetmesine dayalı bir çözüm prosedürü geliştirilmiştir. Yaklaşımın optimal çözüm üzerindeki etkisi klasik yaklaşımla karşılaştırarak gösterilmiştir.

Yer seçimi ve boyutlandırma problemine ilişkin incelenen çalışmaların özeti Tablo 2.1’de sunulmuştur.

Tablo 2.1: Yer Seçimi ve Boyutlandırma Problemine İlişkin Literatür Özeti.

Çalışma	Tesis Sayısı	Kapsama Tipi	Problem Tipi	Amaç
Miranda ve Sinnl (2019)	Çok	Kooperatif	Kademeli Kapsama	Karşılancak talebi maksimize etme
Averbakh vd. (2014)	Çok	Kooperatif	İkili Kapsama	Yayılan toplam sinyali maksimize etme
Berman vd. (2010)	Çok	Kooperatif	İkili Kapsama	Tesisler tarafından gönderilen sinyali maksimize etme
Berman vd. (2011)	Çok	Kooperatif	İkili Kapsama	Karşılancak talebi maksimize etme
Berman vd. (2018)	Çok	Bireysel	İkili Kapsama	Karşılancak talebi maksimize etme
Drezner ve Drezner (2013)	Çok	Kooperatif	Kademeli Kapsama	Karşılancak talebi maksimize etme
Drezner vd. (2010)	Tek	Bireysel	Kademeli Kapsama	Karşılancak talebi maksimize etme
Karatas (2017)	Çok	Kooperatif	Kademeli Kapsama	Kullanılan bütçeyi minimize etme Karşılancak talebi maksimize etme
Karatas ve Dasci (2020)	Çok	Kooperatif	Kademeli Kapsama	Karşılancak talebi maksimize etme
Karasakal ve Karasakal (2004)	Çok	Bireysel	Kademeli Kapsama	Karşılancak talebi maksimize etme

2.2. Envanter Rotalama Problemi

Cheng vd. (2016), bu makalede tek bir montaj tesisi ve birden fazla tedarikçiden oluşan bir sistemde karbon emisyonu düzenlemelerinin geleneksel ERP üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Burada aynı kapasiteye sahip araç filosu, tedarikçilerden ürünleri toplayarak montaj tesisi talebini karşılamak üzere hareket etmektedir. Toplam maliyetler sabit taşıma, yakıt tüketimi ve stok tutma maliyetleri temelinde değerlendirilmiştir.

Daha sonra, karbon emisyonu düzenlemelerinin yakıt tüketiminden kaynaklanan etkilerini ele alan bir dizi MINLP modeli önerilmiş ve doğrusallaştırma yöntemleri kullanılmıştır. Tahsis önce rotalama temelli sonra Hibrit Genetik Algoritma (HGA) önerilmiş ve bu problemlerin yakın optimal çözümlerini bulmak için kullanılmıştır.

Önerilen algoritmanın etkinliğini göstermek için sayısal denemeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, parametre duyarlılık analizlerine dayanan bir dizi yönetimsel görüş sunulmuştur.

Genel olarak, makale, karbon emisyonu düzenlemelerinin etkilerini geleneksel modelin içine dahil ederek ERP problemi ile ilgili literatüre katkıda bulunmuştur. Önerilen algoritma ve yönetimsel görüşler, çevresel etkileri dikkate alarak işletme operasyonlarını optimize etmeye çalışan karar vericilere yardımcı olmuştur.

De vd. (2017) tarafından yapılan çalışma, belirli bir zaman aralığında farklı limanlardaki talebi karşılamayı gerektiren denizcilik ERP'yi ele almıştır. Bu çalışmada, sürdürülebilirliği artırmak için gemi rotalamasında, seyir politikası entegrasyonu olasılıkları göz önüne alınmıştır. Makalede, MINLP modeli sunulmuştur. Bu kısıtlar arasında planlama ve rotalama, yükleme/boşaltma ve gemi kapasitesi kısıtlarına yer verilmiştir. Model, yakıt tüketimi ile gemi hızı arasındaki ilişkiyi yakalamak için doğrusal olmayan bir formülasyon içermektedir. Ayrıca, her limandaki hizmet seviyesini artırmak için birkaç zaman periyodu kısıtlaması da modele dahil edilmiştir. İşlemler, zaman periyodunun başlangıcından önce veya sonrasında tamamlanırsa, uygun liman disiplini korumak için gemiye cezai işlem (ceza maliyetleri) uygulanmaktadır. Problemin doğasından kaynaklanan karmaşıklığı nedeniyle, makalede, Parçacık Sürü Optimizasyonu-Bileşik Parçacık (PSO-BP) adlı etkili bir arama sezgisel algoritması kullanılmıştır. Temel PSO ve GA da, PSO-BP'den elde edilen sonuçları doğrulamak için kullanılmıştır. Bu kapsamda, sayısal deneme sonuçları ile PSO-BP'nin elde edilen çözüm açısından diğer algoritmalarından daha üstün olduğu gösterilmiştir.

Evde sağlık hizmetleri ve tıbbi bakım hizmetleri ile atılan atık malzemelerin hızlı bir şekilde artması, ayrıca kendilerini tedavi eden hastalar tarafından da atık malzemelerin artması, sağlık atıklarının güvenli bertarafı konusunda ciddi bir endişeye neden olmaktadır. Nolz vd. (2014)'nin konuya ilişkin yapmış olduğu çalışmada, tıbbi atıkların toplanması için bir toplama sistemi tasarımı ele alınmıştır.

Bu atık malzemeler, kendilerini tedavi eden hastalar tarafından üretilip, eczanelerde depolanıp ve yerel yetkililer tarafından alınmaktadır.

Stokastik atık toplama problemi, iki çelişen amaç fonksiyonunu dikkate alarak formüle edilmiştir. Toplama sürecinde yer alan eczacıların ve yerel yetkililerin memnuniyeti ile halk sağlığı risklerinin azaltılması sosyal amaçlar olarak kabul edilirken, rota maliyetleri ve her bir tur planlandığında oluşan sabit maliyetler de dağıtım maliyetleri olarak dikkate alınmıştır. Gerçek dünya örneklerinden esinlenerek üç sezgisel çözüm yaklaşımı önerilmiştir.

Habibi vd. (2017)'nin çalışmasında, tersine lojistik zincirinin ve parça sökme işlemlerinin, atık elektrikli ve elektronik ekipman yükünün üstesinden gelmek için giderek daha önemli hale geldiği belirtilmiştir. Parça sökme işleminin karmaşıklığı ve sık sık manuel işlemlerin gerekliliği, potansiyel kârıyla karşılaştırıldığında nispeten pahalı hale gelmiştir. Ayrıca, atık ürünlerin toplanması da araç rotalarını planlama açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle, atık ürünlerin toplanması ve parça sökme işlemlerine ilişkin kararların optimize edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, bu problemleri ele almak için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada, koordinasyonlu bir şekilde toplama ve parça sökme işlemlerinin birlikte optimize edilmesi ile tersine lojistik zincirinin genel performansı artmıştır. Bu, toplam maliyetlerin düşürülmesinin yanı sıra bileşen talep tatmininin iyileştirilmesini de içermektedir.

Hu vd. (2017) tarafından yapılan çalışma, endüstriyel yaşamı sürdürmek için elzem olan ancak toksik içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığına zararlı olan tehlikeli maddelerin taşıma riskine odaklanmıştır. Bu çalışmada, tedarikçiler, üreticiler ve perakendeciler arasındaki tehlikeli madde envanteri ve taşımacılığını dikkate alan üç seviyeli bir tedarik zinciri modeli önerilmiştir. Bu kapsamda, perakendecilerin talepleri ile risk ve maliyet arasındaki optimal dengeyi bulmak amaçlanmıştır. Araç yüklemesinin değişkenliğinin taşıma riski üzerinde önemli bir etkisi olduğu göz önüne alınarak, taşıma riski yüklemeye bağlı bir modelle formüle edilmiş, verilen risk ve maliyet seviyelerinden beklenen risk ve maliyetin pozitif sapmalarını minimize etmek için bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Hedef programlama

modeli ile başa çıkmak için iki tür gen içeren iyileştirilmiş GA tasarlanmıştır. Sayısal deneylerin sonuçları, önerilen model ve algoritmanın etkililiğini göstermektedir.

Timajchi vd. (2018) çalışmasında, bir sağlık ağındaki tehlikeli ve bozulabilen ilaçların ERP'sine odaklanılmıştır. Her hastanenin talebi, sonlu bir planlama süresi boyunca deterministik ancak zamanla değiştiği varsayımı altında, merkezi eczaneden veya diğer ilgili hastanelerin ilaç depolarından aktarma seçeneğiyle karşılanabilmektedir. İlaçlar depolama süresi boyunca sabit bir oranda bozulmaktadır.

Çalışmada, iki amaçlı karma tamsayı matematiksel programlama modeli önerilmiştir. İlk olarak, sipariş, taşıma, teslimat, toplama, eksiklik ve envanter tutma maliyetlerini içeren lojistik toplam maliyetini en aza indirmeyi amaçlanmaktadır. İkinci amaç fonksiyonu, dağıtım sırasında tüm dönemlerdeki maksimum kaza kaybını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kaza kaybını dikkate almak için, her rotada kazanın meydana gelme olasılığı ve şiddet indeksi olmak üzere iki temel parametre tahmin edilmiştir.

Önerilen model ile talebi karşılamak için en iyi rota seçeneklerini kullanarak maliyetleri ve kaza kaybını aynı anda en aza indirmeyi amaçlanmıştır. Çeşitli sayısal örnekler CPLEX ve verimli bir HGA kullanılarak çözülmüş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, rotaları kaydederek ekonomik tedarik ağı performansını artırmaya yardımcı olmanın yanı sıra, sistemin riskli rotalardan kaçınmasına da yardımcı olduğunu göstermiştir.

Coelho ve Laporte (2014) makalesinde, raf ömrüne sahip ürünlerin ne zaman, nasıl ve ne kadar yenilenmesi gerektiğini incelemiştir. Bu çalışma, bozulabilir ürünlerin birlikte yenilenmesi, teslimatından kaynaklanan sorunlar ve genel varsayımlar altında modellenmiştir. Problem, kesin bir Dal ve Kesme algoritması kullanılarak çözülmüş ve performansı rastgele oluşturulmuş bir dizi örnekte test edilmiştir. Algoritma, en fazla iki dönem için bozulabilir ürün ve 30 müşteri ile olan örnekler için optimal çözümler hesaplamıştır. En fazla 50 müşteri olan örnekler için ortalama % 1.5'ten de az olan bir optimalite boşluğu vardır.

Envanter rotalama problemine ilişkin incelenen çalışmaların özeti Tablo 2.2'de sunulmuştur.

Tablo 2.2: Envanter Rotalama Problemine İlişkin Literatür Özeti.

Çalışma	Amaç Fonksiyonu	Amaç	Uygulama Alanı
Cheng vd. (2016)	Tek	Envanter ve rotalama maliyetini minimize etme	Jenerik
De vd.(2017)	Tek	Envanter ve rotalama maliyetini minimize etme	Denizyolu konteyner dağıtımı
Nolz vd. (2014)	Çok	Toplam maliyeti minimize etme Tıbbi atık envanterini en aza indirme	Tıbbi atık toplama
Habibi vd. (2017)	Tek	Envanter ve rotalama maliyetini minimize etme	Jenerik
Hu vd. (2017)	Çok	Toplam maliyeti minimize etme Tehlikeli malzemelere maruz kalma riskini minimize etme	Tehlikeli madde dağıtımı
Timajchi vd. (2018)	Çok	Toplam maliyeti minimize etme Müşteri memnuniyetsizliğini en aza indirme	Farma ürünleri dağıtımı
Coelho ve Laporte (2014)	Tek	Envanter ve rotalama maliyetini minimize etme	Jenerik

2.3. Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi

Hiassat ve Diabat (2011), tek bir tedarikçinin ve birden fazla perakendecinin tedarik zincirindeki rotalama maliyetlerini ele alan ERP'yi çözmek için matematiksel model önermiştir. Dağıtılan ürün belirli bir raf ömrüne sahip malzemelerden oluşmaktadır. Bu çalışmada, depo sayısının ve konumunun optimal olarak belirlenmesi ile müşterilerin bu depolara tahsisini sağlamak amaçlanmıştır. Problemi çözmek için GAMS yazılımı kullanılmıştır ve küçük ölçekli örneklerin sonuçları gösterilmiştir.

Sayısal çalışmaların sonuçları ile tedarik zinciri yönetiminde farklı karar seviyelerinin entegrasyonunun faydaları gösterilmiştir. Çalışma, depo konumu ve

müşteri tahsisinde maliyet ile müşteri hizmetini dengeleyen bilinçli kararlar vermenin bir yolunu sağlayarak tedarik zinciri yöneticilerine öngörüler sunmaktadır.

