

**OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE DEPOLARDA SİPARİŞ TOPLAMA
SÜREÇLERİ ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI**

Esra BOZ

Doktora Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nil ARAS

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2022

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 20DRP060 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET

OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE DEPOLARDA SİPARİŞ TOPLAMA SÜREÇLERİ ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI

Esra BOZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2022

Danışman: Doç. Dr. Nil ARAS

Günümüzde müşteriler belirli bir zaman çerçevesinde ürünlerini teslim almak istemektedirler. Şirketler için müşterilere tam zamanında ulaşma süreci ise yönetilmesi oldukça zor olmaktadır. Çünkü bu sürecin başarılı bir şekilde yönetilmesi depo içi ve depo dışı süreçlerin birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Müşteri siparişi şirkete ulaştığı anda ilgili süreç başlar ve depo içerisinde ortaya çıkan “Sipariş Toplama/Gruplama” süreci, depo dışındaki “Araç Rotalama” sürecini izler. Özellikle pandemi gibi etkenlerin gerektirdiği yaşam koşullarından sonra bu süreçler şirketler için daha önemli bir hale gelmekte ve gerçek hayatta çok sık karşılaşılan bir problem olmaktadır. Bu bütünsel süreç literatürde “Sipariş Gruplama ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi” olarak geçmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında ilgili problem için mevcut literatür incelenerek yeni bir karma tamsayılı doğrusal matematiksel model, kısıtlar ve varsayımlar ışığında geliştirilmiştir. Geliştirilen problem için küçük, orta ve büyük boyutlu veri setleri oluşturulmuş, CPLEX çözücüsü kullanılarak çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Ancak bu çözücü ile yalnızca küçük boyutlu veri setinin bir kısmı çözülebilmiş olup orta ve büyük boyutlu veri setleri için çözüme ulaşılamamıştır. Bu yüzden bir metasezgisel arama algoritması olan Genetik Algoritma önerilmiş ve küçük, orta ve büyük boyutlu veri örnekleri için ilgili problem farklı toplayıcı rotalama sezgiselleri ile çözülerek sonuçlara ulaşılmıştır. Önerilen matematiksel model üzerinde denenen gerçek ve hipotetik verilere göre sonuçlar başarılı olmuş ve depo yapısına en uygun olan toplayıcı rotalama sezgiseli önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Araç rotalama problemi, Depo yönetimi, Genetik algoritma, Sipariş toplama problemi, Sipariş gruplama problemi

ABSTRACT

OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF ORDER PICKING PROCESSES IN WAREHOUSES

Esra BOZ

Department of Industrial Engineering

Programme in Industrial Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2022

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nil ARAS

Customers nowadays expect to receive their orders within a specified time window. The process of reaching customers on time is especially challenging for businesses to handle. Because effective management of this process demands the integration of in-warehouse and out-of-warehouse operations. The relevant process begins as soon as the customer order arrives at the company, and the "Order Picking/Batching" process inside the warehouse follows the "Vehicle Routing" process outside the warehouse. These processes become more crucial for companies, especially following the living conditions demanded by causes such as the pandemic, and are a very common problem in real life. The literature refers to this integrated process as the "Order Batching and Vehicle Routing Problem with Time Window." By reviewing the available literature for the related problem, a new mixed integer linear mathematical model was built in light of limitations and assumptions in this study. Small, medium, and large data sets were constructed for the developed issue, and a solution was attempted using the CPLEX solver. However, only a portion of a small data set could be solved with this solver, and no solution could be found for medium or large data sets. As a result, the Genetic Algorithm, a metaheuristic search algorithm, is suggested, and the related problem is solved using various picker routing heuristics for small, medium, and large data samples, with good outcomes. The results were successful, and the best acceptable picker routing heuristic was proposed, based on real and hypothetical data tested on the proposed mathematical model.

Keywords: Vehicle routing problem, Warehouse management, Genetic algorithm,
Order picking problem, Order batching problem.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sürecinde; öncelikle danışmanlık yaparak sorduğum tüm soruları sabırla cevaplayarak değerli bilgi ve desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Nil ARAS'a, her zaman yanımda bulunan sevgili eşime, değerli aileme ve arkadaşlarıma, tez izleme komitesinde yer alarak, önemli katkılarda bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Doğan EROL ve Prof. Dr. Berna ULUTAŞ'a ve tez jürisinde yer alarak önemli önerilerini sunan Prof. Dr. Mehmet AKTAN, Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR ve Prof. Dr. Özden ÜSTÜN en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Esra BOZ



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Esra BOZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı.....	3
1.2. Metodoloji	4
2. SİPARİŞ TOPLAMA PROBLEMİ	6
2.1. Depolarda Sipariş Toplama Faaliyeti	6
2.2. Sipariş Toplama Prensip ve Stratejileri.....	12
2.2.1. Toplayıcıdan ürünlere sipariş toplama stratejisi	13
2.2.2. Ürünlerden toplayıcıya sipariş toplama stratejisi	14
2.2.3. Otomasyona dayalı sipariş toplama stratejisi.....	15
2.3. Sipariş Toplama Politikaları	15
2.3.1. Ayrık sipariş toplama.....	15
2.3.2. Partiler halinde toplama	16
2.3.3. Bölgesel toplama	17
2.3.4. Dalgasal toplama	17
2.3.5. Karma sistemler	17

3. BÜTÜNLEŞİK SİPARİŞ GRUPLAMA VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....	19
3.1. Sipariş Gruplama Problemi	19
3.1.1. Sipariş gruplama problemi için matematiksel model	20
3.1.2. Sipariş gruplama problemi algoritmaları	22
3.1.2.1. Çekirdek algoritmalar.....	22
3.1.2.2. Tasarruf esaslı algoritmalar.....	24
3.2. Toplayıcı Rotalama Problemi	27
3.2.1. S-şekilli rotalama sezgiseli	27
3.2.2. Geri dönüşlü rotalama sezgiseli	27
3.2.3. Orta noktalı rotalama sezgiseli	28
3.2.4. En büyük boşluğa göre rotalama sezgiseli	28
3.2.5. Karma yöntem	29
3.3. Araç Rotalama Problemi.....	30
3.3.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi.....	32
3.3.2. Zaman pencereci araç rotalama problemi.....	34
3.3.3. Periyodik araç rotalama problemi.....	36
3.3.4. Açık uçlu araç rotalama problemi	37
3.3.5. Dinamik araç rotalama problemi	39
3.4. Bütünleşik Sipariş Gruplama ve Araç Rotalama Problemi.....	39
4. MEVCUT YAYINLARIN ANALİZİ.....	44
4.1. Yayın Araştırmasında Kullanılan Metodoloji.....	44
4.2. Sipariş Gruplama Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar	44
4.2.1. Çalışmaların sınıflandırılması.....	45
4.2.2. Kesin çözüm yöntemlerini kullanan çalışmalar	51
4.2.3. Metasezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar	53
4.2.4. Sezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar	59
4.2.5. Diğer yöntemleri kullanan çalışmalar	60
4.3. Araç Rotalama Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar	61
4.3.1. Çalışmaların sınıflandırılması.....	62
4.3.2. Kesin çözüm yöntemlerini kullanan çalışmalar	64
4.3.3. Metasezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar	65

4.3.4. Sezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar	67
4.3.5. Diğer yöntemleri kullanan çalışmalar	69
4.4. Bütünleşik Sipariş Toplama ve Araç Rotalama Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar	69
4.5. Mevcut Çalışmaların Değerlendirilmesi	73
5. BÜTÜNLEŞİK SİPARİŞ GRUPLAMA VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN KARMA TAMSAYILI KARAR MODELİ.....	76
5.1. Matematiksel Model Varsayımları.....	76
5.2. Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Model	78
5.3. Karma Tamsayılı Doğrusal Model	83
5.4. Modelin Doğrulanması	86
5.5. Farklı Örnek Büyüklükleri İçin Matematiksel Modelden Elde Edilen Sonuçlar	89
6. BÜTÜNLEŞİK PROBLEM İÇİN ÖNERİLEN GENETİK ALGORİTMA MODELİ.....	90
6.1. Genetik Algoritma.....	90
6.1.1. Çözüm gösterimi.....	93
6.1.2. Başlangıç popülasyonu.....	94
6.1.3. Uygunluk fonksiyonu	95
6.1.4. Seçim stratejisi.....	95
6.1.4.1. Rulet çemberi seçimi.....	96
6.1.4.2. Turnuva seçimi	97
6.1.4.3. Sıralı seçim.....	98
6.1.5. Yeniden üretim	98
6.1.5.1. Çaprazlama	98
6.1.5.2. Mutasyon.....	100
6.1.5.3. Elitizm	102
6.1.6. Yer değiştirme stratejisi.....	102
6.1.7. Durdurma Ölçütleri	103
6.2. Uygulamada Genetik Algoritma Kullanımı	103

6.3. Deneysel Tasarım ile Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi	106
6.4. Depo Yapısı.....	109
6.5. Veri Toplama.....	109
6.6. Bulgular.....	110
6.7. Duyarlılık Analizi.....	119
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	122
7.1. Literatüre Katkıları	122
7.2. Uygulama Alanına Katkıları	123
7.3. Çalışmanın Sınırlılıkları	123
7.4. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler.....	124
KAYNAKÇA.....	125
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Sipariş gruplama problemi notasyon	20
Tablo 3.2. Gruplama için sipariş yakınlık ölçütleri (Gu vd., 2007; Şahin, 2014).....	23
Tablo 4.1. Sipariş gruplama üzerine kaynak incelemesi.....	45
Tablo 4.2. Sipariş toplama ve araç rotalama problemi üzerine kaynak incelemesi	72
Tablo 5.1. Parametrelere ait notasyon.....	78
Tablo 5.2. Karar değişkenlerine ait notasyon.....	80
Tablo 5.3. Matematiksel modelin CPLEX çözümü ile elde edilen çözümler	89
Tablo 6.1. Genetik algoritma kavramları (Gen ve Cheng, 1999).....	91
Tablo 6.2. Rulet çemberi örneği.....	96
Tablo 6.3. Rulet çemberi örneği sonuçları	97
Tablo 6.4. Benzer çalışmaların parametreleri	106
Tablo 6.5. Algoritma parametreleri.....	107
Tablo 6.6. İndirgenmiş Taguchi L27 ortogonal dizisi.....	108
Tablo 6.7. Faktörler ve seviye parametreleri	108
Tablo 6.8. Depo parametreleri	110
Tablo 6.9. Küçük, orta ve büyük boyutlu veri setleri için GA, İĞİHG ve CPLEX sonuçları.....	111
Tablo 6.10. Küçük boyutlu veri seti genetik algoritma sonuçları	113
Tablo 6.11. Orta boyutlu veri seti genetik algoritma sonuçları.....	114
Tablo 6.12. Büyük boyutlu veri seti genetik algoritma sonuçları	115
Tablo 6.13. Küçük, orta ve büyük boyutlu veri setleri için GA, İĞİHG ve CPLEX çözüm süreleri (saniye)	116
Tablo 6.14. Rotalama sezgisellerine göre problem sonuçları	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Metodoloji Akış Diyagramı.....	5
Şekil 2.1. Depo fonksiyonları maliyetleri (Tompkins vd., 2010).....	7
Şekil 2.2. Depo faaliyetlerinin toplam maliyet içerisindeki maliyet oranları (Richards, 2017).....	7
Şekil 2.3. Depolama faaliyetleri	8
Şekil 2.4. Sipariş toplama politikaları örnek gösterimi	18
Şekil 3.1. Çekirdek algoritma (Pan ve Liu, 1995)	24
Şekil 3.2. Clarke and Wright Algoritması (Lysgaard, 1997).....	25
Şekil 3.3. S- şekilli rotalama sezgiseli (Roodbergen, 2001).....	27
Şekil 3.4. Geri dönüşlü rotalama sezgiseli	28
Şekil 3.5. Orta noktalı rotalama sezgiseli (Roodbergen, 2001).....	28
Şekil 3.6. En büyük boşluğa göre rotalama sezgiseli (Roodbergen, 2001)	29
Şekil 3.7. Karma yöntem (Roodbergen, 2001).....	29
Şekil 3.8. Araç rotalama problemi örnek gösterimi (Şen vd., 2015).....	30
Şekil 3.9. Araç rotalama problemi çeşitleri (Can Atasagun ve Karaoğlu, 2015)	32
Şekil 3.10. Açık uçlu araç rotalama problemi gösterimleri (Kuşçu ve Küçüksille, 2009)	37
Şekil 3.11. Sipariş gruplama ve zaman pencereli araç rotalama probleminin şekil üzerinde gösterimi	42
Şekil 4.1. Sipariş gruplama problemi için kategori seçimi.....	47
Şekil 4.2. Yıllara göre incelenen çalışma sayısı	48
Şekil 4.3. İncelenen çalışmaların problem çeşitleri	49
Şekil 4.4. İncelenen çalışmaların çözüm yöntemleri	50
Şekil 4.5. Veri kullanımına göre çalışmalar	50
Şekil 4.6. Depo yapısına göre çalışmalar	51
Şekil 4.7. 1954-2006 yılları arasındaki çalışma sayıları (Ekşioğlu vd., 2009).....	62
Şekil 4.8. 2009-2015 yılları arasında çalışılan problem tipleri (Braekers vd., 2016).....	63
Şekil 4.9. 2009-2015 yılları arasında çalışılan çözüm yöntemleri (Braekers vd, 2016)	64
Şekil 4.10. Literatürde bütünsel sipariş toplama ve araç rotalama problemlerinde çalışılan toplama stratejileri çalışma sayıları	73

Şekil 5.1. Örnek depo gösterimi	79
Şekil 5.2. Örnek deponun yerleşim planı	87
Şekil 5.3. Sipariş gruplama ve zaman rencereleli araç rotalama problemi sözde kod gösterimi	87
Şekil 5.4. Genel akış şeması	88
Şekil 6.1. Genetik algoritma akış diyagramı (Yıldız, 2019).....	92
Şekil 6.2. İkili kodlama gösterimi	93
Şekil 6.3. Permütasyon kodlama gösterimi	93
Şekil 6.4. Ağaç kodlama gösterimi ((Gupta, 2006) aktaran (Şahin, 2014))	94
Şekil 6.5. Değer kodlama gösterimi	94
Şekil 6.6. Rulet çemberi örneği	97
Şekil 6.7. Turnuva seçim örneği	98
Şekil 6.8. Tek nokta çaprazlama örneği	99
Şekil 6.9. İki nokta çaprazlama örneği	99
Şekil 6.10. Çok nokta çaprazlama örneği	100
Şekil 6.11. Kısmi ilişkilendirilmiş çaprazlama örneği	100
Şekil 6.12. İkili yer değiştirme mutasyon örneği.....	101
Şekil 6.13. Ters çevirme mutasyon örneği	101
Şekil 6.14. Araya ekleme mutasyon örneği	101
Şekil 6.15. Sezgisel mutasyon örneği	102
Şekil 6.16. Uygulanan genetik algoritma kod gösterimi	104
Şekil 6.17. Ele alınan depo yapısı.....	109
Şekil 6.18. 5 ve 10 müşterili örnekler için GA, İGİHG ve CPLEX sonuçları	112
Şekil 6.19. Veri setleri için GA ve İGİHG sonuçları.....	112
Şekil 6.20. Veri setleri için çözüm süreleri (saniye).....	117
Şekil 6.21. Küçük boyutlu örnekler için yakınsama grafiği	117
Şekil 6.22. Orta boyutlu örnekler için yakınsama grafiği.....	118
Şekil 6.23. Büyük boyutlu örnekler için yakınsama grafiği	118
Şekil 6.24. Farklı rotalama sezgiselleri ile çözüm sonuçları	119
Şekil 6.25. Geç teslim etme zamanı duyarlılık analizi sonuçları.....	120
Şekil 6.26. Amaç fonksiyonu sabitleri duyarlılık analizi sonuçları.....	121
Şekil 6.27. Kısıtlar ile ilgili duyarlılık analizi sonuçları.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SKU	: Stok Tutma Birimi
SG_ZP_ARP	: Sipariş Gruplama ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
SG_ARP	: Sipariş Gruplama ve Araç Rotalama Problemi
SGP	: Sipariş Gruplama Problemi
STP	: Sipariş Toplama Problemi
ZP_ARP	: Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi
İĞİHG	: İlk Gelen İlk Hizmet Görür



1. GİRİŞ

Günümüzde şirketler, lojistik maliyetlerini azaltmaya, aynı zamanda müşteri hizmet düzeyini artırmaya çalışmaktadır. Bu istek, iş yöneticilerinin ve bilim insanlarının depo yönetim sistemine ve sipariş dağıtımını konusuna odaklanmalarına neden olmaktadır. Depo yönetimi içerisinde en önemli faaliyetlerden birisi sipariş toplama sürecidir. Bu süreçte, siparişlerin depo içerisinde bulundukları yerden toplanması beklenmektedir. Aynı zamanda, depo içi süreçler planlanırken diğer taraftan depo dışı süreçlerin de birlikte planlanması, süreci bütünsel olarak daha etkili hale getirmektedir. Depo dışındaki faaliyet ise, temel olarak siparişlerin müşterilere dağıtılmasıdır. Bu iki faaliyet bu çalışmanın odak noktasıdır.