Hiassat vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, ürünler için yer seçimi ve envanter rotalama modeli ele alınmıştır. Model, gerekli depo sayısını ve konumunu, her perakende satıcının envanter seviyesini ve her aracın seyahat edeceği rotaları belirlemektedir. Önerilen model, ERP'ye konum kararlarını ekleyerek daha pratik hale getirilmiştir. Bu da stratejik, taktik ve operasyonel düzey kararlarının entegrasyonunun tedarik zincirleri için daha iyi sonuçlar ürettiği yaygın iddiasını desteklemektedir.

Bu çalışmada geliştirilen model, NP-Zor olduğundan, polinom zamanlı bir algoritma ile çözülememiştir. Bu nedenle, GA yaklaşımı geliştirilerek problemin verimli bir şekilde çözülmesi amaçlanmıştır. Bu yaklaşım, makul bir sürede yüksek kaliteli, neredeyse optimal çözümler sunmuştur.

Son olarak, algoritmanın etkinliğini doğrulamak için bir analiz yapılmıştır. Bu çalışma, depo konumlandırma ve müşteri dağılımı gibi konularda karar vericilerin bilinçli kararlar alması için önemli bir model sunmuştur.

Granada ve Silva (2012)'nin çalışması, müşteri taleplerini karşılamak için rotaları belirlerken depoların konumunu belirleyen ve toplam sistem maliyetini en aza indiren envanter yönetimini seçen ERP ve yer seçimi için bir çözüm yöntemi önermektedir. Yer seçimi ve ERP olarak ayırtırmak için derinlemesine arama algoritması kullanılarak problem çözülmüştür. Algoritma rastgele oluşturulan örnekler üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar yöntemin küçük boyutlu problemler için verimli olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, tedarik zinciri yöneticilerine, maliyet tasarrufu ve müşteri hizmetlerinde iyileşme için envanter yönetimi, rotalama ve lokasyon kararlarını optimize etme konusunda bilgi sağlamaktadır.

Ghorbani ve Jokar (2016) tarafından hazırlanan makalede, tedarikçiler, depolar ve müşterileri içeren üç seviyeli bir tedarik zincirinde atama, envanter ve rota kararları alınması gereken çoklu ürün ve çok dönemli yer seçimi ve ERP'ye odaklanılmıştır. Homojen bir filo tarafından depolardan müşterilere ürünler dağıtılırken, her müşterinin talebinin önceden belirlenmiş olduğu varsayılmıştır. Problem, karma tamsayı programlama formülasyonu kullanılarak tanımlanmış ve çözmek için simüle edilmiş sezgisel algoritmalara dayanan yeni bir hibrit algoritma önerilmiştir.

Önerilen algoritmanın verimliliği kapsamlı sayısal örneklerle değerlendirilmiştir. Küçük ve büyük örnekler için simüle edilmiş tavlama algoritmasıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, tedarik zinciri yöneticilerine yer seçimi, envanter ve rota kararlarını optimize etmek için daha verimli ve maliyet tasarrufu sağlayacak ipuçları sunmaktadır.

Nekooghadirli vd. (2014)'nin çalışması ile çok dönemli ve çoklu ürün sistemlerini ele alan yeni bir çift hedefli yer seçimi ve ERP modeli sunulmuştur. Modelde, müşteriler arasındaki olasılıksal seyahat süresi ve her bir ürün için stokta oluşabilecek stok değişkenliği dikkate alınmıştır. Stratejik ve taktik kararlar sırasıyla yerleşim ve stok yönetimi ile rotalama için alınmıştır. Müşterilerin belirsiz talepleri normal bir dağılım izlemiştir. Her araç, müşteri talebini karşılamak için tüm ürün tiplerini taşıyabilmektedir. Her bir dağıtım merkezi, stok sıkıntısı olmaksızın belirli bir miktarda güvenlik stoku tutmaktadır. İki hedefli problemde, toplam maliyeti ve müşterilere ürün teslimatı için maksimum ortalama zamanı minimize etmek amaçlanmıştır.

Guerrero vd. (2015)'nin çalışması, rota kararlarıyla birlikte bir tedarik zinciri tasarlama sorununu ele almaktadır. Amaç, aday bir depo kümesinden açılacak bir alt küme seçmek, iki katmanlı bir sistem için envanter politikalarını belirlemek ve belirli bir planlama süresi boyunca homojen bir araç filosuyla dağıtım için rotaları seçmektir. Deterministik talep dikkate alınmıştır. Önerilen çözümde, rota değişkenleri için bir Dantzig-Wolfe formülasyonu kullanılmıştır. Lagrangian gevşetmesi ve yerel arama ile birleştirilmektedir. Sonuçların hesaplama konusunda etkili olduğu görülmüştür. Maliyet açısından %9'a kadar bir azalma sağlanmıştır. Çalışma ayrıca, kentsel ulaşımda ve telekomünikasyonda uygulamaları olan en kısa yol problemi için yeni bir varyant tanıtmıştır.

Yer seçimi ve envanter rotalama problemine ilişkin incelenen çalışmaların özeti Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3: Yer seçimi ve ERP'ye İlişkin Literatür Özeti

Çalışma	Ürün Tipi	Talep Tipi	Filo Tipi	Çözüm Metodu
Hiassat ve Diabat (2011)	Tek	Deterministik	Homojen	Yalnız küçük boyutlu örnekler için GAMS kullanılmış
Hiassat vd. (2017)	Tek	Deterministik	Homojen	Tavlama benzetimi
Granada ve Silva (2012)	Tek	Deterministik	Homojen	Sütun üretime tekniğine dayanan hiyerarşik metot
Ghorbani ve Jokar (2016)	Birden Fazla	Deterministik	Homojen	Tavlama benzetimi
Nekooghadirli vd. (2014)	Birden Fazla	Stokastik	Homojen	Sıralı sezgisel metot
Guerrero vd. (2015)	Tek	Deterministik	Homojen	Tavlama benzetimi

Literatürde, ERP ile kademeli kapsama konsepti göz önüne alınarak yer seçimi ve boyutlandırma problemi üzerine ayrı ayrı çalışmalar yapılmıştır. Yer seçimi ve ERP'nin birlikte ele alındığı çalışmalarda ise karar vericiye tesis lokasyonları, tesisler arası ürün tedariki sağlayacak araç rotaları ve araçların taşıyacağı ürün miktarı hakkında yardımcı olunmuştur. Ancak, tesislerin boyutunun ne olması gerektiğine yönelik bilgi sağlanmamıştır. Ayrıca bu çalışmalarda, kademeli kapsama konsepti benimsenmemiştir. Bu tez çalışması ile karar vericiye, stratejik seviyede bir karar olan tesis boyutlarına ve operasyonel seviyede olan envanter miktarlarına ilişkin kısa zamanda karar desteği sağlanmaktadır.

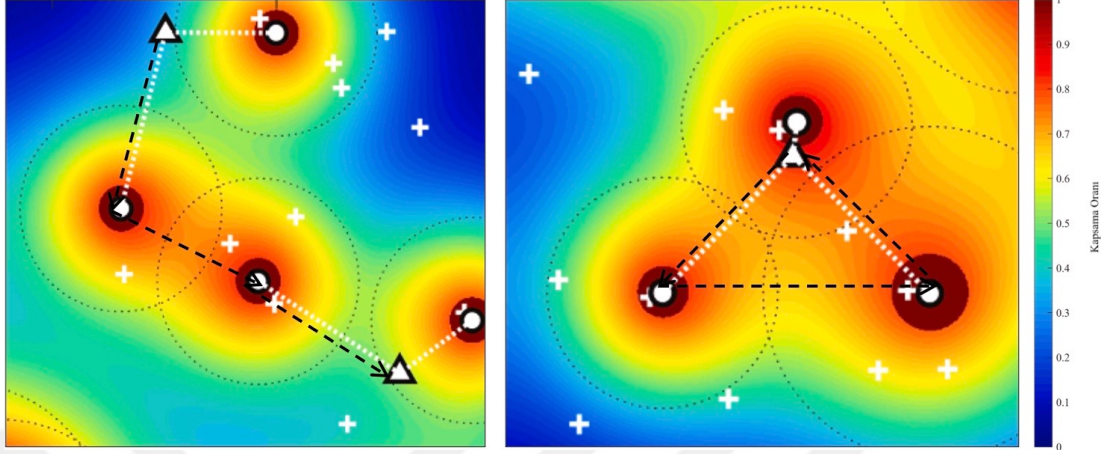
3. PROBLEM TANIMI VE VARSAYIMLAR

Bu çalışmada, her biri göreceli öneme (w_i) sahip olan talep noktaları ($i \in I$) kümesi ele alınmıştır. Aday şube ve merkez lokasyonları $j \in J$ ve $k \in K$ kümeleri ile temsil edilmiştir. Tüm aday lokasyonlarının ve talep noktalarının sabit ve bilinen olduğu varsayılmıştır. Şube lokasyonlarının yanı sıra, bu şubelerin boyutlarının seçimi de dikkate alınmıştır. Her şube boyutu için bir dizi boyut kümesi ($m \in M$) bulunmaktadır. Bir şube boyutu için $j \in J$ lokasyonundaki şubenin kurulum maliyeti b_{jm} , $k \in K$ lokasyonundaki merkezin kurulum maliyeti c_k ile temsil edilmiştir. Bir şubenin birden fazla merkezden hizmet alabileceği varsayılmıştır. Bir şubenin bir merkeze atama maliyeti γ_{jk} olarak tanımlanmıştır. Bu maliyet, boyutlar ile bağlantılı olmayıp, sadece şubeler ile merkezler arasındaki mesafe (d_{kj}^{MS}) ile ilişkilidir. Ayrıca, şubelerin ihtiyaç duyduğu ürün miktarı ϕ_m bilinmektedir. Bu ihtiyaca göre merkezlerden hareket eden ($h \in H$) araçlar asgari ve azami stok seviyesini (L_m ve U_m) de göz önüne alarak şubelere ürün tedariki sağlamaktadır. Ayrıca, araçların tek seferde taşıyabileceği maksimum ürün miktarı (Q^v) ile yapabileceği maksimum mesafe (L) da dikkate alınarak araç rotaları belirlenmektedir. Bu kapsamda, merkezlerin ve şubelerin kurulum maliyetleri, dağıtım maliyeti adı altında şubelerin merkeze atama maliyeti ve rotalama maliyetleri dikkate alınmıştır. Probleme belirli bir bütçe (B) içerisinde çözüm aranmıştır.

Bu bağlamda, talep noktalarının kapsama oranını maksimize edecek şekilde aday lokasyonlar arasından kurulacak merkez ile şube lokasyonlarına ve müşterilere hizmet sağlayacak şubelerin boyutlarına karar verilmektedir. Ayrıca, merkezler ve şubeler arasında atama yapılmaktadır. Yapılan atama neticesine göre şubelerin ihtiyacını karşılayacak olan merkezden/merkezlerden araç hareket etmektedir.

Şubelerin talep noktalarını kapsama oranı (p_{ijm}) hesaplamasında, Berman, Krass ve Drezner'in (2003) ile Karatas ve Dasci'nin (2020) çalışmalarında yer alan kademeli kapsama konsepti benimsenmiştir. Örnek görsel Şekil 3.1'de, eğer talep noktası ile şube arasındaki mesafe (d_{ij}^{TS}), bir talep noktasının en yakın tesise olan uzaklığı

önceden belirlenmiş minimum kritik mesafeden (d_m^l) küçük ise tamamen kapsandığı (koyu kırmızı alan), maksimum kritik mesafeden (d_m^u) büyük ise kapsanmadığı (mavi alanlar) gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Farklı $t \in T$ gününde merkezlerden (‘Δ’ ile gösterilen) şubelere (‘●’ ile gösterilen) giden araçlara ait rotalara (siyah kesikli doğrularla gösterilen) ve şubelerin talep noktalarını (‘+’ ile gösterilen) kapsama durumları ile şubelerin atanmış olduğu merkezlere (beyaz kesikli çizgi ile gösterilen) ilişkin örnek görsel.

Kademeli kapsama konsepti, bir talep noktasının tamamen karşılanabileceğini, kısmen karşılanabileceğini ya da karşılanamayacağını ele alır.

- i. $m \in M$ boyutunda açılmış bir şubenin tamamen bir talep noktasını kapsaması için en az d_m^l mesafesi içinde olmalıdır. Bu durumda, eğer $d_{ij}^{TS} \leq d_m^l$ ise o talep noktası tamamen kapsanır.
- ii. Maksimum kritik değerden (d_m^u) daha uzak olan bir talep noktası, o şube tarafından kapsanmamaktadır, $d_{ij}^{TS} \geq d_m^u$.
- iii. Eğer $d_m^l \leq d_{ij}^{TS} \leq d_m^u$ ise talep noktası kısmen kapsanır.