Depolama, birçok şirketin rekabetçi konumlarını geliştirmek için kullandığı stratejik bir güce dönüşmektedir. Aynı zamanda depo, mükemmelliği elde etmeyi zorlaştıran sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu zorluklardan bazıları izleyen şekildedir (Smith, 1998):

- Çok fazla sayıda Stok Tutma Birimi (Stock Keeping Unit-SKU)'nın varlığı
- Artan müşteri hizmeti gereksinimleri
- Stok sayılarının azaltılması talepleri
- Depo işletme verimliliğinin ve alan kullanımının artırılması talepleri
- Müşteriye özel ürünlerdeki artan talepler
- Depo yönetiminin, toplam lojistik içerisine daha fazla birleştirilme ihtiyacı
- Hızlı yanıt, çapraz sevkiyat, tam zamanında üretim konusunda önemli ölçüde artan talepler
- Lojistik felsefesindeki değişiklikler
- Lojistik ağındaki seviyelerin azalması ve doğrudan müşteriye hizmet için gelen talepler
- Güvenilir, duyarlı, verimli ve etkili üçüncü parti lojistik sağlayıcılarının varlığı ve bunların ne zaman en iyi şekilde kullanılacağı ile ilgili sorunlar
- Bir depo operasyonunun planlanmasında kullanılacak olan ekipman ve sistem seçeneklerinin sayısında önemli artış
- Bilgi ve teknoloji sistemlerinin zorlukları

- Yönetimin, gelişmiş ölçümler ve operasyonel hesap verebilirlik için artan ihtiyaçları
- Küresel pazarda artan baskı ve dağıtım ihtiyacının çeşitliliğinden kaynaklanan zorluklar

Günümüzün depo operasyonlarının planlanması, yönetimi ve geliştirilmesi, depolamaya öncesinde kabul edilenden daha fazla profesyonel bir yaklaşım gerektirmektedir (Smith, 1998). Bu yüzden depo faaliyetleri hem teoride hem de uygulamada çalışılması zorunlu olan bir alan haline gelmektedir.

Bir depo içerisinde başlıca dört depo fonksiyonu vardır. Bunlar; ürünlerin teslim alınması, stoklanması, siparişlerin toplanması ve gönderilmesidir. Bu fonksiyonlar içerisinde en önemli ve en maliyetli olan fonksiyon, sipariş toplama fonksiyonudur. Sipariş toplama sürecinde, ürünler depolarda bulundukları yerden toplanmaktadır. Bu sürecin en az mesafe ile planlanması ise literatürde “Sipariş Toplama Problemi” olarak tanımlanmaktadır. Depolarda, depo ve sipariş çeşidine göre farklılık gösteren bu süreçte siparişin miktar ve yoğunluğuna bağlı olarak siparişler ayrı ayrı veya bir grup halinde toplanabilmektedir. Sipariş miktarının düşük, sipariş sıklığının ise yüksek olduğu depolarda siparişlerin gruplar halinde toplanabilmesi hem süre hem de gezinme mesafesi açısından daha verimli bir süreç sağlamaktadır. Siparişin gruplar halinde toplanması durumunda, birlikte toplanacak olan sipariş gruplarını belirli bir amaca yönelik olarak belirlemeye çalışan probleme “Sipariş Gruplama Problemi” denilmektedir. Bu problemin uygulanması ile depo içerisinde hem siparişlerin toplanma süresi hem de siparişlerin toplanma mesafesinde iyileştirmeler meydana gelmektedir.

Müşteriye ürünlerin ulaştırılması konusunda, depo içi süreçlerin depo dışı süreçlerle birlikte düşünülmesi, bu iki sürecin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Depo dışındaki süreçte, müşterilere ürünlerin gönderilmesi beklenmektedir. Müşterilere ürünleri teslim etmek için müşteriler arasındaki rotayı belirleyen bu problem literatürde “Araç Rotalama Problemi” olarak geçmektedir. Depo içi ve depo dışı faaliyetlerin birlikte düşünülmesi ile oluşan Sipariş Gruplama ve Araç Rotalama Problemi, müşteri siparişlerinin depoya ulaşması ile başlamakta ve siparişlerin müşterilere teslim edilmesi ile son bulmaktadır. Bu iki problemin birlikte düşünülmesi problemlerin art arda gelmesi sebebi ile süreçleri birbirlerine bağlayarak daha etkin sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır.

Sipariş Gruplama ve Araç Rotalama Problemini, müşterilerin belirli bir zaman aralığında siparişlerini kabul edebileceği bir tedarik zinciri ağında düşünüldüğü takdirde siparişlerin depoya ulaştığı andan itibaren süre kavramı anlam kazanmaktadır. Çünkü depo içerisindeki her işlem, müşteriye siparişlerin ulaştığı süreyi etkilemektedir. Aynı şekilde depo dışındaki müşteri sıralarının ve rotalarının belirlendiği araç rotalama problemi içerisinde de her işlem siparişlerin müşterilere ulaştığı süreyi değiştirmektedir. Bu yüzden; müşteriler tarafından belirli bir zaman kısıtı verildiği için probleme zaman penceresinin eklenmesi bir zorunluluk haline gelmektedir. Böylelikle problem Sipariş Gruplama ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi olarak adlandırılmaktadır.

İzleyen bölümde, öncelikle, bu başlık altında tanımlanan problemi ele alan bu tez çalışması ile ilgili kapsam hakkında bilgi verilmektedir. Ardından, devam eden bölümde çalışmanın metodolojisi ile ilgili gerekli bilgiler ifade edilmektedir.

1.1. Çalışmanın Kapsamı

Müşterilerin belirli zamanlarda ürün teslimatı yapılmasını istemesinden dolayı, ilgili şirketler teslimatların planlanması konusunda zorluklar yaşamaktadır. Ayrıca, gelen müşteri siparişlerinin az sayıda olması durumunda ise şirketler maliyet ve zaman yönetimi açısından daha da zorlanmaktadır. Bundan dolayı, şirketlerin müşteri memnuniyetini gözeterek, sürenin ve maliyetin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için bu süreci doğru bir şekilde organize etmesi gerekmektedir. Bu süreçteki temel soru müşterilerin istediği süre zarfında, ürünlerin en az maliyetle müşterilere nasıl ulaştırılacağıdır. Bu çalışmanın çıkış noktası bu soru olmakla beraber, ilgili süreçler araştırılmakta ve temel problem tanımlanmaktadır.

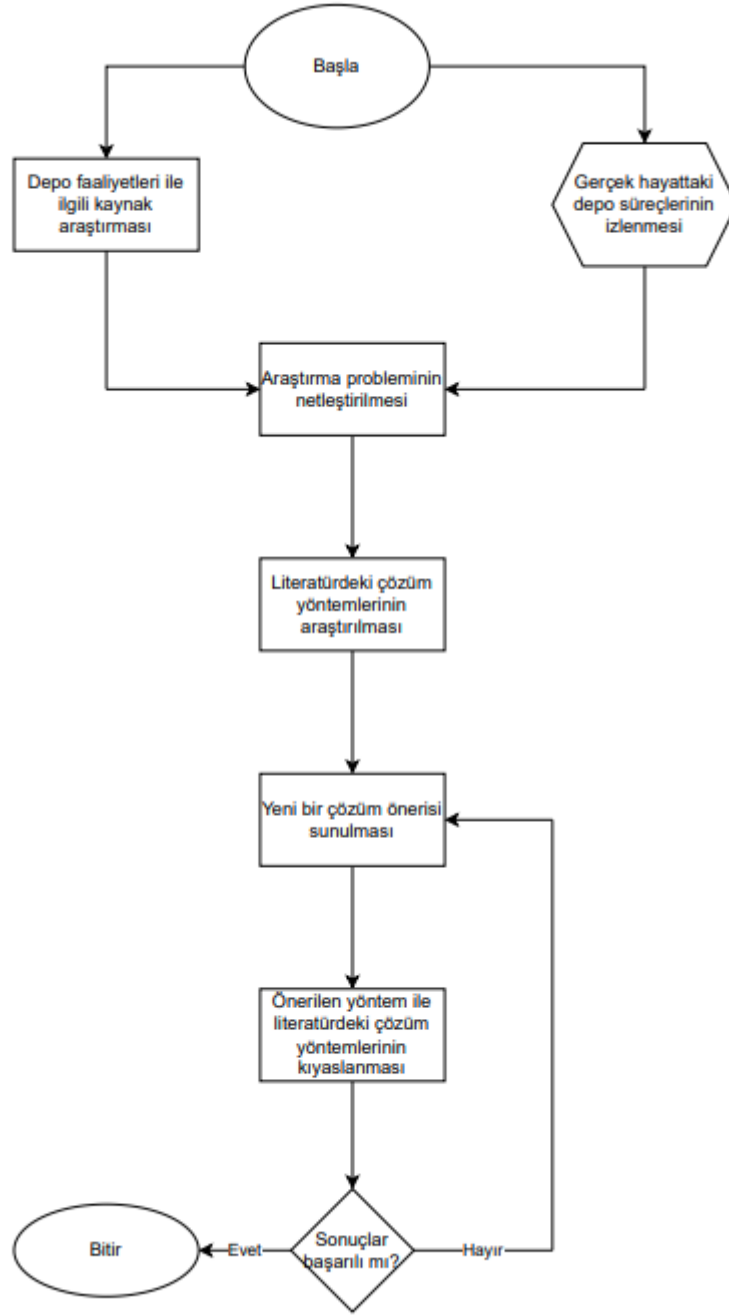
Yapılan tez çalışmasında öncelikle sipariş gruplama ve zaman pencereli araç rotalama problemi için mevcut kaynak araştırması yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda, ilgili literatürde oldukça az sayıda kaynağa ulaşılmakta ve bu kaynaklar, tezde çalışılan problemi tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Bu yüzden, ilgili kısıtlar ve varsayımlar ışığında yeni bir karma tamsayılı doğrusal matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model, bir şirkete gelen müşteri siparişlerinin depo içerisinde gruplanarak depoda bulundukları yerlerden toplanması ve toplanan ürünlerin müşterilere ulaştırılması süreçlerini içermektedir. Bu problem içerisinde depo içindeki ve dışındaki mesafe ve süre, gruplara ve araçlara atanan ürünlerin müşterilerine göre anlık olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan sürelerin toplamı, müşterilere ulaştırılan ürünlerin

gecikme durumunu ve miktarını oluşturmaktadır. Şirketler; müşterilere ürünlerini teslim etme konusunda herhangi bir gecikme yaşanmasını hem ceza maliyeti oluşmaması hem de müşteri kaybı yaşanmaması için istememektedir. Bu yüzden; gecikme faktörü, oluşturulan matematiksel model içerisinde önemli bir sorun olarak yansıtılmıştır.

İlgili matematiksel model geliştirildikten sonra, çözümü için CPLEX çözücüsü kullanılmıştır. Bu şekilde yalnızca küçük boyutlu örneklerin bir kısmı için çözüm değerlerine ulaşılmış olup, orta ve büyük boyutlu örnekler için çözüm değerlerine ulaşılamamıştır. Bu yüzden, metasezgisel çözüm algoritmalarından kısa sürede en iyi global çözüme ulaşabilen Genetik Algoritma önerilmiş ve veri seti örnekleri için problem, önerilen Genetik Algoritma ile çözümlenerek sonuçlara ulaşılmıştır.

1.2. Metodoloji

Tez çalışmasında, adımları Şekil 1.1'de verilen sistematik bir çalışma yürütülmüştür. Buna göre; öncelikle bir şirkette depo süreçleri izlenerek, şirketin genel anlamda problem yaşadığı noktalar belirlenmiştir. Şirketin yeni bir sistem düzenini planladığı gözlemlenerek ilgili araştırma sorusu oluşturulmuştur. Oluşturulan araştırma sorusu şu şekildedir: “Müşterilerin istediği süre zarflarında, ürünlerin en az maliyetle müşterilere ulaştırılması nasıl sağlanabilir, bunun için neler gereklidir?” Bu araştırma sorusu kapsamında, ilgili mevcut literatür incelenerek araştırma sorusuna yanıt bulunmaya çalışılmıştır. Araştırma sorusuna mevcut literatür ile yanıt bulunamadığı için yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Paket çözücüler ile, önerilen matematiksel model kullanılarak veri seti örnekleri çözülemediği için bir metasezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen metasezgisel algoritma ile problem örnekleri çözülmüş ve farklı yöntemlerle kıyaslanmıştır.



Şekil 1.1. Metodoloji Akış Diyagramı

2. SİPARİŞ TOPLAMA PROBLEMİ

Müşteri siparişi, bir müşterinin ilgili şirketten satın almak istediği ürünü ifade etmektedir. Bir müşterinin yalnızca bir ürün talebi olabileceği gibi birden fazla ürün talebi de olabilmektedir. Müşteri isteği olan bu ürün veya ürünler bütünsel olarak siparişi oluşturmaktadır. Bu siparişlerin toplanma amacı ile depoda bulundukları yerlerden alınması süreci “Sipariş Toplama Faaliyeti” olarak tanımlanmaktadır. Bu faaliyet içerisinde, siparişlerin kümelenmesi ve çizelgelenmesi, sipariş hatlarına stokların atanması, siparişlerin alınması, ürünlerin depo yerlerinden toplanması ve toplanan ürünlerin kullanılması gibi işlemleri içermektedir (Koster vd., 2007). Sipariş toplama faaliyeti içerisinde oluşan bu işlemlerin, belirli bir amaca yönelik bir karar problemi olarak ele alındığı problem “Sipariş Toplama Problemi” olarak tanımlanmaktadır.

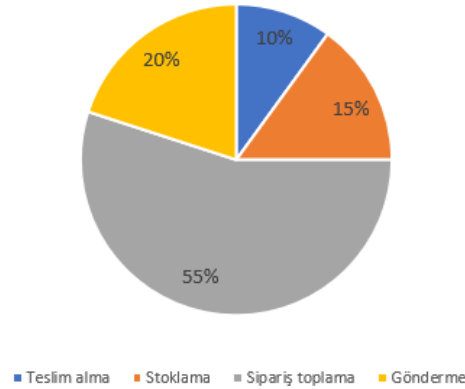
Bu bölümde, sipariş toplama problemi ele alınmaktadır. Öncelikle depolardaki sipariş toplama faaliyeti ifade edilmekte, ardından sipariş toplama süreci içerisindeki prensipler, politikalar ve stratejiler ifade edilmektedir.

2.1. Depolarda Sipariş Toplama Faaliyeti

Depolama faaliyetleri; depolarda belirli organizasyonel ve teknolojik şartlar altında uygun olan yerlerden ürünlerin alınması, stoklanması, toplanması ve gönderilmesi ile ilgili faaliyetler bütünüdür (Kłodawski vd., 2017). Deponun sahip olduğu ana fonksiyonlar izleyen şekildedir (Smith, 1998):

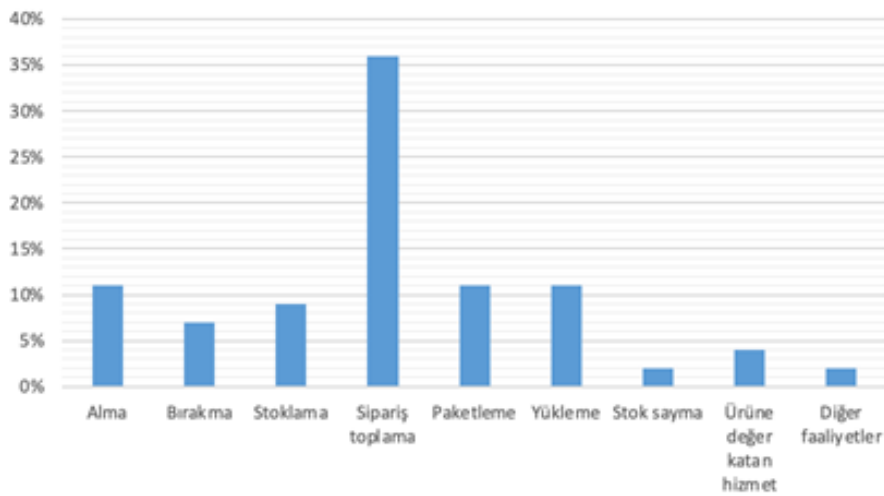
1. Ürünlerin tedarik kaynağından “teslim alınması”
2. İhtiyaç duyulana kadar ürünlerin “stoklanması”
3. İhtiyaç duyulduğunda ürünlerin “toplanması”
4. Sipariş veren müşteriye ürünlerin “gönderilmesi”

Bu işlemler, depolama süreci içerisinde zaman alan ve hem zamandan hem de fiziksel süreçlerden dolayı maliyeti olan işlemlerdir. Bu dört ana depo faaliyetinin maliyet oranlarının analiz edildiği bir çalışma içerisinde, Şekil 2.1’de verildiği üzere; depo maliyetlerinin %10 unu ürünü alma faaliyetinin, %15 ini depolama faaliyetinin, %20 sini gönderme faaliyetinin, %55 ini ise sipariş toplama faaliyetinin oluşturduğu belirtilmektedir (Tompkins vd., 2010).



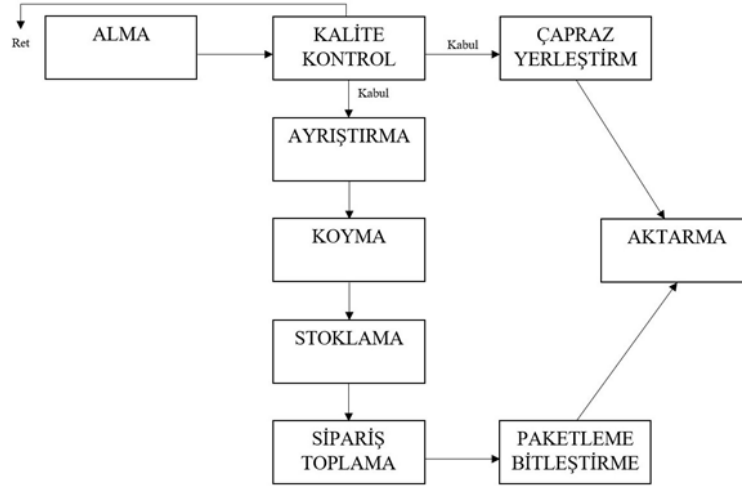
Şekil 2.1. Depo fonksiyonları maliyetleri (Tompkins vd., 2010)

Yapılan başka bir çalışmada ise, faaliyetler ölçümü Şekil 2.2’de verildiği üzere oluşturulmaktadır (Richards, 2017). Şekil 2.2’de gösterilen alma ve yerleştirme işlemleri, ilerleyen kısımlarda açıklanan alma faaliyeti kapsamındadır. Stoklama işlemi, depolama faaliyetinde; paketlenme ve yükleme işlemi ise gönderme faaliyeti içerisinde. Stok sayma işlemi, sipariş toplama faaliyeti içerisinde tanımlanabilmektedir. Ürüne değer katan hizmetler; yeniden etiketleme, yeniden ambalajlama, fiyatlandırma, promosyon hizmetleri, kısmi montaj, onarım ve yenileme, belirli pazarlar için belirli ürünlerin ürünlerle birleştirilmesi gibi hizmetler olmaktadır. Diğer faaliyetler ise depolarda uygulanmış ya da uygulanmakta olan ve herhangi bir kategoriye yerleştirilemeyen faaliyetlerdir. Bu grafiklerden de görüldüğü üzere sipariş toplama süreci depo içerisindeki işlemler arasında en önemli ve verimliliği en fazla etkileyen faaliyet olmaktadır.



Şekil 2.2. Depo faaliyetlerinin toplam maliyet içerisindeki maliyet oranları (Richards, 2017)

Herhangi bir şirketin lojistik pozisyonundan bağımsız olarak, depoların temel fonksiyonları (teslim alma, stoklama, sipariş toplama, gönderme), her depoda aynı şekilde kullanılmaktadır. Depolar arasındaki bazı farklılıklar yalnızca kaynak, yönetim ve depo kullanıcıları ile sınırlandırılmaktadır. Sonuç olarak, depo fonksiyonları depo çeşitlerine göre farklılık gösteren faaliyetler değildir (Smith, 1998). Başlıca depolama faaliyetleri Şekil 2.3.'de ifade edilmektedir.



Şekil 2.3. Depolama faaliyetleri

Teslim Alma Faaliyeti:

Depolama faaliyetlerinin ilki olan teslim alma faaliyeti, tüm diğer depolama faaliyetleri için bir başlangıç noktasında bulunmaktadır. Malzemelerin düzgün bir şekilde alımı yapılmazsa, alım sonrasındaki stoklama, sipariş toplama ve gönderme işlemlerini doğru bir şekilde gerçekleştirmek çok zor olabilmektedir. Eğer girişlerde yanlış veya hasarlı teslimatlara izin verilirse, hasarlı veya yanlış ürünlerin gönderilmesi gerekebilmektedir (Frazelle ve Frazelle, 2002). Doğru ürünün; doğru zamanda, doğru miktarda ve doğru şartlarda alındığından emin olmak, depolama operasyonunun temel dayanaklarından biridir (Richards, 2017).

Teslim alma işlemi kapsamında, depolarda mevcut olan, uygulaması yapılan ve literatürde de çalışılan bazı konular bulunmaktadır. Bu konuların bazıları kapı atama problemi, çizelgeleme gibi problemler olabilmektedir. Kapı atama problemi, depoya ürün bırakmak için gelen araçların depoların hangi yükleme noktalarına atanacağını belirleyen bir problemdir. Bu problem ile ilgili literatürde kesin çözüm yöntemlerini kullanan çalışmalar (Berghman vd., 2014; Gelareh vd., 2016), sezgisel yöntemleri kullanan

alışmalar (Luo ve Ting, 2017; Miao vd., 2006; Miao vd., 2019) mevcuttur. Bir yükleme noktasına taşıyıcılar atandığında problem, gelen taşıyıcıların planlanacak işlerinin olduğu bir makine çizelgeleme problemine benzemektedir (Gu vd., 2007).

Stoklama Faaliyeti:

Stoklama faaliyeti, çok kapsamlı bir depo fonksiyonudur (Gu vd., 2007). Bu fonksiyonunun amacı, kaynak kullanımını enküçükleme veya belirli kaynak kısıtları altında müşteri memnuniyetini enbüyükleme. Stoklama kaynakları; alan, ekipman ve personel olabilmektedir. Müşteriler ürünlerine hızlı ve eksiksiz bir şekilde ulaşmak istedikleri için stoklama fonksiyonu, depo içerisinde istenen ürünlere hızlı ulaşımı ve ürünlerin iyi şartlarda olmasını sağlamak zorundadır. Bu yüzden; stoklama tasarımı, alan kullanımı, ekipman kullanımı, personel kullanımı, malzeme erişilebilirliği ve malzeme koruması enbyklenmeye çalışılmaktadır. Stoklama planlaması ve depolama yerleşimi doğrudan bu amaçlara hizmet etmektedir. En yüksek ekipman kullanımı doğru ekipman seçimini gerektirirken, personel kullanımını enbüyükleme çalışmak ise gerekli ofisleri ve diğer hizmetleri sağlamayı içermektedir (Tompkins vd., 2010).

Stoklama faaliyeti, ürün üzerinde katma değer yaratan bir süreç değildir. Ancak; hizmet yönünden katma değer oluşturmaktadır. Çünkü, rn depoda bulunduğu zaman bir değişime uğramaz ancak, bu süreç müşterilere verilecek hizmetin kalitesini etkilemektedir (Görçün, 2017).

Stoklama faaliyeti kapsamında son yıllardaki literatür çalışmalarına örnek olarak; Gaast vd. (2020), çalışmalarında sıralı bölge toplama sistemleri için bir kapasite modeli geliştirmekte, sistemin çeşitli elemanlarını, kapasite kısıtlamaları olan bir ağ olarak modellemektedir. Petering (2015) alışmasında, bir liman konteyneri terminali içerisinde, ihracat konteynerleri için depolama konumlarını gerçek zamanlı ve otomatik olarak seçmek için bir sistem sunmaktadır. Jane (2020), sipariş toplayıcıları dengelemek için SKU'ları bölgeye atayan bir sezgisel yaklaşım önermektedir. Zhang vd. (2019), ürünler arasındaki korelasyonu belirlemek için taleplerdeki korelasyonu dikkate alarak stok yeri atama problemi için bir tamsayılı matematiksel model önermektedir. Yazarlar, bu sorunu gerçek veriler ve sayısal örnekler kullanarak çözmek için tavlama benzetimi ve minimum artış sezgisel algoritması önermektedir. Pan vd. (2015), bir depoda küçük-orta

büyüklikteki ürün kategorileri için yaygın olarak kullanılan bir topla-geç sisteminde stok atama problemi için genetik tabanlı bir meta-sezgisel algoritma geliştirmektedir.

Sipariş Toplama Faaliyeti:

Sipariş toplama faaliyeti, depo yönetimi içerisinde birkaç nedenden dolayı kritik öneme sahip bir konudur. Bu sebeplerden biri, sipariş toplama işleminin, depo içerisindeki faaliyetler arasında en fazla maliyet gerektiren faaliyet olmasıdır. Sipariş toplama aynı zamanda, depo içerisinde en çok insan gücüne ihtiyaç duyan fonksiyondur. İş gücü yoğunluğunun üstesinden gelmek için, konu üzerinde pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu konuda pek çok iyileştirme yapılmasına rağmen, depoda yaşanan sorunların çoğu sipariş toplamaya aittir. Sipariş toplama faaliyetinin kritik öneme sahip olmasının bir diğer nedeni ise, sipariş toplama faaliyetinin yönetiminin çok zor olmasıdır. Bu zorluk aslında, depo süreçlerine tam zamanında üretim, döngü zamanını azaltma, hızlı dönüş gibi uygulamaların entegre edilmesi nedeni ile ortaya çıkmaktadır. Sipariş toplama faaliyetinin kritik öneme sahip olmasının başka bir nedeni ise, kalite yönetiminde ve müşteri hizmetlerinde yenilenen konuların, sipariş toplama sürecine uygulanmaya başlanmasıdır (Frazelle ve Frazelle, 2002).

Sipariş toplama üzerinde yapılan bir iyileştirme; sipariş toplama faaliyeti pek çok uygulama ile ilişkili bulunduğu için ya da birçok süreç ile bütünleşik çalıştığı için o süreçleri de etkileyebilmektedir (Ackerman, 2012). Bu problem üzerinde iyileştirme yapılmasının nedenleri izleyen şekildedir:

- Siparişin hazırlama süresini enküçüklemek
- Depo hacmini daha etkin kullanmak
- Makine ve teçhizatları daha etkin kullanmak
- İş gücündeki verimi artırmak
- Ürünleri müşterilere daha hızlı ulaştırmak
- Lojistik maliyetlerini azaltmak

Bir sipariş toplama sisteminin tasarımı, tasarım düzenini etkileyen faktörler nedeniyle karmaşıktır (Koster vd., 2007). Bu faktörler, stratejik ve operasyonel olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Stratejik faktörler, depo içerisindeki stratejik kararlar sonucunda ulaşılan faktörlerdir ve değiştirilmesi oldukça zor olan sonuçlara neden olmaktadır. Operasyonel faktörler ise farklı durumlara göre değişiklik gösterebilen

operasyonel kararlar sonucunda ulaşılan faktörlerdir. Bu faktörleri oluşturan etmenler izleyen şekildedir:

Stratejik faktörler:

- Mekanizasyon seviyesi: Depodaki sipariş toplama sisteminin mekanizasyon seviyesini ifade etmektedir. Bunlar; otomatik, yarı otomatik, mekanik ve manuel olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadır.
- Bilgi erişilebilirliği: Sipariş toplama sistemi içerisindeki bilgilere ulaşabilme durumunu ifade etmektedir. Bu durum; dinamik ve statik olarak sınıflandırılmaktadır.
- Depo boyutu: Sipariş toplama süreci içerisinde, depo boyutlarına göre ürünler yerleştirilmekte ve toplanmaktadır. Bu depolar 1 boyutlu, 2 boyutlu ve 3 boyutlu olmaktadır.

Operasyonel faktörler:

- Rotalama: Sipariş toplama içerisinde ürünlerin hangi sırayla toplanacağını ifade etmektedir. Bu faktör, bir karar problemi olup optimal ya da sezgisel olarak çözümler sağlamaktadır.
- Stoklama: Depoda ürünlerin stoklanma kararlarını temsil etmektedir. Bu kararlar tahsisli, sınıf bazlı veya rassal stoklama olarak sınıflandırılmaktadır.
- Gruplama: Siparişlerin toplanma esnasında, başka siparişlerle hangi ölçütlere göre gruplanacaklarını ifade etmektedir.
- Bölgeleme: Sipariş toplanırken bazı raflara toplayıcıların atanıp atanmama durumunu belirtmektedir. Bölgeleme işlemi; ileri bölgeleme, eş zamanlı bölgeleme olarak iki şekilde gruplanmaktadır.
- Sipariş çekme modu: Siparişlerin kaynağından alınması düzenini ifade etmektedir. Bunlar kesikli ve sürekli olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Gönderme Faaliyeti:

Gönderme fonksiyonunun amacı; müşteriye doğru SKU ‘nun, doğru miktarda, uygun şartlarda ve planlanan zamanda iletilmesini sağlamaktır. Gönderme faaliyeti, yükleme-boşaltma alanında araçların teslimatını programlamayı içermektedir. Bu programlamada ayırma, birleştirme, paketleme, sipariş miktarını ve ürünü doğrulama,

paketleri etiketleme, paketleri açığa çıkarma, araca paketleri yükleme ve ambalajın müşteriye güvenli bir şekilde taşınmasını verimli hale getirme işlemleri yer almaktadır (Mulcahy, 1994).

İdeal gönderme faaliyeti genel anlamda alma faaliyetinin tersi olarak ifade edilebilmektedir. Gönderme faaliyetinin önemli olmasını sağlayan neden; bu faaliyetin ürünlerin müşterilere ulaşmadan önce depo hatalarından kurtulmak için son şans olmasıdır. Toplamadaki bu hataları takip etmeye ek olarak depo yöneticileri, yanlışlıkla hasarlı ürünlerin yüklenmesini, sayımdaki hataları ya da doğru şartlarda olmayan ürünlerin yüklenmesini kontrol edebilmektedir. Bir depo yükleme noktasına "Sonraki kontrolör bizim müşterimizdir." Yazılması uygun görülebilmektedir (Ackerman, 2012).

Alma ile gönderme faaliyetleri birbirlerinin tersi olarak düşünüldüğü için çalışılan problem ve kapsamlar hemen hemen aynıdır. Bu yüzden çalışılan konu ve örnekler aynı zamanda gönderme faaliyeti için de yazılabilir. Örneğin; kapı atama problemi aynı zamanda hazır siparişler yüklenirken de ortaya çıkmaktadır (Çayır, 2016).