Kademeli kapsama fonksiyonunun belirlenmesi aşamasında, literatürde mevcut üstel, kübik, elfes, polinom, doğrusal formüller arasından Doğan vd. (2020) tarafından yapılan tez çalışmasındaki üstel fonksiyon kullanılmıştır. p_{ijm} ’nin hesaplanmasında kullanılan formül (3.1)’de sunulmuştur.

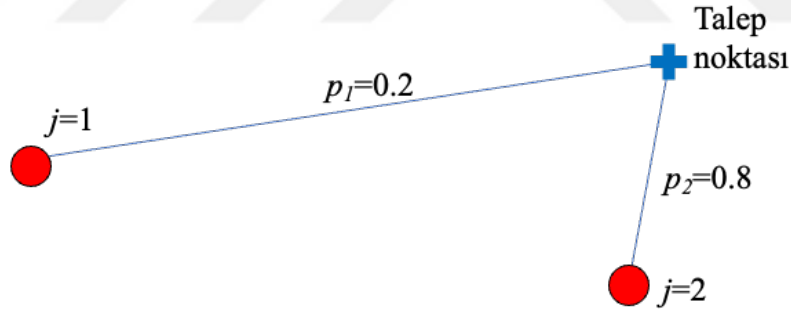
$$f(d_{ij}^{TS}) = \begin{cases} 1, & d_{ij}^{TS} \leq d_m^l \\ e^{-\rho(d_{ij}^{TS} - d_m^l)}, & d_m^l \leq d_{ij}^{TS} \leq d_m^u \\ 0, & d_{ij}^{TS} \geq d_m^u \end{cases} \quad (3.1)$$

Ayrıca, bir talep noktasının kapsanma oranı ile o şubenin boyutu arasında pozitif bir ilişkisi olduğu da beklenmektedir. Yani daha büyük şubeler daha fazla müşteri ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bu nedenle, verilen herhangi bir mesafe için p_{ijm} ile artan m arasında azalmayan bir ilişki olduğu varsayılmaktadır.

Talebin yalnızca tek bir (ve genellikle en yakın) şube tarafından karşılanabileceği şeklinde olan geleneksel modelleme varsayımından farklı olarak, ortak kapsama kavramı benimsenmiştir. Bu durum, talep paylaşımına izin vermektedir. Yani birden fazla şube aynı talep noktasının kapsanmasına katkıda bulunabilir. Ortak kapsama kavramı, pratikte de sağlam bir temele dayanmaktadır (Berman vd. 2010; Berman vd. 2018). Her bir şube için bağımsız kapsama oranı varsayılmıştır. Formül (3.2)'de, belirli bir talep noktası için genel kapsama oranı P_i hesaplanmıştır.

$$P_i = 1 - \prod_{j \in J} \prod_{m \in M_j} (1 - p_{ijm}) \quad (3.2)$$

Genel kapsama, bir müşterinin kapsama yarıçapı içindeki bir şubeye belirli bir olasılıkla (yani kapsama oranıyla) gidebileceği ve şube seçiminin birbirinden bağımsız olduğu varsayımına dayanmaktadır.



Şekil 3.2: Bir talep noktası ile açık şubelerin bulunduğu lokasyona (daire işaretiyle gösterilen) ilişkin örnek sorun.

Dolayısıyla, Şekil 3.2'de yer alan örnekte bir talep noktasının %20'si ve %80'i iki ayrı şube tarafından kapsanmaktadır. Bu şubelerin müşterek kapsaması $1 - (1 - 0.2)(1 - 0.8) = 0.84$ olacaktır.

Yukarıda gördüğümüz gibi, şubelerin kapasitesi, toplam beklenen talep kapsamı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, merkezler de şubelerdeki talebi karşılamak için yeterli kapasiteye sahip olmalıdır. Toplam kapsanan talep hakkında bilgi mevcuttur. Ancak, talebin şubeler arasında nasıl bölündüğüne dair herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bunun yerine, şube boyutları ve şubelerin

atandığı merkezlerdeki kapasite gereksinimi bir ölçüt olarak kullanılmıştır.

Probleme ilişkin MINLP model geliştirilmiştir. Bu model için GAMS modelleme programındaki SCIP ticari çözücüsü kullanılmıştır. Bu modelin doğrusallaştırılmasına ilişkin metot, çözüm yöntemi başlığı altında ele alınmıştır.

Sonuç olarak, probleme ilişkin bilinen genel hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- Aday merkez lokasyonlarının sayısı: Merkezlerin kurulabileceği mevcut yerlerin sayısı.
- Aday şube lokasyonlarının sayısı ve şubelerin boyutu: Talep ihtiyacını karşılayacak şubelerin kurulabileceği mevcut yerlerin sayısı ve o şubelerin boyutları.
- Her şubenin talebi: Her şubenin gereksinim duyduğu ürün miktarı.
- Merkezlerin tedarik kapasitesi: Her şubede depolanabilecek azami stok seviyesi.
- Ulaşım ağı: Şubeler ile merkezleri birbirine bağlayan yol ağıyla ilgili bilgiler, seyahat mesafeleri.
- Araç kapasitesi: Her aracın taşıma kapasitesi, yani taşıyabileceği maksimum ürün miktarı.

Problem kapsamında hazırlanan model tarafından üretilecek kararlar aşağıda sunulmuştur.

- Talep noktalarının ($i \in I$) ihtiyaçlarını maksimum seviyede karşılayabilmek maksadıyla aday şube lokasyonlarından ($j \in J$) kaçına, hangi boyutta ($m \in M$) şube kurulması gerektiği.
- Kurulan şubelere ürün tedariki sağlayacak olan merkezlerin de aday merkez lokasyonları ($k \in K$) arasından hangilerine kurulacağı.
- Hangi şubelerin hangi merkezlere atanacağını belirlenmesi.
- $t \in T$ gününde her şubede bulunan envanter miktarlarının belirlenmesi.
- Günlük araç rotalarının belirlenmesi, yani merkezlerden şubelere ürün tedarik ederken izlenecek en uygun rotaların bulunması.

Özet olarak, talep noktalarının kapsanma oranını maksimize etmek, rotalama maliyetlerini en aza indirmek, envanter yönetimini optimize etmek ve şubelere zamanında ve verimli bir şekilde ürün tedariki sağlamak amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, merkez ve şubelerin optimal sayısı ve lokasyonları, merkez ile şube

ataması, şubelerdeki envanter seviyeleri ile merkezler tarafından şubelere tedarik edilen günlük araç rotaları belirlenmektedir.

Bu problem aşağıda sunulan varsayımlar altında çözümlenmiştir.

- $k \in K$ indisli lokasyonlarda kurulan merkezlerin kapasitesi aynıdır.
- $v \in V$ indisli araçlarda tek tip ürün taşınmaktadır.
- $j \in J$ indisli lokasyondaki şubeye ürün tedariki sağlayacak olan araç, $t \in T$ günü başında, $k \in K$ indisli lokasyondaki herhangi bir merkezden hareket ($h \in H$) etmiş olmalıdır.
- $t \in T$ gününde $k \in K$ indisli lokasyondaki merkezden çıkan $v \in V$ aracı gün sonunda herhangi bir merkeze dönmelidir.
- $v \in V$ aracı gün içinde birden fazla şubeye ürün tedariki sağlayabilmektedir.
- Bir merkez birden fazla $j \in J$ indisli lokasyondaki şubeye hizmet verebileceği gibi herhangi bir şubede birden fazla merkez tarafından lojistik hizmeti alabilir.
- $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ indisli boyuttaki şubenin başlangıç ürün miktarı (J_{jm}^0) bilinmektedir.
- Envanter tutma maliyeti ihmal edilmiştir.
- Şubelerin ihtiyaç duyduğu ürün miktarı (ϕ_m) bilinmektedir.
- Talep noktaları ihtiyacının karşılanmasına ilişkin taşıma maliyeti ihmal edilmiştir.

4. MATEMATİKSEL MODEL

Modelde kullanılan indisler, kümeler, parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıda açıklanmıştır.

4.1. İndisler ve Kümeler

$i \in I$: Talep noktaları kümesi

$j \in J$: Aday şube lokasyonlarının kümesi

$j' \in J$: Aday şube lokasyonlarının kümesi

$k \in K$: Aday merkez lokasyonlarının kümesi

$h \in H$: Hareket sayılarının kümesi

$m \in M$: Şube boyutlarının kümesi

$v \in V$: Araçların kümesi

$t \in T$: Planlama periyodu

4.2. Parametreler

B = Bütçe

b_{jm} = $j \in J$ indisli lokasyona $m \in M$ indisli boyutta şube kurma maliyeti

c_k = $k \in K$ indisli lokasyona merkez kurma maliyeti

γ_{jk} = $k \in K$ indisli lokasyondaki merkeze $j \in J$ indisli lokasyondaki şubenin atanma maliyeti

Q^v = Bir aracın taşıyabileceği yük kapasitesi

w_i = $i \in I$ indisli talep noktasının ağırlığı

p_{ijm} = $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ indisli boyuttaki şubenin $i \in I$ indisli talebi kapsama olasılığı

d_{kj}^{MS} = $k \in K$ indisli lokasyondaki merkez ile $j \in J$ indisli lokasyondaki şube arasındaki mesafe

$d_{jj'}^{SS}$ = $j \in J$ indisli lokasyondaki şube ile diğer $j' \in J$ indisli lokasyondaki şube arasındaki mesafe

- d_{jk}^{SM} = $j \in J$ indisli lokasyondaki şube ile $k \in K$ indisli lokasyondaki merkez arasındaki mesafe
 T = Modelde kullanılan toplam gün sayısı
 p = Kurulabilecek toplam merkez sayısı
 a = Filodaki toplam araç sayısı
 s = Birim mesafe başına yakıt ve amortisman bedeli
 L = Bir aracın tek seferde (herhangi bir $t \in T$ gününde) gidebileceği azami seyahat mesafesi
 U_m = $m \in M$ boyutundaki şubenin azami stok seviyesi
 L_m = $m \in M$ boyutundaki şubenin asgari stok seviyesi
 J_{jm}^0 = $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ boyutundaki şubenin başlangıç envanter miktarı
 ϕ_m = $m \in M$ boyutundaki şubenin ihtiyaç duyduğu ürün miktarı

4.3. Karar Değişkenleri

- x_{jm} = $\begin{cases} 1, j \in J \text{ indisli lokasyonda } m \in M \text{ boyutundaki şube kurulmuşsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 ∂_k = $\begin{cases} 1, k \in K \text{ indisli lokasyonda merkez kurulmuşsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 y_{jk} = $\begin{cases} 1, j \in J \text{ indisli lokasyondaki şube } k \in K \text{ indisli lokasyondaki merkeze atanmışsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 n_{kvt} = $\begin{cases} 1, v \in V \text{ aracı } t \text{ günü başında } k \in K \text{ indisli lokasyondaki merkezde ise} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 w_{kjavth}^{MS} = $\begin{cases} 1, t \text{ gününde } k \in K \text{ indisli lokasyondaki merkezden çıkan } v \in V \text{ aracı } h \in H \text{ indisli ilk harekette } j \in J \text{ indisli lokasyondaki şubeye gidiyorsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 $w_{jj'vth}^{SS}$ = $\begin{cases} 1, t \text{ günü içinde ve } h \in H \text{ indisli harekette } j \in J \text{ indisli lokasyondaki şubeden } v \in V \text{ aracı diğer } j' \in J \text{ indisli lokasyondaki şubeye gidiyorsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 w_{jkvth}^{SM} = $\begin{cases} 1, t \text{ günü sonunda ve } h \in H \text{ indisli harekette } j \in J \text{ indisli lokasyondaki şubeden } v \in V \text{ aracı } k \in K \text{ indisli lokasyondaki merkeze gidiyorsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 B^{lo} = Lokasyon optimizasyonu için harcanan bütçe (kurulum ve atama maliyeti)
 B^{ERP} = Envanter rotalama için harcanan bütçe
 β_{jm} = $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ indisli boyuttaki şubenin haftalık

satış miktarı

μ_{jmv_t} = t gününde $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ indisli boyuttaki şubeye $v \in V$ aracı ile taşınan ürün miktarı

I_{jmt} = t günü sonunda $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ indisli boyuttaki şubenin envanter miktarı

ϕ_{ijm} = $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ indisli boyuttaki şubeden $i \in I$ talep noktasına gidecek haftalık ürün miktarı