2.2. Sipariş Toplama Prensipleri ve Stratejileri

Sipariş toplama sürecinin prensipleri izleyen şekildedir (Tompkins vd., 2010):

- **Pareto kuralının uygulanması:** Bir depo operasyonunda SKU'nun küçük bir kısmı envanterin büyük bir parçasını oluşturmaktadır. Bu oluşum, hacimsel olarak ölçülebilmektedir. Benzer şekilde; SKU'nun büyük bir kısmı, depodaki iş hacminin küçük bir kısmını ifade edebilmektedir. Bu iş hacmi ise taşınan hacim ya da tüketilen zamanla ölçülmektedir.
- **Sipariş toplama belgelerinin basit ve net olması:** Toplama dokümanı toplayıcılar için özel talimatları sağlamaktadır. Bu talimatlar içerisindeki bilgiler; siparişlerin yerini, stok numarasını, tanımını, malzeme birimini ve miktarını karşılamalıdır. Ek olarak; herhangi bir özel etiket ya da paketleme notu eklenebilmektedir. Dokümanın kolay okunur olması gerekmektedir. Sipariş toplama dokümanında olması gereken gerekli bilgiler: müşteri kimliği, sipariş numarası ya da tarihi, toplanacak ürünlerin yerleri, ürün tarifi ve toplanacak olan miktarlardır (Ackerman, 2012).

- **Toplama dokümanı kullanılması:** Toplama dokümanı tamamen sipariş toplama sürecini kontrol etmektedir. Rotalamaya başlamadan önce ve siparişlerin gönderilmesinden önce, toplama dokümanları kullanılmalı ve kontrol edilmelidir.
- **Etkili stok yerleşim sisteminin sağlanması:** Etkili stok yerleşimi olmadan etkili sipariş toplama sisteminin olması mümkün değildir. Bir ürünü almak için öncelikle o ürünün yeri bilinmelidir. Eğer belirli bir yerde değilse, o ürünün bulunması için zaman harcanması gerekmektedir. Bu süreç, üretken olamamakla birlikte değer yaratan bir süreç de değildir.
- **Sipariş bilgilerine toplayıcıların erişebilir olması:** Depo operasyonlarında sipariş doğruluğu hakkında oldukça fazla şikâyet olmaktadır. Bu şikâyetler düşük miktarlar ve kaybedilen ürünlerle ilgilidir. Bu problemin çözümü için sipariş toplayıcıların doğru depo yerini biliyor veya hesaplayabiliyor olmaları gerekmektedir.
- **Stokların sayılmasından kaçınılması:** Sayma işlemi, sipariş toplayıcılar için oldukça zaman alan bir faaliyettir. Sayma işlemini kolaylaştırmak veya ortadan kaldırmak için ürünlerin edilen miktara göre stoklanabilir durumda olması gerekmektedir.
- **Toplama sürecinin doğrulanması:** Sipariş toplayıcıların toplanacak olan sipariş miktarını doğrulamaları gerekmektedir. Bu onay, yükleme ve göndermedeki karışıklığı ortadan kaldırmaktadır.
- **Dokümantasyonun en aza indirilmesi:** Dokümantasyon, sipariş toplama sürecinde sipariş toplayıcıları oyalayan ve zaman alan bir işlemdir. Bu yüzden en aza indirilmesi süreçlerin hızlandırılmasını sağlamaktadır.

Sipariş Toplama Stratejileri, temelde toplayıcıdan ürünlere, ürünlerden toplayıcıya ve otomatik toplama olarak üç sınıfta incelenmektedir (Richards, 2017). İzleyen alt başlıklarda ilgili sipariş toplama stratejileri ifade edilmektedir.

2.2.1. Toplayıcıdan ürünlere sipariş toplama stratejisi

Toplayıcıdan ürünlere sipariş toplama stratejisi, sipariş toplamanın en temel ve geleneksel halidir. Bu sistemlerde sipariş toplayıcılar, ürünlerin bulunduğu yere giderek ürünleri toplamaktadır ve bu strateji düşük seviyeli ve yüksek seviyeli olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Düşük seviyeli sistemlerde sipariş toplayıcı, istenilen ürünleri depo

koridorları boyunca raflardan veya kutulardan herhangi bir araç kullanmaksızın alabilmektedir. Yüksek seviyeli sistemlerde ise sipariş toplayıcı, ürünü bulunduğu yerden almak için vinç gibi bazı araçlardan faydalanmaktadır (Wang vd., 2013).

Bu stratejinin uygulandığı sistemlerde; özellikle kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, bel ağrısı gibi şikayetleri olan sipariş toplayıcılar üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmakta ve bu da sipariş toplama sisteminin performansının düşmesine yol açmaktadır. Mevcut literatürde bu stratejinin uygulandığı depolarda çalışılan bazı yayınlar bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Franzke vd. (2017), çalışmalarında farklı stok atama politikaları ve sipariş toplayıcı-yol kombinasyonları altında toplayıcının engellerini araştırmak ve manuel sipariş toplama süreçlerinin performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bir simülasyon modeli oluşturmaktadır. Cano vd. (2020) çalışmalarında toplayıcıdan ürünlere sipariş toplama stratejisini uygulayan bir depoda, sipariş gruplama problemini genetik algoritma yardımıyla çözümleyerek sonuçlara ulaşmaktadır.

2.2.2. Ürünlerden toplayıcıya sipariş toplama stratejisi

Ürünlerden toplayıcıya sipariş toplama stratejisinde; ürünler, toplayıcıya doğru bazı araçlar yardımı ile gelerek akışı sağlamaktadır. Bu sistem kullanılarak önemli avantajlar sağlanabilir. Bu avantajlar izleyen şekildedir (Richards, 2017):

- Toplayıcının sipariş toplama esnasında depo içerisindeki gezinme süresi azalmaktadır.
- Kullanılan alan azalmaktadır.
- Ürün güvenliği sağlanmaktadır.
- Ergonomik çalışma şartları sağlanmaktadır.
- Sipariş seçimi hızlanmaktadır.
- Sipariş doğruluğu sağlanmaktadır.
- Sipariş profiline göre verimlilik değişmemektedir.
- Ürün artışı etkili bir biçimde sağlanmaktadır.

Ürünlerden toplayıcıya sipariş toplama stratejisinde, süreç, sipariş toplayıcılar ürünlere doğru hareket etmek zorunda kalmadığı için toplayıcıdan ürünlere sistemine göre daha az iş gücü ile ilerlemektedir. Literatürde, bu stratejiyi kullanan depolarda uygulanan çalışmalar mevcuttur. Bunlara örnek olarak Claeys vd. (2016) çalışmalarında

depolama alanındaki operasyonları optimize etmeye çalışmakta ve bunun için süreçleri matematiksel olarak analiz etmektedir.

2.2.3. Otomasyona dayalı sipariş toplama stratejisi

Otomasyona dayalı sipariş toplama stratejisinin uygulandığı sistemlerde, siparişler bilgisayar üzerinden yönetilebilen robotlar tarafından toplanmaktadır. Bu sistemin, işçi ve enerji kullanımının azaltılması, kontrolün artırılması, malzeme güvenliği, malzeme elleçlemenin azaltılması, hataların azaltılması gibi avantajları vardır (Richards, 2017). Aynı zamanda fazla yatırım maliyeti, ileri düzeyde teknoloji gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Literatürde, özellikle son zamanlarda otomasyona dayalı sipariş toplama stratejisinin kullanıldığı çalışmalar artış göstermektedir. Bunlara örnek olarak Andriansyah vd. (2014), otomasyona dayalı sipariş toplamanın uygulandığı bir depoda verimliliği arttırmak, hataları gidermek ve ürün gelişlerinin sıralarını düzenlemek için simülasyon ile analizler yapmaktadır. Caputo ve Pelagagge (2006), otomasyona dayalı sipariş toplama sistemlerinde kişisel deneyime veya öznel yargıya dayalı manuel karar verme ihtiyacını azaltabilen bir karar destek sistemi geliştirmektedir.

2.3. Sipariş Toplama Politikaları

Sipariş toplama politikaları, depolarda siparişlerin hangi düzen ile toplanacağı ile ilgilenen sistemlerdir. Bu sistemler ile depolarda sipariş düzeylerine göre müşteriye en hızlı ve doğru yanıtı verecek politika belirlenmeye çalışılmaktadır. Depo için en verimli sipariş toplama politikası; deponun yapısına, depoda uygulanan stratejiye ve sipariş düzenlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Mevcut sipariş toplama politikaları ayrık toplama (discrete picking), partiler halinde toplama (batch picking), bölgesel toplama (zone picking), dalgasal toplama (wave picking) ve karma sistemler olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Frazelle ve Frazelle, 2002):

2.3.1. Ayrık sipariş toplama

Ayrık sipariş toplama politikası, kolay uygulanabilmesinden dolayı oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle literatürde ‘Sipariş toplama’ adı altında geçen faaliyetlerde ‘Ayrık sipariş toplama’ kastedilmektedir (Smith, 1998). Tek bir sipariş; sadece bir sipariş toplayıcı tarafından, başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar depoda bulunduğu yerden alınmaktadır. Bu yöntemde, siparişler planlanmaz ve günün herhangi

bir anında toplanmaktadır (Ackerman, 2012). Bu sistem sipariş toplayıcılar için oldukça kolaydır, müşteriye en hızlı yanıtı vermektedir ancak, verimliliği en az olan süreçtir ve diğer metotlarla karşılaştırıldığında gezinme süresinin fazla çıkma ihtimali yüksektir (Frazelle ve Frazelle, 2002).

Ayrık sipariş toplamanın avantajları ve dezavantajları izleyen şekildedir (Ackerman, 2012):

Avantajları:

- Sipariş bütünlüğünü sağlamaktadır.
- Toplayıcının işini kolaylaştırmaktadır.
- Yeniden elleçleme ve paketlemeden kaçınmaktadır.
- Hızlı müşteri hizmeti sağlamaktadır.
- Hata kontrolüne izin vermektedir.
- Sipariş başına düşen SKU sayısı azsa, oldukça verimli olmaktadır.

Dezavantajları:

- Tüm siparişler için toplama rotası gerektirmektedir.
- Tek bir ürünün büyük miktarda hızlı toplanmasına izin vermemektedir.
- Sipariş toplayıcı sayısının fazla olmasına ihtiyaç duymaktadır.

2.3.2. Partiler halinde toplama

Partiler halinde toplama, operatörlerin aynı anda birkaç sipariş için ürün toplamasıdır. Siparişlerin içerisindeki ürünler, bir toplama listesinde birleştirilmekte ve ürünler toplandıktan sonra tekrar siparişlerine göre ayrılmaktadır. Bu politikada, her sipariş için depoyu baştan başa gezmek yerine tek turda birden fazla sipariş toplanmaktadır (Smith, 1998; Tompkins vd., 2010). Avantajları ve dezavantajları izleyen şekildedir:

Avantajları:

- Depo içerisinde sipariş toplayıcının gezinme süresi azalmaktadır.
- Toplama süresi azalmaktadır.
- Büyük hacimlerin toplanmasına olanak sağlamaktadır.

- Her sipariş için toplanan miktarın, siparişlerin ayrıştırma ve birleştirme süreçlerinden dolayı ikinci kez kontrolünü sağlamaktadır.
- Son sipariş birleştirmeyi daha küçük bir alanda yaparak denetimi geliştirmektedir.

Dezavantajları:

- Siparişin tamamlanabilmesi için ayrıştırma veya birleştirme süreçlerine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Ayrıştırma veya birleştirme süreçleri için alan gerektirmektedir, toplama alanının boyutuna göre ek ekipmanlar da gerekebilmektedir.
- Siparişler, sipariş gruplarının hepsi tamamlanana kadar toplanmamış kabul edilmektedir.
- Grubun yeniden kontrolü için sayım, bazı durumlarda iki kez yapılmakta ve eğer bir fark oluşuyor ise hatayı gidermek için zaman gerektirmektedir.

2.3.3. Bölgesel toplama

Bu politikada depolama alanı bölgelere ayrılmakta ve her bölgeye farklı toplayıcılar atanmaktadır. Her toplayıcı, kendi bölgesindeki tüm sipariş kalemlerini toplamaktadır. Art arda bölgesel toplama ve eş zamanlı bölgesel toplama olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Eş zamanlı bölgesel toplamada, toplayıcılar atandıkları bölgelerdeki ürünleri birbirinden bağımsız bir şekilde toplamakta, art arda bölgesel toplamada ise, toplayıcılar sipariş içerisindeki ürünleri bölgelerden sırasıyla toplamaktadır.

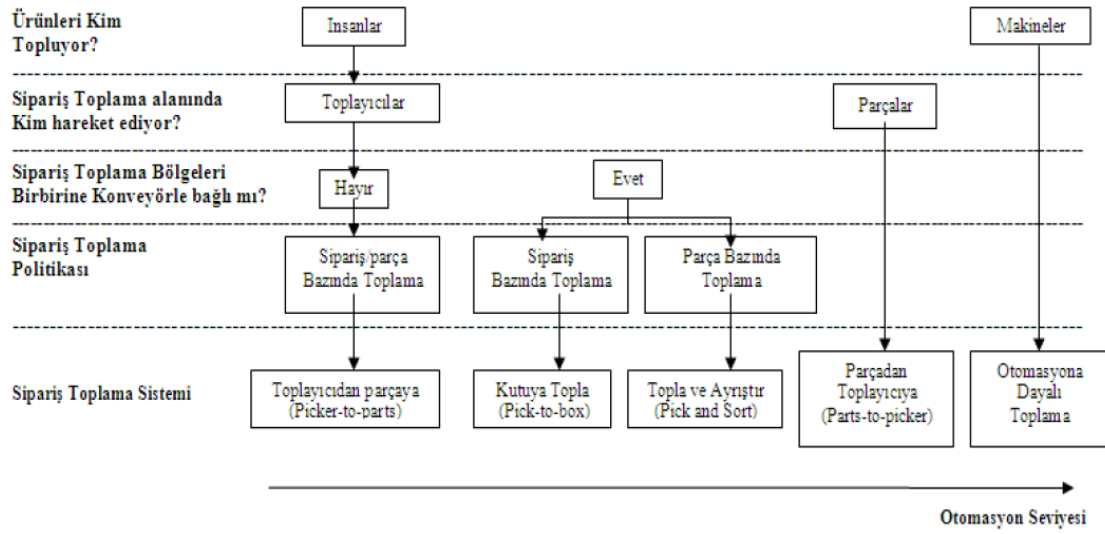
2.3.4. Dalgasal toplama

Bu metotta siparişler geldiği anda toplanmamakta, bekletilmekte ve gruplar halinde toplanması için bir çizelge yapılmaktadır. Bu metot ile ayrık sipariş toplama yönteminin arasında toplama zamanı yönüyle farklılık bulunmaktadır. Dalga halinde toplama ile sipariş grupları, önceden belirlenen zaman dilimleri içerisinde toplanmakta iken, ayrık toplamada ise sipariş geldiği anda toplanmaktadır. Planlama yapıldığı durumda dalga halinde toplama gerçekleştirilmiş olmaktadır.

2.3.5. Karma sistemler

Sipariş toplama politikaları içerisinde, bölgesel-parti toplama, bölgesel-dalgasal toplama, bölgesel-dalgasal-parti toplama olmak üzere, farklı karma sistemler bulunmaktadır. Bölgesel-parti toplama sisteminde; her toplayıcı bir bölgeye atanmakta ve birleştirilmiş siparişlerin ürünlerini atandıkları bölge içerisinde toplamaktadır. Bölge-

dalga toplama sisteminde; her toplayıcı bir bölgeye atanmakta ve her planlanmış periyotta bir siparişi atandıkları bölgelerde toplamaktadır. Bölge-dalga-parti toplama sisteminde ise, her toplayıcı aynı şekilde bir bölgeye atanmakta ve tüm siparişler için tüm ürünleri atandıkları bölgelerden toplamaktadır. Bu sistemde, toplayıcılar her seferinde birden fazla sipariş toplamakla birlikte birden fazla periyotta çalışmaktadır (Smith, 1998; Tompkins vd., 2010). Şekil 2.5’de sipariş toplama politikalarının bir örnek gösterimi ifade edilmektedir.



Şekil 2.4. Sipariş toplama politikaları örnek gösterimi

3. BÜTÜNLEŞİK SİPARİŞ GRUPLAMA VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Tez kapsamında çalışılan konu olan sipariş gruplama ve araç rotalama problemi, bu bölümde detaylı olarak ifade edilmektedir. Bu problem, sipariş gruplama ve araç rotalama problemlerinin bütünleşik olarak çalışılması ile oluşmaktadır. Sipariş gruplama problemi ile depo içi süreçler ele alınırken, araç rotalama problemi ile depo dışı dağıtım süreçleri ele alınmaktadır. Bütünleşik problem ile ise depo içi ve depo dışı süreçler birlikte ele alınarak, sürece bütünsel olarak yaklaşılmaktadır.

Öncelikle sipariş gruplama problemi, ardından sipariş toplama sürecinde sipariş gruplama problemi ile bütünsel olarak çalışan toplayıcı rotalama problemi anlatılmakta olup sonrasında bütünleşik sipariş gruplama ve araç rotalama probleminin ikinci aşaması olan araç rotalama problemi hakkında bilgi verilmektedir.

3.1. Sipariş Gruplama Problemi

Sipariş toplama, depo içerisinde müşterilerin bildirmiş oldukları siparişlerin toplanarak araca yüklenmek üzere depo çıkış noktasına getirilmesi sürecini ifade etmektedir. “Sipariş Gruplama Problemi” ise bir turda birlikte toplanacak olan siparişlerin seçilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu problem kavramsal olarak parti toplama ile karıştırılmaktadır. Ancak bu iki kavram arasında belirgin bir farklılık vardır. Parti toplamanın amacı belirlenen grupta yer alan siparişlerin toplanması iken, sipariş gruplamanın amacı grupta yer alacak olan siparişlerin belirlenmesidir. Sipariş gruplama problemi ile sipariş toplama problemi arasında da aynı şekilde belirgin bir fark vardır. Sipariş gruplama problemi bir grubu oluşturacak olan siparişlerin belirlenmesi ile ilgilenirken sipariş toplama problemi siparişlerin toplanma rotasını da önemser ve rotanın belirlenmesi ile de ilgilenir (Şahin, 2014). Dolayısı ile sipariş gruplama problemi, sipariş toplama probleminin bir alt problemidir. Sipariş gruplama problemi, sipariş sayısının çok fazla ve sipariş miktarlarının düşük olduğu durumlarda, verimi daha çok artırdığı için genellikle daha fazla uygulanmaktadır.

Sipariş gruplama, sipariş başına düşen ortalama toplama süresi ve mesafesini azaltırken aynı zamanda kaynakları daha etkin kullanmayı da sağlamaktadır. Böylelikle depolarda verimliliği arttırarak lojistik maliyetleri düşürmektedir. Bu yüzden; bu problem, firmalar tarafından oldukça fazla kullanılmakta olup özellikle e-ticaretin yaygınlaşması ile hem teorik hayatta hem de pratik hayatta ilgi çekici bir konu haline gelmektedir.

Sipariş gruplama probleminin başlıca amacı, toplayıcı kapasitelerine göre sipariş gruplarının en uygun şekilde oluşturulmasıdır. Problemden istenen başarıya göre amaç fonksiyonu farklı şekillerde oluşturulabilir ve probleme varsayımlar dahilinde farklı kısıtlar eklenebilmektedir.

3.1.1. Sipariş gruplama problemi için matematiksel model

Temelde sipariş gruplama problemi siparişleri aynı anda gruplara atama ve bir amaç fonksiyonunu optimize etmeye çalışan bir problemdir. Bu problemde amaç fonksiyonları genel anlamda toplam gezinme süresini veya toplam mesafeyi enküçükmektir. Toplam gezinme süresi sipariş toplayıcının, siparişleri toplamda ne kadar sürede topladığını ifade ederken; toplam mesafe, sipariş toplayıcının siparişleri toplarken toplamda edindiği mesafe miktarını temsil etmektedir. Bu yüzden, hangi siparişlerin hangi gruplarda yer alacağına karar verme sürecinde bazı ilkeler yer almaktadır. Bu gruplama ilkeleri yakınlık ve zaman penceresi olarak ifade edilir (Gademann ve Velde 2005). Yakınlık ilkesinde grupların toplama noktalarının birbirlerine olan yakınlığı gözetilirken zaman penceresi ilkesinde ise siparişlerin depoya ulaştıkları zaman dilimi gözetilir (Şahin, 2009).

Gademann ve Velde çalışmalarında sipariş gruplama problemini bir küme bölümlendirme problemi olarak düşünmüşler ve bir tamsayılı programlama formülasyonu geliştirmişlerdir (Gademann ve Velde, 2005). Notasyonu Tablo 3.1’de verilmiş olan bu formülasyonda amaç fonksiyonu, sipariş toplama mesafesi enküçükmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç fonksiyonuna göre toplanacak olan grubun en az mesafeli olan grup olarak seçilmesi sağlanmaktadır.

Tablo 3.1. *Sipariş gruplama problemi notasyon*

Parametreler	
S	Grup kümesi
d_s	s grubunda yer alan tüm siparişlerin toplama mesafesi
J	Sipariş kümesi
C	Toplama araçlarının kapasitesi
c_j	j siparişinin ağırlığı
a_{js}	0-1 tamsayılı değişken, j siparişi s grubuna atanırsa 1, aksi takdirde 0
Değişken	
x_s	0-1 tamsayılı değişken; s grubu seçilirse 1, aksi takdirde 0

S tüm mümkün gruplar kümesi olsun. Oluşacak olan gruplar ise $s \in S$ olarak gösterilir. $a_{j,s}$ mümkün olan s grupları içerisinde olan j . ürünü bir 0-1 matris olarak ifade etmektedir $a_s = (a_{1s}, \dots, a_{ns})$. J ürünü s grubu içerisindeyse $a_{j,s} = 1$ olarak, aksi takdirde $a_{j,s} = 0$ olarak gösterilir. Toplama araçlarının kapasitesi homojen olarak düşünülmüş ve C ile belirtilmiştir. Siparişlerin gerektirdikleri kapasite ise c_j ile gösterilmiştir. S , tüm mümkün grupların oluşturulması 3.1 numaralı denklem ile sağlanabilir.

$$\sum_{j \in J} c_j a_{j,s} \leq C \quad \forall s \in S \quad (3.1)$$

S grubu içerisindeki tüm siparişlerin toplam seyahat mesafesi d_s ile ifade edilmektedir. Formülasyondaki parametreler bu şekilde gösterilebilir. Karar değişkeni olarak ise yalnızca X_s bulunmaktadır.

$$X_s: \begin{cases} 1 & \text{eğer } s \text{ grubu seçilirse} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Parametreler ve değişkenler bu şekilde ifade edildikten sonra formülasyon izleyen şekildedir:

$$\sum_{s \in S} a_{j,s} x_s = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.2)$$

$$x_s \in \{0,1\} \quad \forall s \in S \quad (3.3)$$

Kısıtları altında

$$\text{ENK } \sum_{s \in S} x_s d_s \quad (3.4)$$

(3.2) numaralı eşitlik her müşteri siparişinin yalnızca bir gruba atanmasını sağlar. (3.3) numaralı kısıt, işaret kısıtıdır. (3.4) numaralı fonksiyon ise amaç fonksiyonudur ve sipariş toplama mesafesini enküçüklemeyi amaçlar.

Sipariş toplama probleminin NP-zor bir problem olduğu Gademann ve diğerlerinin çalışmasında ispatlanmıştır (Gademann ve Velde, 2005). NP-zor problemlerin en iyi çözümü makul zamanda elde edilemez. Gerçek hayattaki optimizasyon problemlerinin çoğu, kanıtlanabilir verimli algoritmaların bulunmadığı NP-zor problemlerdir. Sezgisel algoritmalar bu sınıf problemleri çözmek için önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Talbi, 2009). Bu yüzden sipariş toplama problemini de çözmek için literatürde geliştirilen bazı sezgisel yöntemler vardır. Bu sezgisel yöntemler izleyen başlıkta ifade edilmektedir.

3.1.2. Sipariş gruplama problemi algoritmaları

Sipariş toplama problemi kesin problemlerle çözülebilmektedir. Ancak problemin NP-zor olmasından dolayı artan veri boyutu ve parametrelerine bağlı olarak çözülemeyen veya çözümün uzun süre alması durumunda sezgisel algoritmalar ile çözüm sağlanmaktadır. Mevcut literatürde en yaygın olarak kullanılan ve sipariş toplama probleminin çözümünde kullanılan bazı sezgisel algoritmalar izleyen şekildedir:

3.1.2.1. Çekirdek algoritmalar

Çekirdek algoritmaların ilk aşamasında “çekirdek sipariş” adı verilen bir sipariş seçilir. İzleyen ardıştırmalarda daha önceden belirlenmiş ölçütlere göre yeni bir sipariş seçilerek buna eklenmektedir. Mevcut çalışmalarda belirlenen çekirdek sipariş seçim ölçütleri izleyen şekildedir (Elsayed, 1981; Elsayed ve Stern, 1983; Gibson ve Sharp, 1992b; Ho ve Tseng, 2006; Hwang vd., 1988; Hwang ve Lee, 1988; Koster vd., 1999; Pan ve Liu, 1995):

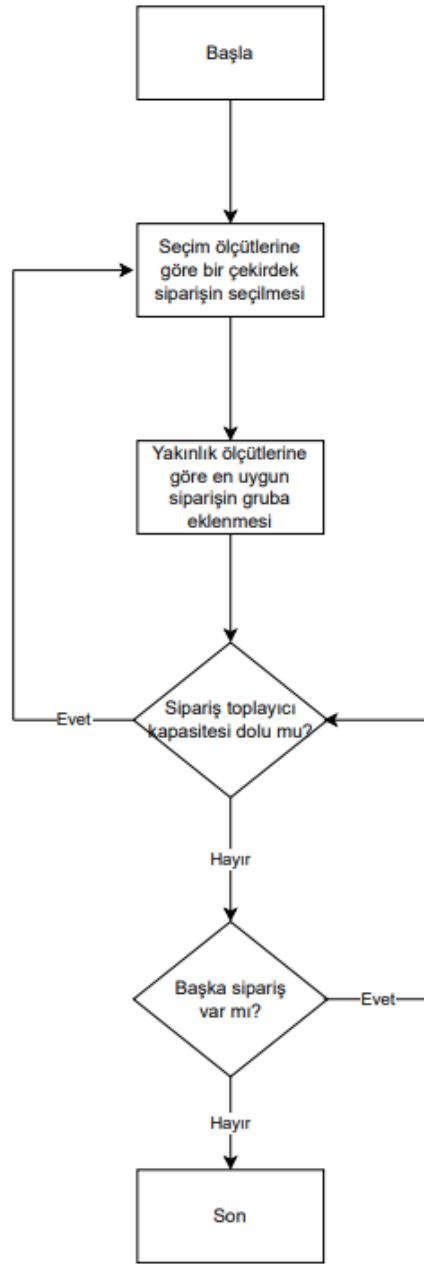
- Rassal bir sipariş
- En az sayıda toplama lokasyonuna sahip olan sipariş (Toplama lokasyonu, siparişi oluşturan ürünlerin toplanma noktalarını ifade etmektedir.)
- En fazla sayıda toplama lokasyonuna sahip olan sipariş
- En uzak ürünü içeren sipariş (A/B noktasına göre)
- En fazla sayıda koridor gezilerek toplanacak olan sipariş
- En az sayıda koridor gezilerek toplanacak olan sipariş
- En uzun toplama süresine sahip olan sipariş
- En büyük koridor aralığına sahip olan sipariş: Koridor aralığı, gidilmesi gereken en soldaki rafla en sağdaki rafın arasındaki mesafe olarak hesaplanmaktadır.
- En küçük lokasyon-koridor oranına sahip olan sipariş: Lokasyon-koridor oranı, siparişin toplama lokasyonlarının sayısının siparişin toplama koridoru sayısına oranı ile elde edilmektedir.
- En büyük konum-koridor oranına sahip olan sipariş
- En küçük koridor-ağırlık toplamına sahip olan sipariş
- En büyük koridor-ağırlık toplamına sahip olan sipariş

Bütün çekirdek sipariş seçme kuralları tek seçim ve tekrarlı seçim olmak üzere iki değişik yolla uygulanabilir. Tek seçimde, çekirdek sipariş sadece bir kere seçilir. Tekrarlı seçimde ise çekirdek sipariş her bir yeni sipariş geldiğinde yenilenmektedir (Denli, 2008).

Tablo 3.2’de çekirdek sipariş seçildikten sonra algoritmaya diğer siparişlerin eklenebilmesi için uygulanabilen yakınlık ölçütleri verilmektedir. Ayrıca Şekil 3.1.’de çekirdek algoritmaların genel akış şeması gösterilmektedir. Buna göre bu algoritmalar çekirdek sipariş seçim kurallarına göre bir çekirdek sipariş seçilmesi ile başlatılmaktadır. Ardından sipariş yakınlık ölçümlerine göre gruba eklenecek olan sipariş seçilmesi ile devam etmektedir. Bu siparişler seçilirken sürekli olarak kapasite kontrolü yapılarak kapasitenin dolması halinde yeni bir çekirdek sipariş seçilerek süreç devam ettirilmektedir. Algoritma, boşta hiçbir sipariş kalmayana kadar devam etmektedir ve siparişlerin hepsi bir gruba atandığında durdurulmaktadır.

Tablo 3.2. *Gruplama için sipariş yakınlık ölçütleri* (Gu vd., 2007; Şahin, 2014)

Yakınlık Ölçütü	Kaynaklar
İki sipariş arasındaki ortak lokasyon sayısı	(Elsayed, 1981)
İki siparişin konum sayıları	(Elsayed ve Stern, 1983)
Bir siparişin her konumu ve diğer siparişin en yakın konumu arasındaki toplam mesafe	(Elsayed ve Stern, 1983)
Boşluk doldurma eğrileri esaslı tanımlanmış iki siparişin sipariş-teta değerlerinin farkı	(Gibson ve Sharp, 1992b)
İki sipariş birleştirildiğinde uğranılacak ek geçitlerin sayısı	(Rosenwein, 1996)
İki sipariş birleştirildiğinde elde edilecek seyahat kazancı	(Elsayed ve Unal, 1989)
Ağırlık merkezi ölçüsü	(Rosenwein, 1996)
Ekonomik dışbükey tabanlı ölçüm	(Hwang ve Lee, 1988)
Ortak kapsamdaki bölge ve alanlar	(Hwang vd., 1988)



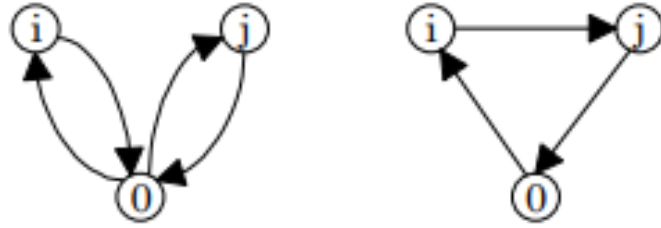
Şekil 3.1. Çekirdek algoritma (Pan ve Liu, 1995)

3.1.2.2. Tasarruf esaslı algoritmalar

Bu algoritmalarda, iki siparişin ayrı ayrı toplanması durumunda harcanan süre ile, siparişlerin birlikte toplanması durumunda geçen süre arasındaki fark tasarruf (savings) olarak ifade edilmektedir. Temel olarak Clark ve Wright'ın araç rotalama problemi için geliştirdikleri sezgisel algoritmaya dayanmaktadır (Clarke ve Wright, 1964). Bu algoritmalara verilen bazı örnekler izleyen şekildedir:

Clarke and Wright Algoritması:

1964 yılında Clark ve Wright tarafından geliştirilmiştir. Şekil 3.4’de verildiği gibi 0 noktası depo, i ve j noktaları da müşteri olarak düşünülürse depodan müşterilere tek tek gitmek yerine, iki müşteriye birlikte gitmenin çıkardığı tasarrufa dayanır (Lysgaard, 1997). Sipariş gruplama problemi için kullanılması durumunda da algoritma ve mantığı aynıdır. Sipariş gruplama ve sipariş rotalama probleminin eş zamanlı çözülebildiği bir algoritmadır (Görener, 2012).



Şekil 3.2. Clarke and Wright Algoritması (Lysgaard, 1997)

Temel şekilde algoritma izleyen şekildeki adımlara dayanmaktadır Koster vd., 1999):

Adım 1: Sipariş toplayıcı kapasitesini göz önüne alarak olası tüm sipariş çiftleri i, j için tasarruflar hesaplanmaktadır.

Adım 2: Tasarruflar azalan sırada sıralanmaktadır.

Adım 3: En yüksek tasarrufa sahip olan sipariş çifti seçilmektedir. Eğer en yüksek tasarrufa sahip birden fazla sipariş çifti varsa rassal bir çifti seçilmektedir.