4.4. Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

$$(P1) \max z_{MINLP} = \sum_{i \in I} w_i [1 - \prod_{j \in J} \prod_{m \in M} (1 - p_{ijm} x_{jm})] \quad (3.3)$$

$$\sum_{m \in M} x_{jm} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in K_j} \partial_k \leq p \quad (3.5)$$

$$a \partial_k \geq \sum_{v \in V} n_{kvt} \quad \forall k \in K, \forall t \in T \quad (3.6)$$

$$a \sum_{m \in M} x_{jm} \geq \sum_{j' \in J} \sum_{v \in V} \sum_{h \in H} w_{j'jvth}^{SS} + \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{h \in H} w_{k'jvth}^{MS} \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (3.7)$$

$$B^{lo} + B^{ERP} \leq B \quad (3.8)$$

$$\phi_{ijm} = \frac{w_i \phi_m p_{ijm} x_{jm}}{[1 - (\prod_{j' \in J} \prod_{m' \in M} (1 - p_{ij'm'} x_{j'm'}))]} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall m \in M \quad (3.9)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \mu_{jmv_t} \leq Q^v \quad \forall v \in V, \forall t \in T \quad (3.10)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h \in H} w_{k'jvth}^{MS} \leq n_{kvt} \quad \forall k \in K, \forall v \in V, \forall t \in T \quad (3.11)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} d_{jk}^{SM} w_{j'kvth}^{SM} + \sum_{j \in J} \sum_{j' \in J} \sum_{h \in H} d_{ij'}^{SS} w_{ij'vth}^{SS} + \sum_{j \in J} \sum_{j' \in J} \sum_{h \in H} d_{jj'}^{SS} w_{j'jvth}^{SS} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} d_{kj}^{MS} w_{k'jvth}^{MS} \leq L \quad \forall v \in V, \forall t \in T \quad (3.12)$$

$$\sum_{k \in K} n_{kvt} = 1 \quad \forall v \in V, \forall t \in T \quad (3.13)$$

$$x_{jm} J_{jm}^0 + \sum_{v \in V} \mu_{jmv_t} = I_{jmt} + x_{jm} \left[\frac{\sum_i \phi_{ijm}}{T} \right] \quad \forall j \in J, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (3.14)$$

$$I_{jmt-1} + \sum_{v \in V} \mu_{jmv_t} = I_{jmt} + x_{jm} \left[\frac{\sum_i \phi_{ijm}}{T} \right] \quad \forall j \in J, \forall m \in M, \forall t \geq 2 \in T \quad (3.15)$$

$$I_{jmt} \leq U_m \quad \forall_j \in J, \forall_m \in M, \forall_t \in T \quad (3.16)$$

$$I_{jmt} \geq L_m x_{jm} \quad \forall_j \in J, \forall_m \in M, \forall_t \in T \quad (3.17)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{h \in H} w_{kjh}^{MS} + \sum_{j' \in J: j \neq j'} \sum_{h \in H} w_{jj'h}^{SS} = \sum_{j' \in J: k \neq j'} \sum_{h \in H} w_{jj'vh}^{SS} + \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} w_{jkvh}^{SM} \quad \forall_j \in J, \forall_v \in V, \forall_t \in T \quad (3.18)$$

$$\sum_{j' \in J: j \neq j'} \sum_{h \in H} w_{jj'vh}^{SS} + \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} w_{jkvh}^{SM} \leq 1 \quad \forall_j \in J, \forall_v \in V, \forall_t \in T \quad (3.19)$$

$$\sum_{j' \in J: j \neq j'} \sum_{h \in H} w_{jj'vh}^{SS} + \sum_{k \in K_j} \sum_{h \in H} w_{kjh}^{MS} \leq 1 \quad \forall_j \in J, \forall_v \in V, \forall_t \in T \quad (3.20)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h \in H} w_{jkvh}^{SM} \leq n_{kvt+1} \quad \forall_k \in K, \forall_v \in V, \forall_{t \leq \delta} \in T \quad (3.21)$$

$$M \left(\sum_{j' \in J: j \neq j'} \sum_{h \in H} w_{jj'vh}^{SS} + \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} w_{kjh}^{MS} \right) \geq \sum_{m \in M} \mu_{jmvt} \quad \forall_j \in J, \forall_v \in V, \forall_t \in T \quad (3.22)$$

$$1 + \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} w_{kjh}^{MS} \geq n_{kvt} + \sum_{k' \in K: k \neq k'} n_{k'vt+1} \quad \forall_k \in K, \forall_v \in V, \forall_{t \leq \delta} \in T \quad (3.23)$$

$$M \sum_{m \in M} \mu_{jmvt} \geq \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} w_{kjh}^{MS} + \sum_{j' \in J: j \neq j'} \sum_{h \in H} w_{jj'vh}^{SS} \quad \forall_j \in J, \forall_v \in V, \forall_t \in T \quad (3.24)$$

$$M x_{jm} \geq \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \mu_{jmvt} \quad \forall_j \in J, \forall_m \in M_j \quad (3.25)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} w_{kjh}^{MS} \leq y_{jk} M \quad \forall_v \in V, \forall_t \in T \quad (3.26)$$

$$\sum_{h \in H: h \geq 2} w_{kjh}^{MS} = 0 \quad \forall_k \in K, \forall_j \in J, \forall_v \in V, \forall_t \in T \quad (3.27)$$

$$\sum_{j' \in J: j \neq j'} \sum_{j \in J} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} w_{jj'vt}^{SS} = 0 \quad (3.28)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} w_{jkvt}^{SS} = 0 \quad (3.29)$$

$$\sum_{k \in K} w_{kj}^{MS} + \sum_{j \in J} w_{jj}^{SS} = \sum_{j \in J} w_{jj}^{SS} + \sum_{k \in K} w_{jk}^{SS} \quad \forall_j \in J, \forall_v \in V, \forall_t \in T, \forall_h \in H \quad (3.30)$$

$$x_{jm}, \hat{\alpha}_k, y_{jk}, n_{kvt}, w_{kjh}^{MS}, w_{jj'vh}^{SS}, w_{jkvh}^{SM} \in \{0, 1\} \quad (3.31)$$

$$\beta_{jm}, \mu_{jmvt}, I_{jmt}, \theta_{ijm}, B_{lo}, B_{ERP} \geq 0 \quad (3.32)$$

Amaç fonksiyonu (3.3) ile şubeler tarafından müşteri talebinin en yüksek seviyede karşılanması sağlanmaktadır. Kısıt (3.4)'te, bir aday şube lokasyonunda yalnızca bir boyutta şube açılmasına izin verilmektedir. Aday merkez lokasyonlarından yalnızca

p adedine veya daha azına merkez kurulması kısıt (3.5) ile sağlanmaktadır. Kısıt (3.6)'da açılmayan bir merkezde araç bulunmasına izin verilmemektedir. Eğer bir şube açılmamışsa, o şubeye herhangi bir $t \in T$ gününde merkez veya şubeden araç hareket etmesi kısıt (3.7) ile engellenir. Kısıt (3.8)'de bütçe sınırlaması yapılmıştır. Kısıt (3.9)'da şubeden talep noktasına gidecek haftalık ürün miktarı hesaplanmaktadır. Kısıt (3.10)'da, t gününde $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ indisli boyuttaki şubeye $v \in V$ aracı ile taşınan ürün miktarı azami araç yük kapasitesi göre sınırlanmaktadır. Kısıt (3.11) ile eğer merkeze $t \in T$ anında tedarik yapan $v \in V$ aracı bağlanmamışsa, $t \in T$ anında $v \in V$ aracıyla merkezden şubeye ürün tedariki yapılması engellenir. Kısıt (3.12)'de bir aracın günlük yapabileceği maksimum mesafe sınırlandırılmıştır. Kısıt (3.13)'te, bir aracın herhangi bir $t \in T$ gününde yalnızca bir merkezde olması gerekliliği sağlanmaktadır. Kısıtlar (3.14 ve 3.15) ile envanter dengesi sağlanmaktadır. Kısıtlar (3.16 ve 3.17) ile envanter alt ve üst limiti belirlenmektedir. Kısıt (3.18)'de, $t \in T$ günü içinde merkez/şubeden herhangi bir şubeye giden aracın herhangi bir merkeze/şubeye gitmesi sağlanmaktadır. Kısıtlar (3.19 ve 3.20) ile bir $v \in V$ aracı aynı anda ya şubeler arası ya da merkez-şube/şube-merkez arası hareket edebilmesi sağlanmaktadır. Kısıt (3.21)'de $t \in T$ gününün sonunda herhangi bir merkeze giden $v \in V$ aracının $t+1 \in T$ günü başında o merkezden hareket etmesi sağlanmaktadır. Kısıt (3.22)'de $t \in T$ gününde herhangi bir araçla şubeye ürün tedariki sağlanmamış ise aracın $t \in T$ gününde söz konusu şubeye taşıdığı ürün miktarının 0 olması sağlanmaktadır. Kısıt (3.23)'te, $t \in T$ gününde merkezden şubeye ürün tedariki yapılmışsa araç $t+1 \in T$ gününün başında bir merkeze bağlanmaktadır. $t \in T$ gününde herhangi bir araçla şubeye taşınan ürün miktarı sıfırsa, o şubeye merkez veya diğer bir şubeden araç hareket etmesi Kısıt (3.24) ile engellenmektedir. Kısıt (3.25)'te, kurulmayan şubeye ürün tedariki yapılması engellenmektedir. Kısıt (3.26)'da, herhangi bir merkezden araç çıkışı olmadan şubeler arası nakliye gerçekleştirilmesi engellenmektedir. Kısıt (3.27) ile $v \in V$ indisli aracın $t \in T$ günü başlangıcında ilk olarak her zaman merkezden şubeye hareket etmesi koşulu sağlanmaktadır. Kısıtlar (3.28 ve 3.29) ile aracın ilk hareketi, $j \in J$ indisli lokasyondaki şubeden diğer bir şubeye veya merkeze olması engellenmektedir. Kısıt (3.30)'da, $v \in V$ indisli aracın ilk hareketinin merkezden şubeye olması şartı ile o araç şubeler arası veya şubeden merkeze hareket etmektedir. Kısıtlar (3.31 ve 3.32) işaret kısıtlarıdır.

5. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Modelin (P1) doğrusal olmaması nedeniyle optimum çözüm bulmayı garanti etmemektedir. Modelde (P1) yer alan dört doğrusal olmayan kısıtı doğrusallaştırmak maksadıyla iki aşamalı model (AP1 ve AP2) geliştirilmiştir. Ancak, AP1 modelinde yer alan amaç fonksiyonu doğrusal olmadığı için TLA ile doğrusallaştırılmış bir model daha (AP1-TLA) sunulmuştur. Modelin (AP1-TLA) bazı çıktıları da ikinci aşamada ele alınan ERP'ye ilişkin modelin (AP2) parametrelerini oluşturmaktadır. Çözüm yöntemi kapsamındaki modeller (AP1-TLA ve AP2) için de GAMS modelleme programındaki CPLEX ticari çözücüsü kullanılmıştır.

Modelde (AP1), $i \in I$ indisli lokasyonda yer alan her bir talep noktasının önem ağırlığı (w_i) göz önüne alınarak talebin karşılanma oranının maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Modelde (P1) kullanılan bütçe, iki aşamalı çözüm için bu bölümde farklı oranlarda (r^{lo} ve r^{ERP}) paylaştırılmıştır. Bu kısımda, yer seçimi ve boyutlandırma için kullanılan bütçe B^{lo} ile ERP için kullanılan bütçe B^{ERP} ile temsil edilmiştir. Parametreler aşağıdaki eşitliklerde (4.1 ve 4.2) gösterilmiştir.

$$\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} b_{jm} x_{jm} + \sum_{k \in K} c_k \hat{O}_k + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \gamma_{jk} y_{jk} = B^{lo} \quad (4.1)$$

$$s \left(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} d_{jk}^{SM} w_{jkvth}^{SM} + \sum_{j \in J} \sum_{j' \in J} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} d_{jj'}^{SS} w_{jj'vth}^{SS} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{h \in H} d_{kj}^{MS} w_{kjvth}^{MS} \right) = B^{ERP} \quad (4.2)$$

5.1. Yer Seçimi ve Boyutlandırma Probleminin Formülasyonu

İlave kullanılan parametreler aşağıda sunulmuştur.

Q^k = $k \in K$ indisli lokasyondaki merkezin kapasitesi

r^{lo} = Kurulum ve atama maliyeti için kullanılacak bütçe oran

Bu modelde, $k \in K$ indisli lokasyondaki merkezden $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ boyutundaki şubeye tedarik edilen ürün miktarının (Td_{kim}) ne olduğuna da karar verilmektedir. Modelin (AP1) formülasyonu aşağıda sunulmuştur.