Adım 4: İzleyen şekildeki gibi 3 farklı durum oluşabilir:

1. Siparişlerin hiçbiri mevcut bir rotaya dahil edilmedi ve sipariş toplayıcının kalan kapasitesinin her iki sipariş için de yeterli olması durumunda: her iki sipariş de yeni bir rotaya dahil edilmektedir.
2. Mevcut bir rotaya bir siparişin dahil edilmesi durumunda: Diğer sipariş bu rotaya uyuyorsa, rotaya eklenmektedir. Değilse, 5. adıma geçilmektedir.
3. Her iki siparişin de mevcut bir rotaya dahil edilmesi durumunda: 5. adıma geçilmektedir.

Adım 5: Listedeki bir sonraki sipariş kombinasyonu seçilmektedir ve tüm siparişler bir rotaya dahil edilene kadar 4. adımı tekrarlanmaktadır.

Eşit Algoritma (Equal Algorithm)

Eşit algoritmanın amacı; sipariş toplayıcının siparişleri toplarken oluşturduğu gezinme süresinde en fazla tasarrufu sağlamak için, çekirdek sipariş kombinasyonuna diğer siparişleri dahil etmektir. Önceki kombinasyon tamamlanmadan bir sonraki sipariş kombinasyonu oluşturulmaz ve her olası sipariş kombinasyonunun gezinme süresi ve tek bir turda gruplandırmadan kaynaklanan tasarruflar hesaplanarak birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. En yüksek tasarruf sağlayan sipariş çifti seçilmektedir ve turun çekirdek sipariş çifti olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, herhangi bir tura atanmamış siparişler olası bir tura eklenmesi için kontrol edilmektedir. Aynı kombinasyona dahil edilmeye uygun birden fazla sipariş olduğunda, kombinasyonun tasarruf süresini en büyük miktarda artıran sipariş tura eklenmektedir. Her kombinasyon sipariş toplayıcı aracının kapasitesi ile sınırlı olmaktadır. Toplam miktar araç kapasitesinden daha az olan herhangi bir kombinasyon, sipariş eklenmesi için kontrol edilmektedir. Kombinasyonun kapasite kısıtlaması nedeniyle diğer siparişleri karşılayamaması durumunda, tur tamamlanmış sayılmaktadır. Bir tur oluşturulduktan sonra, atanmamış sipariş kümesindeki siparişler için aynı prosedür tekrarlanmaktadır (Elsayed ve Unal, 1989).

Büyük-Küçük Algoritma (Large-Small Algorithm)

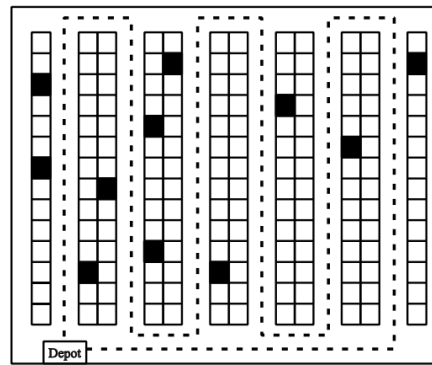
Büyük-küçük algoritma, siparişlerin işlenmesinde eşit algoritmaya benzer; ancak siparişler farklı gruplara atanmadan önce 'küçük' ve 'büyük' siparişler olarak sınıflandırılmaktadır. Her siparişin toplam miktarı önceden bilindiği için, miktarları belirli bir değerin altında olan siparişler 'küçük', belirli bir değerin üstünde olan siparişler 'büyük' olarak tanımlanmaktadır. Bu değer, sipariş toplayıcı aracının kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Başlangıçta 'büyük' siparişler olarak ayrılan siparişler, eşit algoritması ile aynı prosedür kullanılarak gruplara atanmakta ve bir tur oluşturulmaktadır. Ardından, 'küçük' siparişler listesinden, en büyük miktardaki sipariş turlardan birine dahil edilecek şekilde seçilmektedir. Sipariş, tur tasarrufuna katkısına göre belirli bir gruba atanmaktadır. Sipariş ekleme prosedürü sırasında, mevcut turlara bir sipariş eklenemezse, sipariş tek başına bir turu oluşturmaktadır (Elsayed ve Unal, 1989).

3.2. Toplayıcı Rotalama Problemi

Toplayıcı Rotalama Problemi; toplanacak olan siparişin ya da siparişlerin içerisindeki ürünlerin hangi sırayla toplanacağı kararını verirken, ürünler arasındaki gezinme süresini ve toplam mesafeyi enküçüklemeyi amaçlayan bir problemdir. Sipariş toplayıcı, başlangıç noktasından itibaren ürünlerin bulundukları bölgeleri ziyaret ederek yeniden başlangıç noktasına dönmektedir. Bu problem NP-Zor yapıda olup veri boyutu ve parametreye göre bazı problemler kesin çözüm yöntemleri ile çözülememekte veya kısa bir sürede en iyi çözüme erişilememektedir. Bu yüzden literatürde toplayıcı rotalama probleminin çözümü için çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Bu sezgiseller izleyen başlıklarda ele alınmaktadır.

3.2.1. S-şekilli rotalama sezgiseli

S şekilli rotalama sezgiseli, sipariş rotalama sezgiselleri içerisinde en basit uygulamaya sahip olan sezgiseldir (Koster vd., 2007). Bu sezgiselde; Şekil 3.3’de gösterildiği üzere, tüm seçimleri içeren toplam koridor sayısı çift olduğunda; toplayıcı, seçtikleri tüm koridorları tamamen geçmekte ve sonunda A/B noktasına geri dönmektedir. Eğer tüm seçimleri içeren toplam koridor sayısı tek ise; toplayıcı, son koridoru içeren ürünleri tamamen geçmez, sadece o koridordaki en uzak ürüne kadar gitmektedir (Rao ve Adil, 2013). Örnek olarak Şekil 3.3’de her koridorda toplanacak olan ürün mevcuttur. Bu yüzden sipariş toplayıcı koridorlar arasında S şekil çizerek ürünlerin toplanmasını sağlamaktadır.

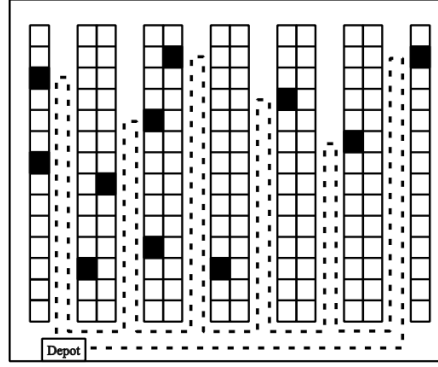


Şekil 3.3. S-şekilli rotalama sezgiseli (Roodbergen, 2001)

3.2.2. Geri dönüşlü rotalama sezgiseli

Geri dönüşlü rotalama sezgiseli, S-şekilli rotalama sezgiseli kadar basit bir yöntemdir. Sipariş toplayıcı, ilgili koridora girmekte ve sipariş toplama işlemini bitirdikten sonra, aynı koridordan çıkmaktadır. Şekil 3.4’de gösterildiği üzere; sipariş

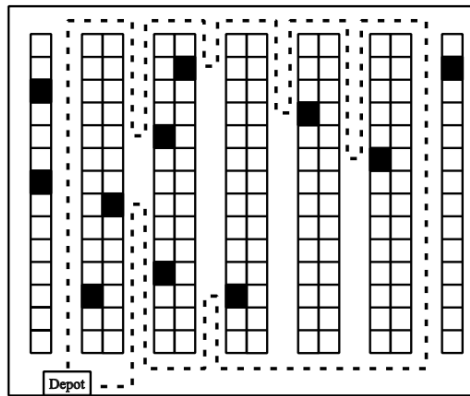
toplayıcı, toplanacak olan ürünlerin bulundukları koridorlara girmekte ve koridor içerisinde en uzaktaki ürüne kadar giderek ürünü aldıktan sonra aynı koridordan geri dönmektedir (Goetschalckx ve Ratliff, 1988).



Şekil 3.4. Geri dönüşlü rotalama sezgiseli

3.2.3. Orta noktalı rotalama sezgiseli

Orta noktalı rotalama sezgiselinde; toplayıcı, ürünleri almak için koridorun ortasına kadar gitmekte ve aynı koridordan geri dönmektedir (Cergibozan ve Taşan, 2019). Bu sezgiselde, depo raflarının ortasında bir çizgi varmış gibi alt ve üst kısımdaki ürünler ayrı ayrı geri dönüş sezgiseline göre toplanmaktadır. Şekil 3.5’de toplayıcı, ilk ve son koridor haricindeki koridorlarda, orta noktada bir çizgi olduğunu varsaymakta ve deponun ön kısmındaki ürünleri topladıktan sonra son koridordan arka tarafa geçerek oradaki ürünleri toplamaktadır.

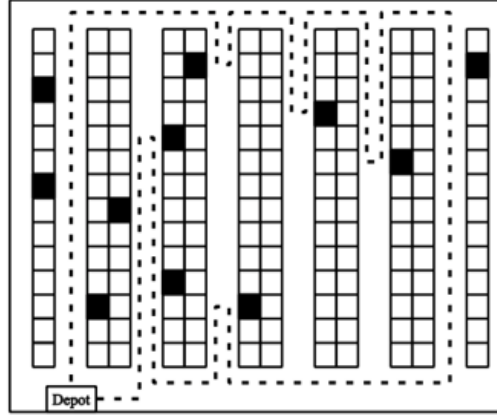


Şekil 3.5. Orta noktalı rotalama sezgiseli (Roodbergen, 2001)

3.2.4. En büyük boşluğa göre rotalama sezgiseli

Bu sezgiselde toplayıcı, her koridorda girdiği taraftan (ilk ve son koridorlar hariç) çıkarak ürünleri toplamaktadır. Bununla birlikte, bir koridorun yalnızca orta noktasına

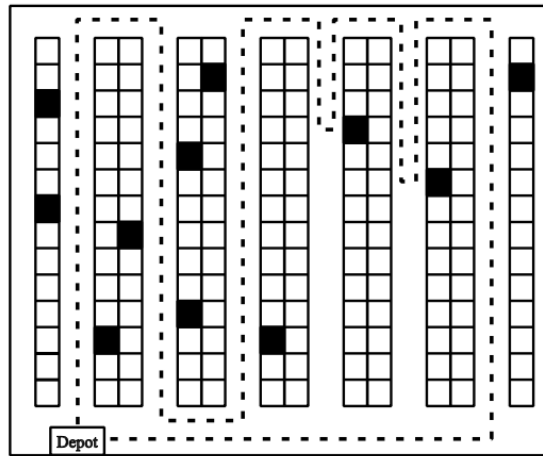
kadar gitmek yerine, toplayıcı en büyük boşluğa kadar gitmektedir (Hall, 1993). Şekil 3.6’da toplayıcı birinci koridorun tamamından geçmektedir. Sonrasında en büyük boşluk olmayan koridorlarda ürünleri toplamaktadır.



Şekil 3.6. En büyük boşluğa göre rotalama sezgiseli (Roodbergen, 2001)

3.2.5. Karma yöntem

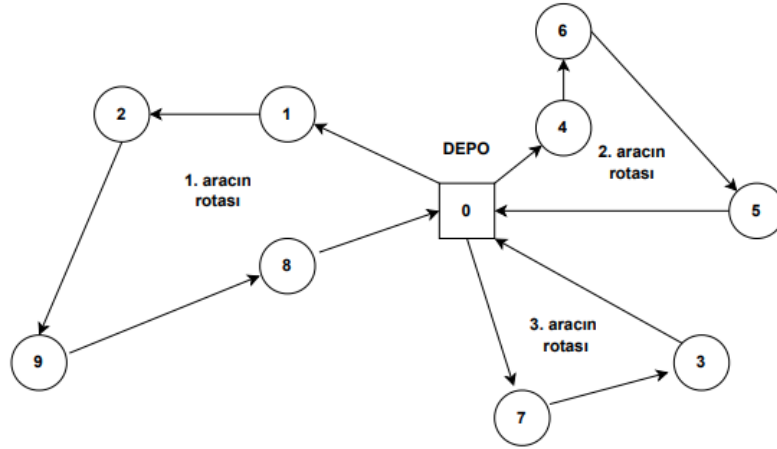
Bu sezgisel, Şekil 3.9’da gösterildiği üzere S-şekilli rotalama sezgiseli ve geri dönüş sezgisellerinin birleştirilmiş halidir (Roodbergen ve Koster, 2001). Bir koridordaki tüm öğeleri topladıktan sonra; toplayıcı, hangi yöntemle siparişleri toplayacağına karar vermektedir ve bunu her koridor için farklı şekilde uygulayabilmektedir (Cergibozan ve Taşan, 2019). Bazı durumlarda daha kullanışlı bir yöntem olarak literatürde yer almaktadır. Şekil 3.7’de sipariş toplayıcı ilk üç koridor için S-Şekil sezgiselini uygulamakta, dördüncü ve beşinci koridorlar için ise geri dönüş sezgiselini uygulamaktadır.



Şekil 3.7. Karma yöntem (Roodbergen, 2001)

3.3. Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemi (ARP), kombinatoriyal optimizasyon problemleri içerisinde en çok çalışılan problem olup müşteriler arasındaki optimal rotayı bulmayı amaçlamaktadır (Golden vd., 2008). Araç rotalama problemi ile ilgili örnek bir gösterim Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Bu problem, ortak bir depodan bir dizi araç kullanılarak coğrafi olarak dağılmış müşterilere ürün tedarik etmenin temel pratik problemidir (Christofides, 1976). Araç rotalama problemi içerisinde depo, müşteri ve araçlarla ilgili pek çok kısıt kullanılabilmektedir. Kullanılan bu kısıtlara göre, genel anlamda bazı sınıflara ayrılmaktadır. Problemde gerçekleştirilmek istenen faktör, müşterilere ürünlerin teslim edilmesidir. Müşterilere ürünleri teslim etme faaliyeti ise en az maliyetli bir şekilde yapılmaya çalışılmaktadır. Bununla ilgili, genellikle problemin çeşitlerine göre değişen mesafe, süre, araç kullanımı gibi maliyet faktörleri vardır. Ayrıca, birden fazla amacın kullanıldığı çok amaçlı problemler de araç rotalama problemi içerisinde kullanılabilir.



Şekil 3.8. Araç rotalama problemi örnek gösterimi (Şen vd., 2015)

Araç rotalama probleminde iyileştirilmeye çalışılan bir veya birden fazla amaç olabilir. Bu amaçlar, problemin yapısına göre değişiklik göstermektedir. Genel anlamda bu amaçlar izleyen şekilde olabilmektedir:

- Dağıtım mesafesini enküçükleme
- Dağıtım süresini enküçükleme
- Kullanılan araç sayısını enküçükleme

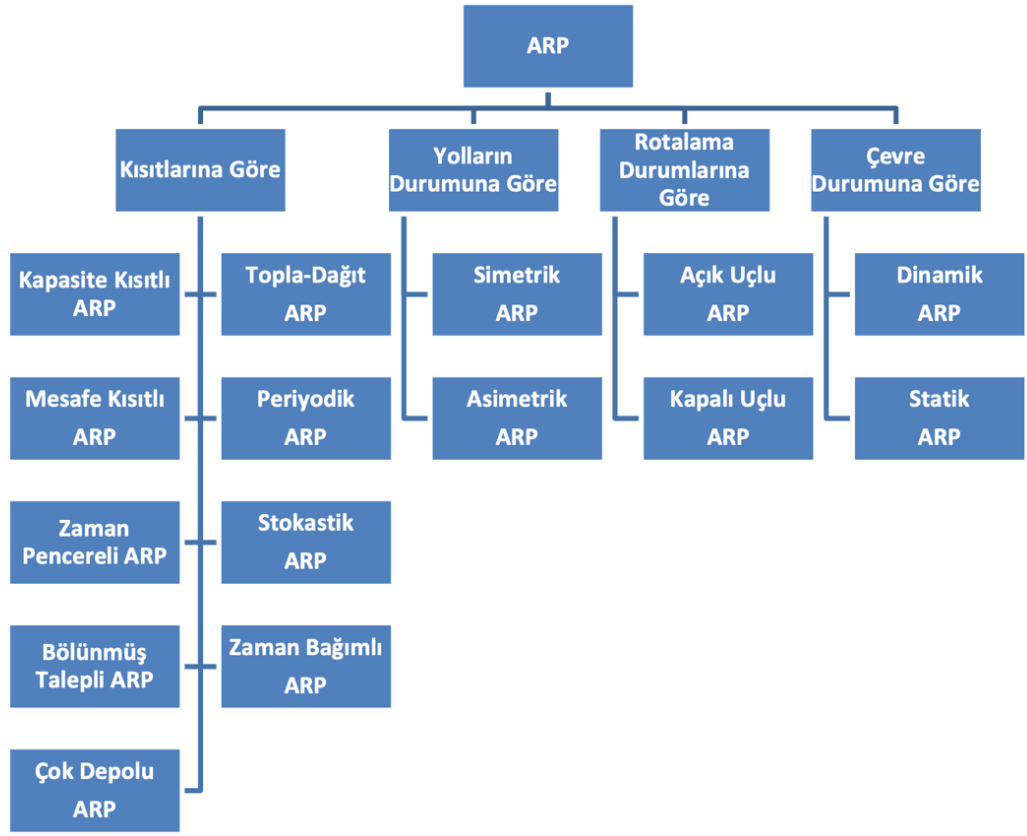
- Araçların doluluk oranlarını enbüyüklemek
- Müşterilerin zaman pencereleri varsa gecikmelerini enküçükmek
- Müşteri memnuniyetini enbüyüklemek

Araç rotalama probleminde, problem özelinde değişiklik göstermekle birlikte genel anlamda aşağıda verilen varsayımlar göz önünde bulundurulmaktadır:

- Yollardaki trafik faktörü göz ardı edilmektedir.
- Müşteri talepleri sabit ve belirlidir.
- Dağıtım yerleri arasındaki mesafeler sabit ve önceden bilinmektedir.
- Her müşteriye sadece bir araç hizmet verebilmektedir.
- Araçların genelde homojen olduğu düşünülmektedir.

Araç rotalama problemi hem literatürde hem de gerçek hayatta oldukça fazla kullanılan bir problem çeşididir. Gerçek hayatta çok kullanılması, literatürde yaygın olmasına neden olmaktadır. Bu problemin kullanım alanlarına; yakıt dağıtımı, banka teslimatları, ekmek dağıtımı, süt dağıtımı, servis araçlarının personel toplaması, atık toplama, şirketlerin ürün dağıtımları, palet toplama, belediye otobüslerinin rotalarının belirlenmesi şeklinde örnekler verilebilir.

Araç rotalama problemi, değişen amaçlar ve farklılaşan problem yapılarına göre çeşitlere ayrılmaktadır. Temel olarak; kısıtlarına göre, yolların durumlarına göre, rotalama durumlarına göre ve çevre durumlarına göre olmak üzere 4 farklı şekilde sınıflandırması yapılabilmektedir. Araç rotalama problemi çeşitleri Şekil 3.9'da gösterildiği üzeredir.



Şekil 3.9. Araç rotalama problemi çeşitleri (Can Atasagun ve Karaoğlu, 2015)

Devam eden alt başlıklarda bazı araç rotalama problemi çeşitleri ile ilgili açıklamalar verilmektedir. Açıklanacak olan araç rotalama problemi çeşidi seçiminde ise mevcut kaynaklar arasında en yaygın olarak karşılaşılan problem türleri tercih edilmektedir.

3.3.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, araç Rotalama Probleminin en temel halidir ve literatürde “Klasik Araç Rotalama Problemi” olarak da geçmektedir. Bu problemde, her aracın belirli bir kapasitesi (ağırlık, hacim veya ürün sayısı) vardır ve müşterilere dağıtılacak olan ürünlerin toplamı bu kapasiteyi geçemez. İzleyen şekilde kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için Kurul (2013)’ün çalışmasında yer alan tamsayı doğrusal matematiksel model örnek olarak ifade edilmektedir.

$G = (V, A)$ bir şebeke olsun, burada $V = \{0, 1, \dots, N, N+1\}$ düğümleri, $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ yolların kümesini ifade etmektedir. Bu matematiksel modelde temel amaç müşterilere ürünleri en az maliyetle ulaştırmaktır.

Karar Değişkenleri

$$X_{ijk} : \begin{cases} 1, & k \text{ aracı } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine giderse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Y_i : Alt tur oluşmasını engelleyen değişken

Parametreler

d_{ij} : i müşterisinden j müşterisine uzaklık

q_i : i müşterisinin talebi

C : araç kapasitesi

N : müşteri sayısı

M : araç sayısı

Matematiksel Model:

$$\sum_{i=0}^{N+1} x_{ipk} - \sum_{j=0}^{N+1} x_{pjk} = 0 \quad k=1,...,M \quad p=1,...,N \quad (4.1)$$

$$\sum_{\substack{vej=0 \\ vej \neq i}}^{N+1} x_{ijk} = 1 \quad i=1,...,N \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = 1 \quad k=1,...,M \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i(N+1)k} = 1 \quad k=1,...,M \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=0}^{N+1} \sum_{\substack{vej=0 \\ vej \neq i}}^{N+1} q_i x_{ijk} \leq C \quad k=1,...,M \quad (4.5)$$

$$Y_j \geq Y_i + 1 - N(1 - \sum_{k=1}^M x_{ijk}) \quad i=1,...,N \quad j=1,...,N \quad i \neq j \quad (4.6)$$

$$Y_j \geq 0 \quad j=1,...,N \quad (4.7)$$

kısıtları altında

$$\text{En küçük } \sum_{i=0}^{N+1} \sum_{\substack{vej=0 \\ vej \neq i}}^{N+1} \sum_{k=1}^M d_{ij} x_{ijk} \quad (4.8)$$

(4.8) numaralı fonksiyon amaç fonksiyonudur ve müşterilere ulaşım maliyeti enküçüklenmektedir. (4.1) numaralı kısıt araç rotalama probleminde kullanılan ve genel akışı sağlayan kısıttır. (4.2) numaralı eşitlikle müşteriye yalnızca bir kez gidilmesi sağlanmaktadır. Müşteri siparişleri araç kapasitesinden daha küçük olduğu için bir müşteriye yalnızca bir kez gidilmesi gerekmektedir. (4.3) ve (4.4) numaralı eşitlikler her aracın rotasının depoda (i=0) başlayıp toplanma noktasında (i=N+1) son bulmasını ifade etmektedir. (4.5) numaralı eşitsizlik araçların kapasite kısıtının aşılmaması gerektiği anlamına gelmektedir. Araçlar homojendir ve bu yüzden her aracın kapasitesi aynı ve önceden belirlidir. Müşterilere dağıtımı yapılan ürünlerin araçların kapasitelerini

aşmamaları bu kısıt sayesinde sağlanmaktadır. (4.6) numaralı eşitsizlik ise Gezgin Satıcı Probleminin temelinde vardır ve turlar esnasında oluşma olasılığı olan alt turları engellemek için kullanılmaktadır.

3.3.2. Zaman pencereci araç rotalama problemi

Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi, klasik araç rotalama problemine zaman penceresi eklenmesi ile oluşmaktadır. Bu problemde amaç; müşterilerin istedikleri zaman aralığında ürünlerin en az maliyetle müşterilere ulaştırılmasıdır. Özellikle tam zamanında üretim kullanan şirketler, değiştirilmesi mümkün olmayan ve kısa zaman aralıklarına sahip olmaktadır. Bu şirketler, teslimatlarını örnek olarak bir saatten az bir zaman diliminde isteyebilmektedir (Schulze ve Fahle, 1999). Böyle durumlarda müşteriler arasında rotalamanın en az maliyetle yapılabilmesi için zaman pencereci araç rotalama problemi kullanılmaktadır. Bu problem kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır (Badeau vd., 1997):

- (1) Sıkı Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi: Bu problem türünde belirtilen zaman penceresinden önce gelen araçlar müşteriye hizmet verememekte, zaman diliminin alt penceresine (ürünlerin en erken alınabilme zamanı) kadar beklemek zorundadırlar. Belirlenen üst zamandan (ürünlerin en geç alınabilme zamanı) sonra gelen araçlar ise ürünlerini teslim edememektedir.
- (2) Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi: Bu problemde ise zaman penceresi öncesi veya sonrasında gelen araçlar belirli bir ceza maliyeti ile hizmet alabilmektedir.

Azi ve arkadaşları çalışmalarında, zaman pencereci araç rotalama problemi için izleyen şekilde gösterilen matematiksel modeli geliştirmektedir (Azi vd., 2007).

Parametreler:

Q: Araç kapasitesi

n: müşteri sayısı $n=1,2,...,N$

k: araç rotası sayısı $k=1,2,...,K$

d_{ij} : i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafe

t_{ij} : i müşterisi ile j müşterisi arasındaki gezinme süresi

q_i : i müşterisinin talebi

s_i : i müşterisinin servis süresi

(a_i, b_i) : i müşterisinin zaman penceresi

β : katsayı

M : büyük bir sayı

Karar değişkenleri:

$x_{ijr} = \begin{cases} 1 & r \text{ rotasında } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine gidilirse} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$

$y_{ri} = \begin{cases} 1 & r \text{ rotasında } i \text{ müşterisine gidiliyorsa.} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$

t_{ir} = rotasında i müşterisindeki servis başlama süresi

t_{0r} = r rotasına başlama süresi

$t_{(N+1)r}$ = r rotasının bitiş süresi

Matematiksel Model:

$$\sum_{j \in N} x_{ijr} = y_{ir}, \quad i \in N, j \in K, \quad (4.9)$$

$$\sum_{r \in K} y_{ir} = 1, \quad i \in N, \quad (4.10)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihr} - \sum_{j \in N} x_{hjr} = 0, \quad h \in N, r \in K, \quad (4.11)$$

$$\sum_{i \in N} x_{0ir} = 1, \quad r \in K, \quad (4.12)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i(n+1)r} = 1, \quad r \in K \quad (4.13)$$

$$\sum_{i \in N} q_i y_{ir} \leq Q \quad r \in K, \quad (4.14)$$

$$t_{ir} + s_i + t_{ij} - M(1 - x_{ijr}) \leq t_{ij}, \quad (i, j) \in A+, r \in K, \quad (4.15)$$

$$a_i y_{ir} \leq t_{ir} \leq b_i y_{ir}, \quad i \in N, r \in K, \quad (4.16)$$

$$t_{(n+1)r} + \sigma r + 1 \leq t_{0(r+1)}, \quad r = 1, \dots, k-1, \quad (4.17)$$

$$\sigma r = \beta \sum s_i y_{ir}, \quad r \in K, \quad (4.18)$$

$$r t_{ir} \leq t_{0r} + t_{max}, \quad i \in N, r \in K, \quad (4.19)$$

$$x_{ijr} \in \{0,1\}, (i,j) \in A+, r \in K, \quad (4.20)$$

$$y_{ir} \in \{0,1\}, i \in N, r \in K, \quad (4.21)$$

Kısıtları altında

$$\text{En küçük } \sum_e \sum_{i,j} d_{ij} x_{ijr} \quad (4.22)$$

(4.9) numaralı eşitlikte, model içerisindeki iki karar değişkeni birbirine bağlanmaktadır. (4.10) numaralı eşitlik her müşterinin yalnızca bir rotaya dahil edilmesi anlamına gelmektedir. (4.11)- (4.14) numaralı kısıtlar, kapasite kısıtlı klasik araç rotalama probleminde bulunan kısıtlardır. (4.15)- (4.17) numaralı kısıtlar, problem içerisindeki zaman planlamasını ifade etmektedir. (4.18) numaralı eşitlik, araç kurulum süresini bir rotadaki tüm müşterilerin hizmet süresinin toplamı ve β parametresi ile çarpımı olarak hesaplamaktadır. (4.19) numaralı eşitsizlik, bir müşteriye hizmet vermek için son tarih kısıtlamasını ifade etmektedir. Son olarak (4.20) ve (4.21) numaralı kısıtlar ise işaret kısıtlarıdır. (4.22) numaralı amaç fonksiyonu, hizmet verilen müşterilere ulaşırken sarf edilen gezinme mesafesi enküçüklenmeye çalışmaktadır.

3.3.3. Periyodik araç rotalama problemi

Dağıtım maliyetlerinin enküçüklenmesinin amaçlandığı bu problemde klasik araç rotalama problemine ek olarak, belirli bir zaman periyodu içerisinde hangi müşterilerin hangi sıklıkla ziyaret edilmesinin istendiği bir planlama ufku tanımlanmaktadır (Coene vd., 2010). Problem bünyesinde araçların belirli müşterilere birden fazla kez uğrayacağı şekilde planlama yapılmaktadır. Periyodik araç rotalama problemi için Yao vd. (2013) arkadaşları izleyen şekilde gösterildiği şekilde bir matematiksel model oluşturmaktadır.

Parametreler:

l_{ij} : i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafe

K : toplam araç sayısı

q_i : i müşterisinin talebi

Q : araç kapasitesi

Karar değişkenleri:

$$X_{ijkd} : \begin{cases} 1 & k \text{ aracı } d \text{ gününde } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine giderse} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Matematiksel Model:

$$\sum_k \sum_j x_{ijkd} \leq K \quad \forall i = 0, d \in T \quad (4.23)$$

$$\sum_j x_{ijkd} = \sum_j x_{ijkd} \leq 1 \quad \forall i = 0, \forall k, d \quad (4.24)$$

$$\sum_k \sum_{j=0} x_{ijkd} = 1 \quad \forall i, d \quad (4.25)$$

$$\sum_k \sum_{i=0} x_{ijkd} = 1 \quad \forall j, d \quad (4.26)$$

$$\sum_i q_i \sum_{j=0} x_{ijkd} \leq Q \quad \forall k, d \quad (4.27)$$

$$x_{ijkd} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k, d \quad (4.28)$$

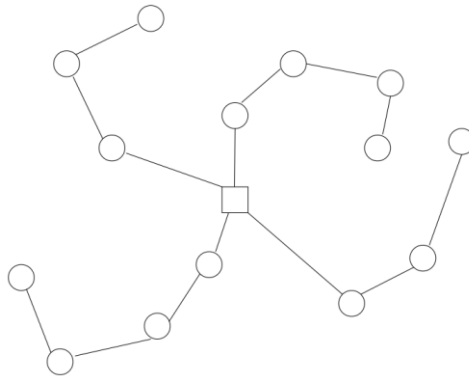
Kısıtları altında

$$\text{En küçük } \sum_{i=0} \sum_{j=0} \sum_k \sum_d l_{ij} x_{ijkd} \quad (4.29)$$

(4.23) numaralı eşitsizlikte, toplamda K araç sayısı kadar tur oluşturulması sağlanmaktadır. (4.24) numaralı kısıt ile, aracın dağıtım merkezinden rotasına başlayıp dağıtım merkezine geri dönmesi ifade edilmektedir. (4.25) ve (4.26) numaralı eşitliklerde, müşterinin aynı teslimat döneminde aynı araç tarafından birden fazla kez ziyaret edilmemesi gösterilmektedir. (4.27) numaralı eşitsizlik ile, araç kapasitesinin aşılmaması sağlanmaktadır. Son olarak (4.28) numaralı kısıt, işaret kısıtıdır. (4.29) numaralı fonksiyon ise amaç fonksiyonu olup müşterileri en az mesafe ile ziyaret etmeyi amaçlamaktadır.

3.3.4. Açık uçlu araç rotalama problemi

Klasik araç rotalama probleminde olduğu gibi araçlar bir başlangıç noktasından rotalarına başlamakla birlikte, bitiş noktaları başlangıçtan farklı bir talep noktası olmaktadır (Li vd., 2007).