(AP1) Amaç Fonksiyonu (3.3)

Kısıt (3.4-3.5)

$$y_{jk} \leq \sum_{m \in M} x_{jm} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (4.3)$$

$$y_{jk} \leq \partial_k \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (4.4)$$

$$\sum_{m \in M} x_{jm} \leq \sum_{k \in K} \partial_k \quad \forall j \in J \quad (4.5)$$

$$\partial_k \leq \sum_{j \in J} y_{jk} \quad \forall k \in K \quad (4.6)$$

$$\sum_{k \in K} Td_{kjm} \leq Mx_{jm} \quad \forall j \in J, \forall m \in M \quad (4.7)$$

$$\sum_{m \in M} Td_{kjm} \leq My_{jk} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (4.8)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} Td_{kjm} \leq M\partial_k \quad \forall k \in K \quad (4.9)$$

$$\sum_{k \in K} Td_{kjm} = \phi_m x_{jm} \quad \forall j \in J, \forall m \in M \quad (4.10)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} Td_{kjm} \leq Q^k \quad \forall k \in K \quad (4.11)$$

$$B^{lo} \leq J^{lo} B \quad (4.12)$$

$$Td_{kjm} \geq 0 \quad (4.13)$$

AP1 formülasyonunda, amaç fonksiyonu (3.3), kısıtlar (3.4) ve (3.5) Model P1'den taşınmıştır. Kısıt (4.3)'de, eğer $j \in J$ indisli lokasyona $m \in M$ boyutunda bir şube açılmamış ise şubenin herhangi bir merkeze atanması engellenmektedir. Kısıt (4.4) ile eğer $k \in K$ indisli lokasyona merkez açılmamış ise merkeze herhangi bir şubenin atanması engellenir. Kısıt (4.5)'te, kurulmuş olan en az bir şube varsa bir veya daha fazla merkezin açılması sağlanmaktadır. Kısıt (4.6)'da, eğer herhangi bir şube merkeze atanmamışsa söz konusu merkezin kurulması engellenir. Kısıtlar (4.7-4.9)'da, eğer merkez/şube kurulmamışsa ve herhangi bir şube herhangi bir merkeze atanmamışsa o merkezden bahsedilen şubeye ürün tedariki yapılmamaktadır. Kısıt (4.10)'da, merkez/merkezlerden herhangi bir şubeye gönderilen ürün miktarının şube ihtiyacına eşitliği sağlanmaktadır. Kısıt (4.11) ile bir merkezden şubelere gönderilen toplam ürün miktarı merkez kapasitesi ile

sınırlanmaktadır. Kısıt (4.12)'de model (AP1) için kullanılabilir bütçe oranına göre bütçe sınırlaması yapılmaktadır. Kısıt (4.13) işaret kısıtıdır.

5.2. Modelin (AP1) Doğrusallaştırılması ve Seviyelendirilmesi

Bu kısımda, modele (AP1) yönelik doğrusal yaklaşımı, ayrılabilir programlama yaklaşımına dayanarak önerilmiştir. TLA, Aboolian, Berman ve Krass (2007) tarafından yapılan çalışma ile temellendirilmiştir. TLA, amaç fonksiyonunu bir dizi doğru parçasıyla üstten yaklaşıtır.

TLA uygulamadan önce, AP1 modeline eş değer bir formülasyon geliştirilmiştir. $0^0=1$ olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, ε 'nin ihmal edilebilecek küçüklükte bir sayı olması (10^{-6}) kabulüyle $p_{ijm}=1$ parametresi $p_{ijm}=1-\varepsilon$ olarak kullanılmaktadır. Sonrasında yapılan işlemler sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$(P1 \text{ ve } AP1) \max z_{MINLP} = \sum_{i \in I} w_i [1 - \prod_{j \in J} \prod_{m \in M} (1 - p_{ijm} x_{jm})] \quad (3.3)$$

Böylece, her bir talep noktasının kapsanmama oranı eşitlik (5.1)'de gösterilmiştir.

$$\prod_{j \in J} \prod_{m \in M} (1 - p_{ijm})^{x_{jm}} = e^{\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} x_{jm} \ln(1 - p_{ijm})} \quad \forall i \in I \quad (5.1)$$

$g_{ijm} = -\ln(1 - p_{ijm})$ şeklinde yeni parametre oluşturulmuş, yeni amaç fonksiyonu (5.2) aşağıda belirtilmiştir.

$$\max_x \sum_{i \in I} w_i \left(1 - e^{-\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} x_{jm} g_{ijm}} \right) \quad (5.2)$$

Ayrıca, $\tau_i = \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} x_{jm} g_{ijm}$ eşitliği ile $\alpha_i(\tau_i) = 1 - e^{-\tau_i}$ fonksiyonunu yazmak mümkündür. Bu durumda, τ_i , x_{jm} 'nin doğrusal fonksiyonu ve $\alpha_i(\tau_i)$ 'nin ise iki kez türevi alınabilen, azalmayan konkav eğri fonksiyonudur ($\alpha_i'(\tau_i) = e^{-\tau_i}$ ve $\alpha_i''(\tau_i) = -e^{-\tau_i}$). Bu özellikler, TLA'nın koşullarını karşılar. Bu nedenle TLA, üzerine teğet olan $|D_i|$ doğru parçasını içeren $\alpha_i(\tau_i)$ fonksiyonunu yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılabilir (Aboolian vd. 2007). Doğru parçalarının sayısı, yaklaşım hatası verilen $\zeta_{TLA}\%$ değerinden küçük olacak şekilde seçilmektedir. $\alpha_i(\tau_i)$ 'yi yaklaşık olarak temsil etmek için tanımlanan doğru parçalarının kümesini D_i temsil etmektedir; f_{il} , her bir l doğrusunun teğet noktasının x eksenindeki değerini verir. e_{il} , l 'inci doğrunun eğimini gösteren değerdir. Bu kapsamda, modelin (AP1) doğrusallaştırılmış hali ilave karar değişkenleri ile aşağıdaki gibi formüle edebilmiştir.

h_{il} = 0 ile 1 arasında değişen yardımcı karar değişkeni

π_{il} = Yardımcı değişken

$$(AP1 - TLA) \max z_{MILP} = \sum_{i \in I} w_i \sum_{l \in D_i} e_{il} f_{il} h_{il} \quad (5.3)$$

$$- \sum_{l \in D_i} f_{il} h_{il} + \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} x_{jm} g_{ijm} = 0 \quad \forall i \in I \quad (5.4)$$

$$h_{il} \leq h_{i(l+1)} \quad \forall i \in I, l \in \{1, 2, \dots, |D_i| - 1\} \quad (5.5)$$

$$\pi_{il} \leq h_{il} \leq \pi_{i(l+1)} \quad \forall i \in I, l \in \{1, 2, \dots, |D_i| - 1\} \quad (5.6)$$

$$\pi_{il} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, l \in \{1, 2, \dots, |D_i|\} \quad (5.7)$$

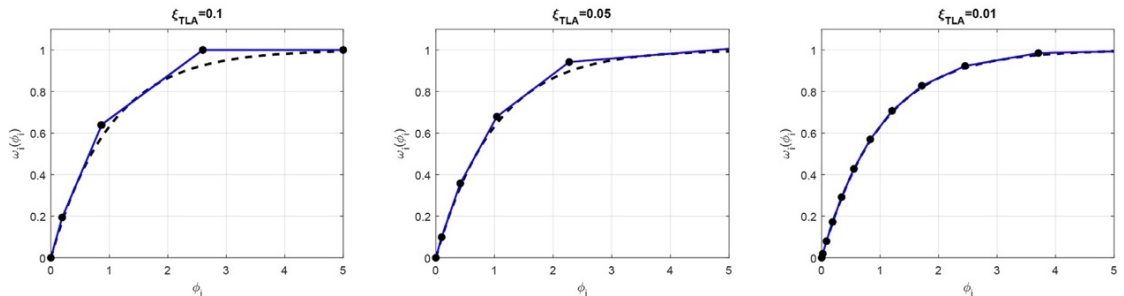
$$0 \leq h_{il} \leq 1 \quad \forall i \in I, l \in \{1, 2, \dots, |D_i|\} \quad (5.8)$$

Kısıt (3.4-3.5)

Kısıt (4.3-4.10)

Modeldeki (AP1-TLA) kısıtlar, P1 ve AP1 formülasyonunun (3.4 ve 3.5) ve (4.3)-(4.10) devralınmıştır. Kısıt (5.3), doğrusallaştıma için kullanılmaktadır. Kısıtlar (5.5 ve 5.6) ile h_{il} ve yardımcı değişken π_{il} arasındaki bağlantı sağlanmaktadır. Amaç fonksiyonunun maksimizasyon olduğunu düşünerek, belirli bir düğüm i için bu kısıtlama, h_{il} değişkenlerinin gerçekleşen $\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} x_{jm} g_{ijm}$ karşılık gelen doğru parçası önceki tüm doğru parçaları için 0 değerini almasını ve takip eden doğru parçaları için 1 değerini almasını zorlar. Gerçekleşmenin olduğu belirli doğru parçası l için, ilgili h_{il} değişkeni 0 ile 1 arasında herhangi bir değeri alabilir. Kısıtlar (5.6)-(5.8) değişken alanlarını belirtir.

TLA için Karatas ve Eriskin (2021) çalışmasından faydalanılmış olup, bahsedilen fonksiyonun anlaşılabilmesi için çalışmada yer alan grafiğe Şekil 5.1'de yer verilmiştir.



Şekil 5.1: Modelde $\xi_{TLA} = \{0.1, 0.05, 0.01\}$ İken Kullanılan Teğet Parçaları.

ζ_{TLA} değeri küçüldükçe teğet noktalarının artmasına bağlı olarak doğrusal olmayan model (AP1) ile doğrusallaştırılmış modelin (AP1-TLA) amaç fonksiyonu değerlerinin birbirine yakınlaştığını söylemek mümkündür.

5.3. Envanter Rotalama Probleminin Formülasyonu

AP1-TLA modelinin çözümünde elde edilen karar değişkenleri AP2 modelinde parametre olarak kullanılmış olup, ilgili parametreler aşağıda sunulmuştur.

- $j \in J$ indisli lokasyona $m \in M$ boyutunda kurulan şubeler (\bar{x}_{jm})
- $k \in K$ indisli lokasyona kurulan merkezler ($\bar{\theta}_k$)
- $k \in K$ indisli lokasyona kurulan merkezlere atanmış $j \in J$ indisli lokasyondaki şubeler (\bar{y}_{jk})
- $j \in J$ indisli lokasyonda kurulan $m \in M$ boyutundaki şubeden $i \in I$ indisli talep noktasına gidecek haftalık ürün miktarı ($\bar{\theta}_{ijm}$)

Ayrıca, çözüm yönteminde P1 modelinde kullanılan bütçenin farklı oranlarda paylaşılıyor olması sebebiyle $r^{ERP}=1-r^{lo}$ olarak alınmıştır. P1 modelinde yer alan doğrusal olmayan kısıtlar (3.12-3.13) yukarıdaki parametreler sayesinde doğrusallaştırılmıştır.

$$(AP2) \min z_{MILP} = B^{ERP} \quad (6.1)$$

$$B^{ERP} \leq r^{ERP} B \quad (6.2)$$

Kısıt (3.4-28)

Kısıtlar (3.6-3.7 ve 3.10-3.31) modelden (P1) devralınmıştır. Amaç fonksiyonu (6.1) ile tüm araçların toplam aldığı yolu minimize etmek amaçlanmaktadır. Kısıt (6.2)'de, AP2 modeli için kullanılabilir bütçe oranına göre bütçe sınırlaması yapılmaktadır.

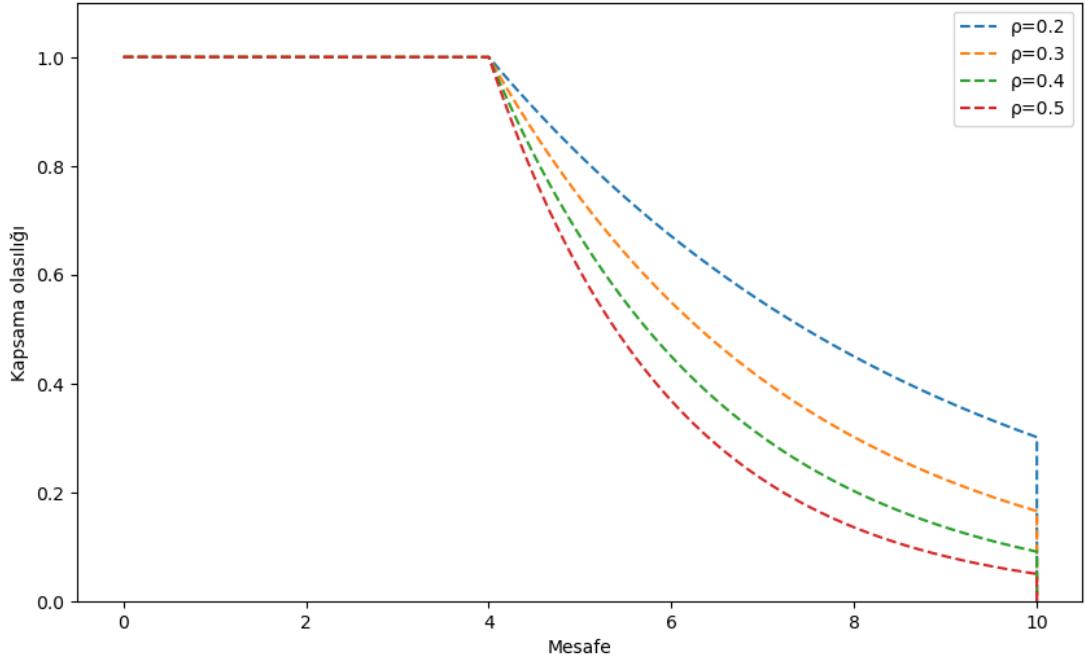
6. SAYISAL DENEMELER

Bazı parametreler, Karatas ve Dasci (2020)'nin yer seçimi ve boyutlandırma probleminde alınmıştır. Bu çalışmada, ERP'nin de dahil olmasıyla hesaplama karmaşıklığı artmıştır. Bu nedenle, çözüm kalitesi ve süresi açısından en iyi çözümü bulmak için üç farklı parametre seti oluşturulmuştur. Problem boyutuna göre farklılık gösteren parametrelerin aldıkları değerler Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Her Örnek Kümesi İçin Deney Kurulumu.

	Veri Boyutu: Küçük	Veri Boyutu: Orta	Veri Boyutu : Büyük
Problem Büyüklüğü	$ I =\{10,15\}$ $ J =\{5,8\}$ $ K =5$ $ V =10$ $ T =7$ $ M =2$ $ H =50$	$ I =25$ $ J =20$ $ K =20$ $ V =50$ $ T =7$ $ M =2$ $ H =100$	$ I =50$ $ J =40$ $ K =20$ $ V =75$ $ T =7$ $ M =2$ $ H =200$
Sabit Parametrelerin Değerleri	$B=\{1000,2000\}$ $r^{lo} =\{0.5,0.6, 0.7,0.8,0.9\}$ $r^{ERP}=1- r^{lo}$ $s=0.1$ $\xi_{TLA}=0.01$ $\phi_m = \begin{cases} 100, m = 1 \\ 200, m = 2 \end{cases}$ $U_m = \begin{cases} 20, m = 1 \\ 40, m = 2 \end{cases}$ $L_m = \begin{cases} 5, m = 1 \\ 10, m = 2 \end{cases}$	$B=\{2000,3000\}$ $r^{lo} =\{0.5,0.6, 0.7,0.8,0.9\}$ $r^{ERP}=1- r^{lo}$ $s=0.1$ $\xi_{TLA}=0.01$ $\phi_m = \begin{cases} 100, m = 1 \\ 200, m = 2 \end{cases}$ $U_m = \begin{cases} 20, m = 1 \\ 40, m = 2 \end{cases}$ $L_m = \begin{cases} 5, m = 1 \\ 10, m = 2 \end{cases}$	$B=\{3000,4000\}$ $r^{lo} =\{0.5,0.6, 0.7,0.8,0.9\}$ $r^{ERP}=1- r^{lo}$ $s=0.1$ $\xi_{TLA}=0.01$ $\phi_m = \begin{cases} 100, m = 1 \\ 200, m = 2 \end{cases}$ $U_m = \begin{cases} 20, m = 1 \\ 40, m = 2 \end{cases}$ $L_m = \begin{cases} 5, m = 1 \\ 10, m = 2 \end{cases}$
Rassal Parametrelerin Değerleri	$b_{jm} = \begin{cases} U[30,60], m=1 \\ 1.75 \times b_{j1}, m=2 \end{cases}$ $c_k = U[25,50]$ $a_{jk} = 5d_{jk}$ $w_i \in U[0,1]$	$b_{jm} = \begin{cases} U[30,60], m=1 \\ 1.75 \times b_{j1}, m=2 \end{cases}$ $c_k = U[50,100]$ $a_{jk} = 5d_{jk}$ $w_i \in U[0,1]$	$b_{jm} = \begin{cases} U[30,60], m=1 \\ 1.75 \times b_{j1}, m=2 \end{cases}$ $c_k = U[50,125]$ $a_{jk} = 5d_{jk}$ $w_i \in U[0,1]$
Kapsama Fonksiyonu Parametreleri	$d_m^l \in \{4,6\}$ $d_m^u \in \{10,15\}$	$d_m^l \in \{4,6\}$ $d_m^u \in \{10,15\}$	$d_m^l \in \{4,6\}$ $d_m^u \in \{10,15\}$

Kapsama fonksiyonunda kademeli kapsama konsepti benimsenmiştir. Bu çalışmada, kullanılan $e^{-\rho(d_{ij}^{TS}-d_m^l)}$ üstel fonksiyonunun farklı azalma sabitlerine (ρ) göre değişkenlik gösteren kapsama olasılığı Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Sayısal denemeler kapsamında $\rho=0.5$ kabul edilmiştir.



Şekil 6.1: $d_m^l \leq d_{ij}^{TS} \leq d_m^u$ İçin Farklı Üssel Azalma Sabitleri İle Örnek Kapsama Fonksiyonları.

Tüm problem boyutlarına göre formülasyonların karar değişkeni sayısı ve kısıt sayısı açısından boyutları Tablo 6.2’de özetlenmiştir. Tabloda, 4-7 sütunları kesikli karar değişkenlerinin toplam sayısını, 8-11 sütunları karar değişkenlerinin sayısını ve 12-15 sütunları ise toplam kısıt sayısını göstermektedir. Bir örnekte değişken ve kısıt sayısı büyük olduğunda, algoritmanın bunu çözme süresinin daha uzun olması beklenmektedir. Bununla birlikte, bir algoritmanın performansı aynı zamanda kısıtların karmaşıklığına ve yapısına da bağlıdır. Eğer problem boyutunda büyük bir fark varsa, çözüm süresi ve kalitesinde önemli farklılıklar beklenir.

Tablo 6.2: Parametre Seti.

Bütçe-P1	Bütçe Kullanım Yüzdesi-API	Bütçe-API	I	J	K	Deney Nu.	Kesikli Değişkenlerin Sayısı				Karar Değişkenlerin Sayısı				Kısıtların Sayısı			
							P1	API	API-TLA	AP2	P1	API	API-TLA	AP2	P1	API	API-TLA	AP2
1000	50%	500	10	5	5	1-1	56020	45	45	56000	67491	123	261	63710	31073	128	348	25096
	60%	600				1-2												
	70%	700				1-3												
	80%	800				1-4												
	90%	900				1-5												
2000	50%	1000	10	5	5	1-6	56020	45	45	56000	67491	123	261	63710	31073	128	348	25096
	60%	1200				1-7												
	70%	1400				1-8												
	80%	1600				1-9												
	90%	1800				1-10												
1000	50%	500	15	8	5	2-1	270054	225	225	260180	310163	874	1181	280740	135213	893	1363	104021
	60%	600				2-2												
	70%	700				2-3												
	80%	800				2-4												
	90%	900				2-5												
2000	50%	1000	15	8	5	2-6	270054	225	225	260180	310163	874	1181	280740	135213	893	1363	104021
	60%	1200				2-7												
	70%	1400				2-8												
	80%	1600				2-9												
	90%	1800				2-10												
2000	50%	1000	25	20	20	3-1	434961	460	458	427000	576131	1261	1864	441281	217032	1363	2303	196931
	60%	1200				3-2												
	70%	1400				3-3												
	80%	1600				3-4												
	90%	1800				3-5												
3000	50%	1500	25	20	20	3-6	434961	460	458	427000	576131	1261	1864	441281	217032	1363	2303	196931
	60%	1800				3-7												
	70%	2100				3-8												
	80%	2400				3-9												
	90%	2700				3-10												
3000	50%	1500	50	40	20	4-1	1522364	903	900	1127000	1728393	2501	3001	1155561	868128	2683	4883	372951
	60%	1800				4-2												
	70%	2100				4-3												
	80%	2400				4-4												
	90%	2700				4-5												
4000	50%	2000	50	40	20	4-6	1522364	903	900	1127000	1728393	2501	3001	1155561	868128	2683	4883	372951
	60%	2400				4-7												
	70%	2800				4-8												
	80%	3200				4-9												
	90%	3600				4-10												

Bu bölümde, sayısal deneylerin sonuçları çözüm kalitesi ve hesaplama çalışma süresi açısından açıklanmaktadır. Küçük boyutlu problemler için model (P1) ve iki aşamalı çözüm metodunun sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Orta ve büyük boyuttaki problemler için parçalı yaklaşım çözümü (API-TLA) ile çözüm yöntemi olarak sunulan doğrusal olmayan model çözümlerinin (API) etkinliğini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Performans profili, 30 deney üzerinden değerlendirilir. Her deney 10 farklı kombinasyonda çalıştırılmış ve çıkan sonuçların ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Tüm deneylerde hesaplama süresi 1 saat ile kısıtlı tutulmuştur. Hesaplama süresi limiti içinde çözülen örneklerin çıktıları Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’te sunulmuştur.

Tablo 6.3: Küçük Boyuttaki Veri Seti İçin Performans Profili (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).

Deney Numarası	Amaç Fonksiyonu Değeri (z)		Çözüm Süresi (sn)			
	P1	AP1-TLA	P1	AP1	AP1-TLA	AP2
1-1	1.23	1.23	198.19	0.82	0.01	1.94
1-2	1.42	1.42	88.12	0.67	0.01	1.68
1-3	1.33	1.33	167.65	0.77	0.03	5.63
1-4	2.01	2.01	240.14	2.13	0.54	6.38
1-5	2.67	2.67	482.62	8.69	1.52	9.54
1-6	1.88	1.88	903.17	6.24	1.03	2.07
1-7	2.21	2.21	273.44	0.68	0.07	8.19
1-8	2.33	2.33	977.55	4.11	0.93	32.12
1-9	2.37	2.37	1263.13	7.32	1.12	23.82
1-10	2.47	2.47	1227.34	6.36	1.07	41.22
2-1	2.13	2.13	1078.11	15.18	1.62	52.66
2-2	3.07	3.07	1102.46	21.24	1.77	54.05
2-3	2.87	2.87	986.27	14.26	1.18	49.33
2-4	3.22	3.22	1334.87	25.33	2.01	87.32
2-5	3.94	3.94	1396.06	54.31	2.68	85.01
2-6	4.01	4.01	1172.63	52.67	3.77	60.15
2-7	3.79	3.79	1804.12	76.55	2.65	59.13
2-8	3.54	3.87	1758.33	81.60	2.44	63.78
2-9	3.82	4.02	2102.20	112.04	3.12	80.41
2-10	3.91	3.91	2098.15	108.74	3.89	82.03

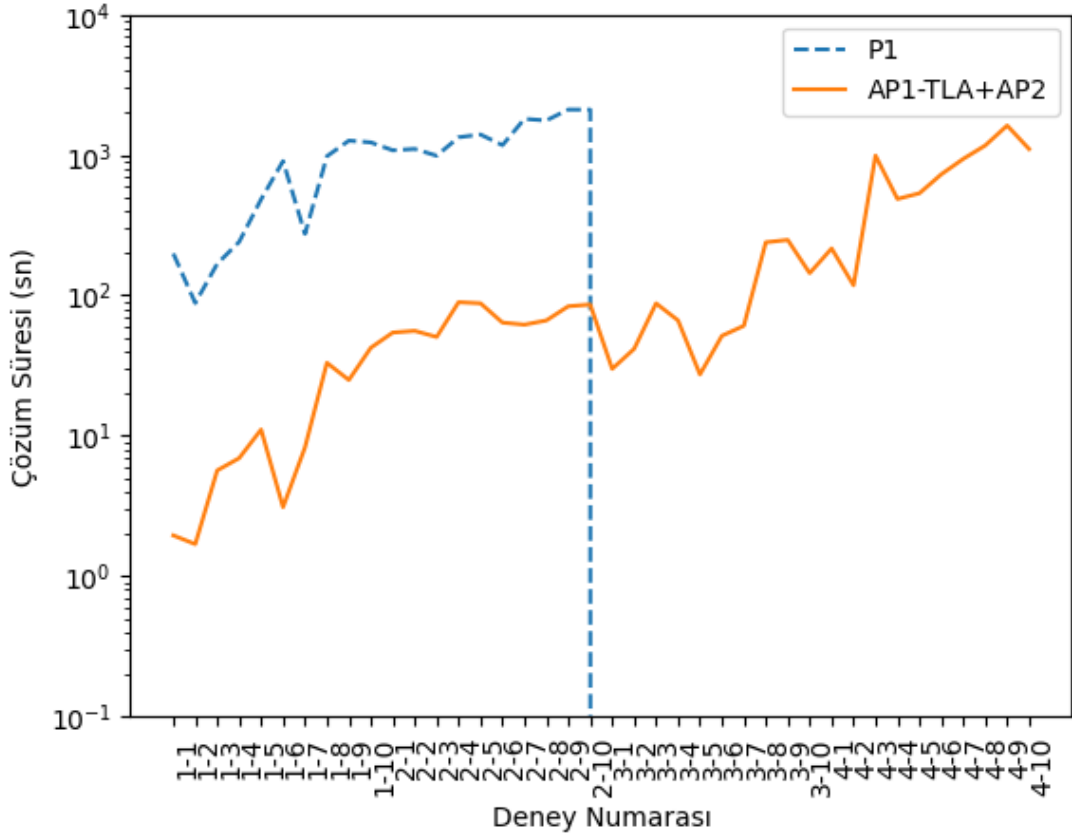
Model (P1) yalnızca küçük veri boyutu (10*5*5 ile 15*8*5) için çözüm sağlamıştır. Sonuçlar gösteriyor ki, çözüm süresi açısından en yavaş yöntemdir. Öte yandan, iki aşamalı çözüm yöntemi (AP1-TLA ve AP2) çözümü toplam 1.5 dakikanın altında bulmuştur.

Tablo 6.4: Orta ve Büyük Boyuttaki Veri Seti İçin Performans Profili (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).

Örneklem Numarası	Amaç Fonksiyonu Değeri (z)		Çözüm Süresi (sn)			
	P1	AP1-TLA	P1	AP1	AP1-TLA	AP2
3-1	-	4.65	-	6.19	2.46	27.48
3-2	-	6.05	-	8.72	4.57	36.98
3-3	-	5.57	-	4.18	1.32	86,28
3-4	-	8.82	-	8.08	4.50	61.79
3-5	-	5.04	-	8.07	5.56	21.75
3-6	-	7.42	-	16.26	5.18	46.29
3-7	-	8.15	-	21.59	8.09	52,54
3-8	-	7.18	-	20.41	9.05	229.41
3-9	-	7.50	-	37.67	6.51	241.55
3-10	-	8.41	-	38.93	10.79	132.99
4-1	-	9.08	-	39.53	5.56	209.99
4-2	-	11.29	-	34.99	2.52	115.31
4-3	-	6.39	-	67.39	1.65	986.60
4-4	-	9.23	-	25.46	3.42	481.93
4-5	-	11.55	-	75.24	12.63	520.04
4-6	-	8.92	-	84.64	10.91	716.88
4-7	-	8.72	-	1035.94	14.60	922.11
4-8	-	6.07	-	110.15	6.36	1160.58
4-9	-	9.81	-	163.46	9.70	1608.52
4-10	-	12.22	-	213.62	14.52	1086.17

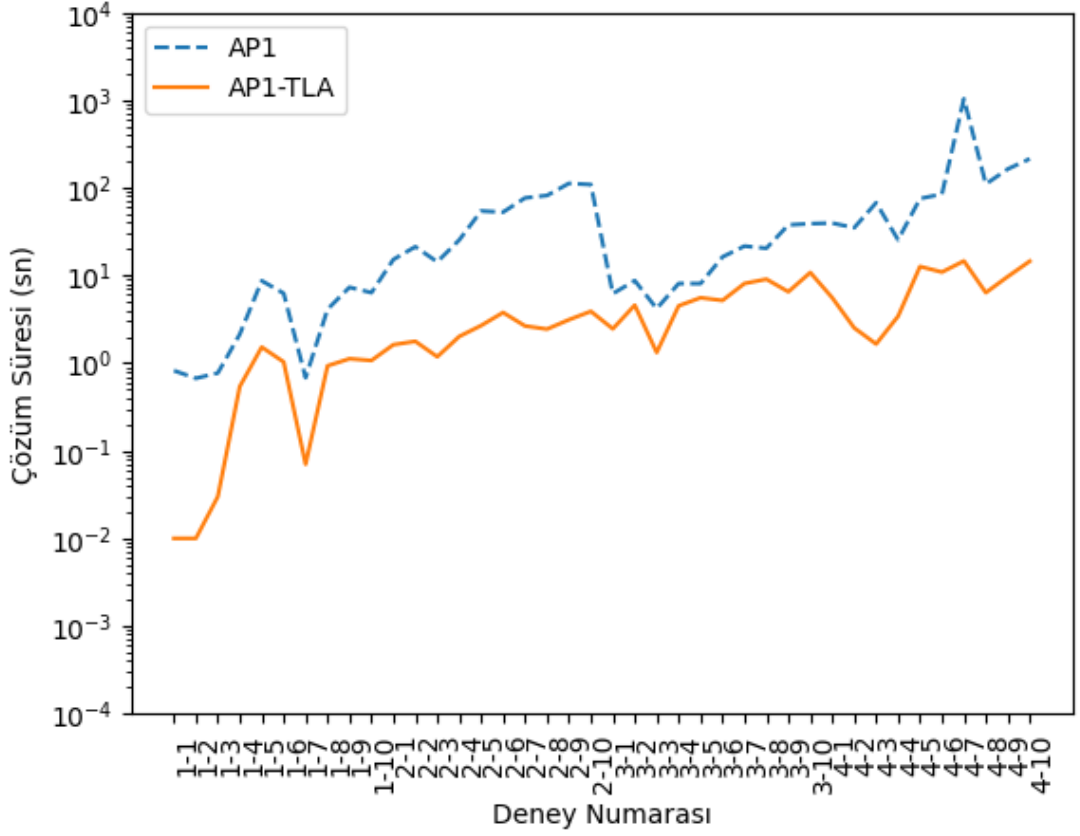
Orta ve büyük boyuttaki problemler için doğrusal olmayan model (P1), kısa zamanda (1 saat) sonuç vermemiştir. Ancak, modeli doğrusallaştırarak (AP1-TLA ve AP2) aynı problem boyutunda kısa zamanda çözüm bulmuştur.

Doğrusal olmayan model (P1) çözüm süresi ile iki aşamalı doğrusal modellerin (AP1-TLA ve AP2) toplam süresi ancak küçük boyuttaki problemler için kıyaslanabilmektedir ve Şekil 6.2’de sunulmuştur. Bu kapsamda, doğrusal modeller (AP1-TLA ve AP2) daha kısa zamanda çözüm vermektedir.



Şekil 6.2: Her Veri Seti (Küçük Boy, Orta Boy ve Büyük Boy) İçin Modellerin (P1 ve AP1-TLA+AP2) Çözüm Süreleri.

Orta ve büyük boyuttaki problemler için ise çözüm süresi açısından sadece doğrusal olmayan model (AP1) ile TLA yaklaşımı ile doğrusallaştırılan model (AP1-TLA) kıyaslanabilmektedir ve Şekil 6.3’te sunulmuştur. Bu kapsamda, doğrusal model (AP1-TLA) daha etkindir.



Tablo 6.5: P1 Ve AP1-TLA Modellerinde Küçük Boyuttaki Veri Seti İçin Çözüm Karakteristiği (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).

Deney Numarası	Tamamen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kısmen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kapsanmayan Talep Yüzdesi		Merkezlerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Şubelerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Atama İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Açılan Şube Sayısı				Açılan Merkez Sayısı	
	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1		AP1-TLA		P1	AP1-TLA
													m=1	m=2	m=1	m=2		
1-1	%4.00	%2.00	%43.00	%27.00	%53.00	%71.00	%33.04	%30.21	%42.88	%40.21	%24.07	%29.58	0.90	1.60	0.60	0.90	1.70	1.00
1-2	%3.00	%2.00	%37.00	%29.00	%60.00	%69.00	%24.87	%24.68	%38.59	%39.72	%36.55	%35.60	1.10	1.30	1.00	0.50	1.80	1.00
1-3	%3.00	%2.00	%40.00	%30.00	%57.00	%68.00	%26.57	%26.94	%38.17	%41.25	%35.26	%31.81	1.20	0.80	1.00	0.70	1.70	1.00
1-4	%5.00	%5.00	%39.00	%35.00	%56.00	%60.00	%27.08	%27.85	%40.07	%42.59	%32.85	%29.56	1.40	1.10	0.60	1.20	1.90	1.10
1-5	%5.00	%5.00	%40.00	%40.00	%55.00	%55.00	%29.82	%29.82	%39.59	%39.59	%30.59	%30.59	0.90	1.60	0.90	1.60	1.60	1.60
1-6	%6.00	%3.00	%42.00	%34.00	%52.00	%63.00	%32.05	%30.55	%41.50	%36.49	%26.44	%32.97	1.00	1.90	0.70	1.40	1.80	1.20
1-7	%7.00	%4.00	%45.00	%33.00	%48.00	%63.00	%27.37	%26.55	%38.65	%41.85	%33.98	%31.59	0.80	2.30	0.60	1.60	2.20	1.20
1-8	%7.00	%5.00	%44.00	%39.00	%49.00	%56.00	%28.74	%26.42	%41.83	%40.96	%29.44	%32.62	0.80	2.00	1.20	1.30	1.90	1.50
1-9	%6.00	%5.00	%41.00	%40.00	%53.00	%55.00	%29.24	%28.47	%42.31	%40.78	%28.45	%30.75	0.60	2.20	1.00	1.70	2.10	2.00
1-10	%8.00	%8.00	%46.00	%46.00	%46.00	%46.00	%30.55	%30.55	%39.85	%39.85	%29.59	%29.59	0.50	2.50	0.50	2.50	2.00	2.00

Tablo 6.5 – devam.

Deneysel Numarası	Tamamen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kısmen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kapsanmayan Talep Yüzdesi		Merkezlerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Şubelerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Atama İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Açılan Şube Sayısı				Açılan Merkez Sayısı	
	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1		AP1-TLA		P1	AP1-TLA
													m=1	m=2	m=1	m=2		
2-1	%6.13	%3.30	%45.13	%35.27	%48.74	%61.43	%34.27	%28.58	%40.86	%37.57	%24.87	%33.85	0.90	2.80	1.00	2.10	1.90	1.00
2-2	%5.20	%3.27	%45.20	%35.60	%49.60	%61.13	%26.83	%28.94	%40.95	%39.05	%32.22	%32.01	0.70	3.10	1.10	1.80	2.10	1.10
2-3	%6.27	%4.00	%45.27	%39.20	%48.46	%56.80	%27.67	%27.91	%38.01	%36.14	%34.32	%35.95	0.60	3.20	0.80	2.20	1.60	1.30
2-4	%6.33	%5.33	%47.33	%44.20	%46.34	%50.47	%26.64	%28.16	%41.50	%38.30	%31.86	%33.54	0.70	3.10	0.60	2.60	2.30	1.90
2-5	%6.40	%6.40	%46.40	%46.40	%47.20	%47.20	%29.14	%29.14	%40.28	%40.28	%30.58	%30.58	0.90	3.00	0.90	3.00	2.00	2.00
2-6	%7.33	%3.40	%47.33	%38.27	%45.34	%58.33	%34.60	%30.00	%43.27	%34.57	%22.13	%35.43	0.70	3.80	1.00	2.10	2.10	1.60
2-7	%7.00	%3.20	%38.00	%36.20	%55.00	%60.60	%27.61	%27.80	%39.23	%39.69	%33.16	%32.51	0.90	3.30	1.20	2.30	2.00	1.90
2-8	%7.60	%3.60	%39.60	%35.27	%52.80	%61.13	%26.91	%29.60	%41.14	%40.32	%31.95	%30.08	0.60	4.10	0.60	3.20	2.50	1.90
2-9	%6.20	%4.00	%47.20	%43.20	%46.60	%52.80	%30.54	%27.29	%42.13	%40.95	%27.33	%31.76	0.60	3.90	0.90	3.10	2.40	2.20
2-10	%7.13	%7.13	%50.13	%50.13	%42.74	%42.74	%33.30	%33.30	%39.47	%39.47	%27.23	%27.23	0.40	4.00	0.40	4.00	2.40	2.40

Tablo 6.6: P1 Ve AP1-TLA Modellerinde Orta Boyuttaki Veri Seti İçin Çözüm Karakteristiği (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).

Deneç Numarası	Tamamen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kısmen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kapsanmayan Talep Yüzdesi		Merkezlerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Şubelerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Atama İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Açılan Şube Sayısı				Açılan Merkez Sayısı	
	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1		AP1-TLA		P1	AP1-TLA
													m=1	m=2	m=1	m=2		
3-1	-	%3.80	-	%29.20	-	%67.00	-	%29.53	-	%39.43	-	%31.04	-	-	1.10	3.60	-	2.60
3-2	-	%4.20	-	%29.80	-	%66.00	-	%27.45	-	%39.87	-	%32.68	-	-	0.60	4.50	-	2.40
3-3	-	%4.20	-	%33.60	-	%62.20	-	%28.90	-	%40.02	-	%31.08	-	-	0.90	4.30	-	2.90
3-4	-	%4.60	-	%34.20	-	%61.20	-	%27.86	-	%43.40	-	%28.75	-	-	0.70	4.40	-	2.90
3-5	-	%5.00	-	%35.80	-	%59.20	-	%29.97	-	%42.75	-	%27.29	-	-	0.90	4.50	-	3.10
3-6	-	%5.20	-	%36.00	-	%58.80	-	%31.30	-	%40.62	-	%28.08	-	-	0.90	4.10	-	2.90
3-7	-	%5.60	-	%39.80	-	%54.60	-	%30.57	-	%42.85	-	%26.58	-	-	0.80	4.60	-	3.80
3-8	-	%6.20	-	%41.40	-	%52.40	-	%29.82	-	%39.76	-	%30.43	-	-	1.00	4.60	-	3.00
3-9	-	%7.60	-	%48.40	-	%44.00	-	%30.24	-	%39.96	-	%29.80	-	-	0.90	4.90	-	3.30
3-10	-	%8.00	-	%54.60	-	%37.40	-	%29.18	-	%38.88	-	%31.93	-	-	0.60	6.20	-	3.90

Tablo 6.7: P1 Ve AP1-TLA Modellerinde Büyük Boyuttaki Veri Seti İçin Çözüm Karakteristiği (Her Satırda 10 Örnek Ortalaması).

Deney Numarası	Tamamen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kısmen Kapsanan Talep Yüzdesi		Kapsanmayan Talep Yüzdesi		Merkezlerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Şubelerin Açılması İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Atama İçin Kullanılan Bütçe Yüzdesi		Açılan Şube Sayısı				Açılan Merkez Sayısı	
	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1	AP1-TLA	P1		AP1-TLA		P1	AP1-TLA
													m=1	m=2	m=1	m=2		
4-1	-	%5.80	-	%38.20	-	%56.00	-	%27.25		%36.78		%35.97	-	-	1.90	7.70	-	7.60
4-2	-	%6.20	-	%39.00	-	%54.80	-	%26.57		%37.22		%36.22	-	-	1.90	8.80	-	8.20
4-3	-	%6.00	-	%40.60	-	%53.40	-	%26.25		%38.25		%35.50	-	-	2.30	9.20	-	8.60
4-4	-	%7.40	-	%42.40	-	%50.20	-	%26.98		%42.52		%30.51	-	-	1.80	10.90	-	9.00
4-5	-	%8.60	-	%45.40	-	%46.00	-	%28.20		%40.98		%30.82	-	-	2.20	10.60	-	9.10
4-6	-	%6.80	-	%41.00	-	%52.20	-	%30.42		%38.85		%30.73	-	-	1.90	7.80	-	7.60
4-7	-	%7.60	-	%44.80	-	%54.60	-	%29.69		%41.08		%29.23	-	-	1.70	9.30	-	8.80
4-8	-	%8.00	-	%51.20	-	%47.60	-	%28.94		%37.99		%33.07	-	-	2.40	9.70	-	8.50
4-9	-	%10.20	-	%53.60	-	%36.20	-	%28.47		%38.19		%33.34	-	-	2.70	11.90	-	9.30
4-10	-	%12.40	-	%54.20	-	%33.40	-	%28.30		%37.11		%34.59	-	-	2.80	13.20	-	9.90

Tablo 6.5 ile 6.7 arasında geliştirilen modellerin çözüm karakteristiklerine yer verilmiştir. Talep noktaları, aday şube ve merkez lokasyonları 100*100'lük alanda rassal olarak dağıtılmıştır. Tamamen kapsanan talep yüzdelerinin 2 ile 13 arasında değişmektedir. Talep noktasının tamamen kapsanması için açılan şubeye olan uzaklığı minimum kritik mesafe içerisinde olmalıdır. Bu gereklilik belirli bir bütçe içerisinde ele alındığından talep noktasının tamamen kapsanma yüzdesi çok yüksek olmadığı gözlemlenmektedir. Bütçenin etkisi, bütçe kullanım oranındaki artışa bağlı olarak kapsanmayan talep yüzdesindeki düşüş ile açıklanabilir. Ek olarak, merkez ve şube kurulum ile atama maliyetlerinin bütçe paylaşım oranları dengelidir.

Sayısal denemeler, performans ve boyut ilişkisi açısından kısmen tutarlı sonuçlar vermiştir. İlk olarak, AP1-TLA formülasyonundaki karar değişkeni ve kısıt sayısı AP1'den daha fazla olmasına rağmen, TLA çözüm süresi açısından AP1'i geride bırakmaktadır. Bu, AP1-TLA formülasyonunda uygulanan TLA yaklaşımının ortalama olarak belirli grup çalışmaları için çözücü tarafından daha iyi işlenebileceğini göstermektedir.

7. SONUÇ

Tedarik zinciri ađ tasarımı problemleri geleneksel olarak stratejik, taktik ve operasyonel karar düzeylerine sahiptir. Bu kararlar genellikle tesis konumları, tesislerin büyüklükleri, malzemelerin temini ve dağıtımı, günlük sevkiyatlar vb. gibi konuları içerir. Literatürde, bu kararlar tesis konumu, lojistik ađ tasarımı, envanter yönetimi ve araç rotalama gibi farklı alt problemler olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, bu üç farklı karar düzeyini entegre etmeyi hedefleyerek karmaşık bir tedarik zinciri ağı tasarlamak amaçlanmıştır. Önerilen modelde, günlük dağıtımları optimize eden bir MINLP model (P1) oluşturulmuştur. Bu modelde, açılacak olan merkez sayısı ve konumları, şube sayısı ve konumları ile şubelerin boyutu, merkezlerin şubelere atanması, açılan şubelerde belirlenen asgari stok seviyesine göre günlük dağıtımların rotalanması gibi hususlarda karar vericiye yardımcı olunmuştur. Modelin amacı, önceden belirlenmiş talep noktalarının hizmet seviyesini maksimum düzeyde sağlarken, toplam sistem maliyetini minimize etmektir. Bu maliyetler, bir merkezin ve şubenin kurulum maliyetini, atama maliyetini ve taşıma maliyetini içermektedir.

Bu modeli çözmek için iki farklı yöntem kullanılmıştır. İlk olarak, Model (P1) için GAMS modelleme programındaki SCIP ticari çözücüsü kullanılmıştır. Bu yöntemin yalnızca küçük boyutlu problem örneklerini çözebildiği gözlemlenmiştir. Modelin (P1) karmaşıklığı ve doğrusal olmaması sebebiyle çözüm süresi uzundur. Bu nedenle, modelin doğrusal olmayan terimleri değiştirilmiş ve alternatif iki aşamalı çözüm (AP1-TLA ve AP2) için MILP geliştirilmiştir. Bahse konu modeller için ise GAMS modelleme programındaki CPLEX ticari çözücüsü kullanılmıştır.

Modellerin (AP1-TLA ve AP2) performansı, doğrusal olmayan model ile karşılaştırılmıştır. Problem daha önce çalışılmadığı için mevcut bazı veriler yoktur. Bu nedenle, ileri çalışmalarda da kullanılabilecek yeni bir veri seti oluşturulmuştur.

Özet olarak, yer seçimi, boyutlandırma, atama, envanter kararları ve rota kararlarını entegre eden karmaşık bir tedarik zinciri ağı modellenmiştir. Önerilen, MILP

formülasyonları ile çeşitli problem örnekleri için kapsama maksimizasyonu, envanter rotalama maliyetleri ve çözüm süreleri arasında uygun dengeyi seçme imkânı sağladığı gösterilmiştir.



KAYNAKÇA

- Aboolian, R., Berman, O., & Krass, D. (2007). Competitive facility location model with concave demand. *European Journal of Operational Research*, 181(2), 598–619.
- Miranda, E., & Sinnl, M. (2019). An exact solution framework for the multiple gradual cover location problem. *Computers & Operations Research*, 108, 82–96.
- Averbakh, I., Berman, O., Krass, D., Kalcsics, J., & Nickel, S. (2014). Cooperative covering problems on networks. *Networks*, 63(4), 334–349.
- Berman, O., Drezner, Z., & Krass, D. (2010). Generalized coverage: New developments in covering location models. *Computers & Operations Research*, 37(10), 1675–1687.
- Berman, O., Drezner, Z., & Krass, D. (2011). Discrete cooperative covering problems. *Journal of the Operational Research Society*, 62(11), 2002–2012.
- Berman, O., Krass, D., & Drezner, Z. (2003). The gradual covering decay location problem on a network. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 474–480.
- Berman, O., Drezner, Z., & Krass, D. (2018). The multiple gradual cover location problem. *Journal of the Operational Research Society*, 1–10.
- Cheng, C., Qi, M., Wang, X., Zhang, Y., 2016. Multi-period inventory routing problem under carbon emission regulations. *Int. J. Prod. Econ.* 182, 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.001>
- Coelho, L.C., Cordeau, J.-F., Laporte, G., 2014. Thirty Years of Inventory Routing. *Transp. Sci.* 48, 1–19. <https://doi.org/10.1287/trsc.2013.0472>
- De, A., Kumar, S.K., Gunasekaran, A., Tiwari, M.K., 2017. Sustainable maritime inventory routing problem with time window constraints. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 61, 77–95. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.02.012>
- Dogan, K., Karatas, M., & Yakici, E. (2020). A model for locating preventive health care facilities. *Central European Journal of Operations Research*, 28(3), 1091–1121.
- Drezner, T., & Drezner, Z. (2013). The maximizing gradual cover location problem. *OR spectrum*, 36(4), 903–921.
- Drezner, T., Drezner, Z., & Goldstein, Z. (2010). A stochastic gradual cover location problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 57(4), 367–372.
- Ghorbani, A., Jekar, M.R.A., A hybrid imperialist competitive-simulated annealing algorithm for a multisource multi-product location-routing-inventory problem, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 101, 2016, Pages 116-127, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.08.027>.

- Guerrero, W. J., Prodhon, C., Velasco, N., & Amaya, C. A. (2015). A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 22(1), 129-148.
- Habibi, M.K.K., Battaïa, O., Cung, V.-D., Dolgui, A., 2017. Collection-disassembly problem in reverse supply chain. *Int. J. Prod. Econ.. Closed Loop Supply Chain (CLSC): Economics, Modelling, Management and Control* 183. 334–344. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.025>
- Hiassat, A., & Diabat, A. (2011). A location-inventory-routing-problem with perishable products. In *41st International Conference on Computers and Industrial Engineering 2011* (pp. 130-135). (41st International Conference on Computers and Industrial Engineering 2011).
- Hiassat, A., Diabat A., Rahwan, I., A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 42, 2017, Pages 93-103, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.10.004>.
- Hu, H., Li, J., Li, X., 2017. A credibilistic goal programming model for inventory routing problem with hazardous materials. *Soft Comput.* 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2663-y>
- Karasakal, O., & Karasakal, E. K. (2004). A maximal covering location model in the presence of partial coverage. *Computers & Operations Research*. 31(9). 1515–1526.
- Karatas, M. (2017). A multi-objective facility location problem in the presence of variable gradual coverage performance and cooperative cover. *European Journal of Operational Research*. 262(3). 1040–1051.
- Karatas, M. & Dasci, A. (2020). A two-level facility location and sizing problem for maximal coverage. *Computers & Industrial Engineering*. 139. 106204.
- Karatas, M., & Eriskin, L. (2021). The minimal covering location and sizing problem in the presence of gradual cooperative coverage. *European Journal of Operational Research*, 295(3), 838-856.
- Karatas, M. & Onggo, B. S. (2019). Optimising the barrier coverage of a wireless sensor network with hub-and-spoke topology using mathematical and simulation models. *Computers & Operations Research*. 106. 36–48.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Ghezavati, V. R. (2014). Efficiency of a multi-objective imperialist competitive algorithm: A bi-objective location-routing-inventory problem with probabilistic routes. *Journal of AI and Data Mining*, 2(2), 105-112.
- Nolz, P.C., Absi, N., Feillet, D., 2014. A Bi-Objective Inventory Routing Problem for Sustainable Waste Management Under Uncertainty. *J. Multi-Criteria Decis. Anal.* 21. 299–314. <https://doi.org/10.1002/mcda.1519>
- Timajchi, A., Mirzapour Al-e-Hashem, S.M.J., Rekik, Y., 2018. Inventory routing problem for hazardous and deteriorating items in the presence of accident risk with transshipment option. *Int. J. Prod. Econ.* <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.018>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı :

BAYAT, Büşra Sultan

Uyruğu :

T.C.

Derece	Üniversite ve Bölüm	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Anadolu Üniversitesi/İşletme Fakültesi/İşletme	25.05.2015
Lisans	Çankaya Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/Endüstri Mühendisliği (İngilizce)	29.07.2016

Yabancı Dil

İngilizce