Şekil 3.10. Açık uçlu araç rotalama problemi gösterimleri (Kuşçu ve Küçükşille, 2009)

Açık uçlu araç rotalama problemi için, Li ve arkadaşları tarafından verilen matematiksel model izleyen şekildedir (Li vd., 2007):

Parametreler:

q_i : i müşterisinin talebi

Q : araç kapasitesi

w_k : araç kullanma maliyeti

Karar değişkenleri:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & k \text{ aracı ile } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisi ziyaret edilirse} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$z_k = \begin{cases} 1 & k \text{ aracı kullanılırsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Matematiksel Model:

$$\sum_{k=1} \sum_{i=0} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \quad (4.30)$$

$$\sum_{k=1} \sum_{j=1} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (4.31)$$

$$x_{ijk} \leq z_k \quad \forall k, i, j \quad (4.32)$$

$$\sum_{i=0} x_{i0k} - \sum_{i=0} x_{0jk} = 0 \quad \forall k, u \quad (4.33)$$

$$\sum_{(i,j) \in S \times S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq V: 1 \leq |S| \leq n, \forall k \quad (4.34)$$

$$\sum_{j=1} q_i (\sum_{i=0} x_{ijk}) \leq Q \quad \forall k \quad (4.35)$$

$$\sum_{j=1} x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \quad (4.36)$$

$$\sum_{i=1} x_{0jk} = 0 \quad \forall k \quad (4.37)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k, i \quad (4.38)$$

$$z_k \in \{0,1\} \quad \forall k \quad (4.39)$$

Kısıtları altında

$$\text{En küçük } \sum_k \sum_{i=0} \sum_{j=0} c_{ij} x_{ijk} + \sum_k w_k z_k \quad (4.40)$$

(4.30) ve (4.31) numaralı eşitlikler, akışı sağlayan kısıtlardır. Bu kısıtlar sayesinde, bir müşteriye yalnızca bir araç giriş ve çıkış yapabilmektedir. (4.32) numaralı eşitlik ile tüm müşterilerin hizmetması sağlanmaktadır. (4.33) numaralı kısıt, her aracın rotasının devamını ifade etmektedir. (4.34) numaralı kısıt, alt tur eleme kısıtıdır. (4.35) numaralı

kısıt ile, araç kapasitesinin aşılmaması hedeflenmektedir. (4.36) ve (4.37) numaralı kısıtlar, her aracın rotaya depodan başlamasını ve sonrasında depoya geri dönmemesini sağlamaktadır. (4.40) ile gösterilen fonksiyon ise amaç fonksiyonu olup bu fonksiyon ile kullanılan aracın mesafesi ve araç kullanma maliyetleri enküçüklenmeye çalışılmaktadır.

3.3.5. Dinamik araç rotalama problemi

Klasik araç rotalama probleminde tüm veriler sabit değerde olup önceden bilinmekte iken, dinamik araç rotalama probleminde verilerin bir kısmı veya tamamı uygulama esnasında hesaplanmaktadır. Bu problem üzerinde son zamanlarda çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir (Demirtaş ve Özdemir, 2017; Psaraftis, 1995). Gerçek hayatın belirsizliğini göz önüne alan bu problemin çözümü Klasik ARP'ye göre daha zor olmaktadır.

3.4. Bütünleşik Sipariş Gruplama ve Araç Rotalama Problemi

Birçok farklı sektörde hizmet veren şirketler, tedarik zinciri süreçlerini kullanmaktadır. Bu sektörlerden en önemlisi, lojistik hizmetler içerisinde hızlı ve kaliteli ulaşımın hayati önem taşıdığı gıda sektörüdür. Gıda sektöründeki işletmelerin, müşteriye sipariş edilen ürünleri bozulma durumları olmadan ve tam zamanında ulaştırmaları beklenmektedir. Bu yüzden; bu şirketlerin, müşteri kaybı yaşamamak için süreçlerini hassasiyetle ve birden fazla faktörü gözeterik ilerletmeleri gerekmektedir. Bu şirketlerde, lojistik süreçler içerisinde bazı problemler yaşanmaktadır. Bunlardan biri, müşterilerin ürünlerini belirli bir zaman çerçevesinde teslim almak istediklerinde ortaya çıkan bir planlama problemidir. Müşterilerin zaman penceresini kullanmaları durumunda, işletmelerin herhangi bir kayıp yaşamamak için lojistik süreçlerini zaman penceresini de gözeterik gerçekleştirimleri gerekmektedir.

Zaman penceresi, müşteriler tarafından oluşturulmaktadır. Müşterilerdeki ürünleri teslim alma sürecinin, planlanan başka işlerle çakışmaması ve herhangi bir stok yığılmasının oluşmaması için, ürünlerin istenen zaman penceresi içerisinde teslim edilmesi gerekmektedir. Müşterilerin ürünlerini teslim almak istediği zaman aralığı belirli ve sabittir; müşteriler ürünlerinin yalnızca o zaman aralığında kendilerine ulaştırılmasını istemektedir. Eğer ürünlerin müşterilere ulaştırılması gecikirse- müşterinin belirttiği zaman aralığı sonrasında müşteri ziyaret edilirse, belirli bir gecikme maliyeti ödenmesi gerekmektedir. Erken ulaştırma konusunda ise gecikmeden farklı bir durum yaşanmaktadır. Şirket, müşterilere erken ulaşıldığı zaman herhangi bir maliyete

katlanmak zorunda olmayıp şirketin ürünlere ulaşılması sağlanmış olmaktadır. Aynı zamanda, müşterilere ulaşırken hem süreyi etkin kullanmak hem de yol maliyetini azaltmak için en kısa yollardan müşterilere ulaşılması beklenmektedir. Şirket için, gecikme maliyetlerinin ve müşterilere ulaşırken seyahat mesafesinin en aza indirgenmesi önemli bir konudur. Bu konu, bu tezde çalışılan problemin ikinci aşaması olan dağıtım kısmını oluşturmaktadır.

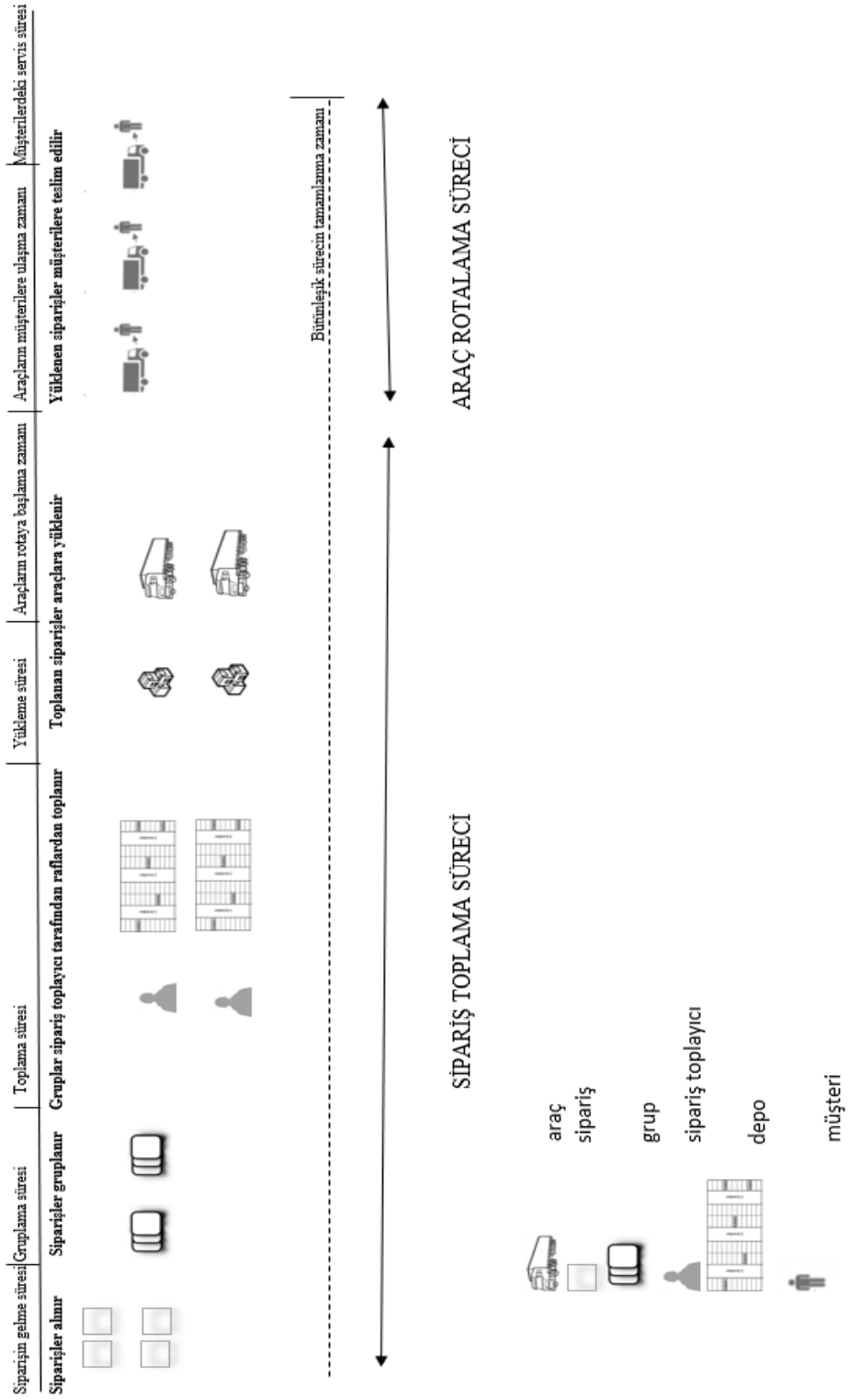
Ayrıca, müşteriler zaman penceresine sahip oldukları için, siparişlerin ilgili şirkete ulaştığı andan itibaren süre kavramı önem kazanmaktadır. Bu yüzden maliyetlerin enküçüklenmesi için sürecin depo içerisinde geçen faaliyetleri de kapsaması gerekmektedir. Depo içerisindeki faaliyetlerde, dikkat edilmesi gereken konu en kısa mesafede, dolayısı ile en kısa sürede ürünlerin depoda bulundukları yerlerden toplanıp hazırlanmasıdır. Depo içerisindeki toplama mesafesinin-süresinin en düşük düzeyde olması hem müşterilere ürünlerin gönderiminin gecikmemesini hem de sipariş toplayıcının zamanının daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Böylelikle hem gecikme maliyeti azaltılmış hem de sipariş toplayıcının daha fazla siparişi toplaması sağlanmış olmaktadır. Bu problem ise tezde çalışılan problemin birinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamanın amacı, siparişleri en etkili şekilde toplamaktır. Sipariş toplama süreci içerisinde, özellikle çok fazla siparişin olduğu ve ürün çeşidinin az olduğu durumda, sipariş toplayıcının ürünleri tek tek toplaması yüksek maliyetli olmaktadır. Bu maliyetleri azaltmanın bir yolu siparişleri gruplayarak toplamaktır. Böylece sipariş gruplama süreci ortaya çıkmaktadır. Bu süreçte verilecek olan karar, depoda siparişlerin toplandığı esnada hangi siparişlerin gruplar halinde toplanması ile en etkili sonucun ortaya çıkabileceğidir.

Bu iki sürecin eş zamanlı çözülmesi maliyetleri daha etkin bir şekilde azaltarak optimum sonucun bulunmasını kolaylaştırabilmektedir. Problem, gerçek hayatta ilk aşaması sipariş gruplama, ikinci aşaması ise araç rotalama olmak üzere iki aşamalı olarak oluşturulmaktadır. Depo içerisindeki süreçte (birinci aşama) siparişler gruplanmakta, toplayıcılara atanmakta, belirlenen bir rota ile toplanarak sevkiyat noktasına getirilmektedir. Dolayısı ile bu aşamada depo içerisinde en az gezinme mesafesi ile siparişlerin toplanması gerekmektedir. Depo dışındaki süreçte (ikinci aşama) sevkiyat noktasına getirilen siparişler araçlara yüklenmekte ve belirli rotalarda müşterilere ulaştırılmaktadır. Ayrıca bu süreçte, zaman yönetimi sağlanırken müşterilere en az

mesafe ile ulaşılması da yol maliyetlerini azaltacağı için bir diğer amaç olarak düşünülmektedir.

İlgili süreç, siparişlerin şirketin sipariş sistemlerinden depoya ulaştığı başlamaktadır. Siparişler, Şekil 3.11’de gösterildiği üzere, gruplanmakta, gruplanan siparişler toplanmakta, toplanan siparişler sevkiyat noktasında araçlara yüklenmekte, yüklenen siparişler ise müşterilere ulaştırılmaktadır. Böylelikle problem, sipariş gruplama ve zaman pencereli araç rotalama problemi olarak adlandırılmaktadır.





Şekil 3.11. Sipariş gruplama ve zaman pencereli araç rotalama probleminin şekil üzerinde gösterimi

Bu bütünleşik problemde cevap aranan sorular izleyen şekildedir:

- Kaç sipariş grubu oluşturulmalıdır?
- Hangi siparişler hangi gruplara atanmalıdır?
- Sipariş grupları hangi sıra ile toplanmalıdır?
- Hangi sipariş hangi araca yüklenmelidir?
- Siparişlerin teslimatı için araçlar hangi rotayı izlemelidir?
- Siparişlerin müşterilere teslim zamanları nedir?
- Siparişin müşteriye teslimatındaki gecikme süresi nedir?



4. MEVCUT YAYINLARIN ANALİZİ

Bu bölümde öncelikle mevcut yayınların analizinin yapılması için literatürde yöntemler araştırılmakta, sonrasında gerekli yayınlara, belirlenen araştırma kapsamı çerçevesinde ulaşılmaktadır. Yayınlar, belirlenmiş olan sınıflandırmaya göre incelenmekte ve sipariş gruplama problemi, araç rotalama problemi ve bütünleşik problem için ilgili literatürdeki çalışmalar detaylı incelenerek araştırma bulgularına dayanan sonuçlara ulaşılmaktadır.

4.1. Yayın Araştırmasında Kullanılan Metodoloji

Yayın incelemesi, belirli araştırma sorularının tanımlanmasını sağlayan konu alanının bir özetidir (Rowley ve Slack, 2004). Bunun için metodolojik temel, genellikle içerik analizi olarak yürütülen bir belge analizidir. Bu nedenle öncelikle, ilgili literatürün araştırılmasını ve sınıflandırılmasını mümkün kılan ölçütler seçilmelidir. Bu sınıflandırma çözümlemenin bir parçasını oluşturmaktadır (Seuring vd., 2005).

Yayın araştırması kapsamında öncelikle araştırma konusu ile ilgili temellerin atılacağı sorular oluşturulmaktadır. Bu sorular izleyen şekildedir:

1. Yazarlar ilgili problemleri hangi problemlerle birleştirmektedir, problem çeşitleri nelerdir?
2. Problemlerin çözümünde hangi metotlar kullanılmaktadır?
3. Çözümün performans analizi için ne tür ölçümler kullanılmaktadır?
4. Problemde oluşturulan parametre verileri nasıl düzenlenmekte, parametre değerleri neye göre belirlenmektedir?
5. Problemin oluşturulduğu depo yapısı nasıl oluşturulmaktadır?

Bu tez kapsamında, yukarıdaki soruların cevapları aranarak bir yayın araştırması yapılmaktadır. Bunun için materyal toplama sürecinde, Google Scholar, Web of Science ve Scopus veri tabanları kullanılmaktadır. Bu veri tabanlarındaki akademik dergilerde yayınlanmış olan ilgili çalışmalar, kitaplar, konferans bildirileri incelenmektedir.

4.2. Sipariş Gruplama Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Literatürde sipariş gruplama problemi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Başlığında "Sipariş Gruplama (Order Batching)" içeren çalışmalar Tablo 4.1'de gösterildiği üzere ilgili veri tabanlarında taranmaktadır. Konu ile ilgili derleme makalelerinin pek çoğunda sipariş toplama ya da depo yönetimi başlıkları altında yalnızca

alt başlık olarak sipariş gruplama problemi verilmektedir (Cormier, 2005; Gu vd., 2007; Koster vd., 2007; Ong ve Joseph, 2014). Yalnızca sipariş gruplama probleminin literatürüne odaklanan çalışmalar ise; Cergiboza ve Tasa'nın (2019) sipariş toplama süreci çerçevesinde sipariş gruplama problemini incelediği, Henn vd. (2012)'nin sipariş gruplama ile ilgili çözüm yaklaşımlarını analiz ettiği ve Ma ve Zhao (2014)'nun sipariş gruplama problemi üzerine çözüm algoritmalarını incelediği çalışmalardır. Ayrıca; Boz ve Aras (2022), sipariş gruplama problemi için yeni bir sınıflandırma oluşturarak literatürdeki çalışmaları analiz etmektedir.

Tablo 4.1. *Sipariş gruplama üzerine kaynak incelemesi*

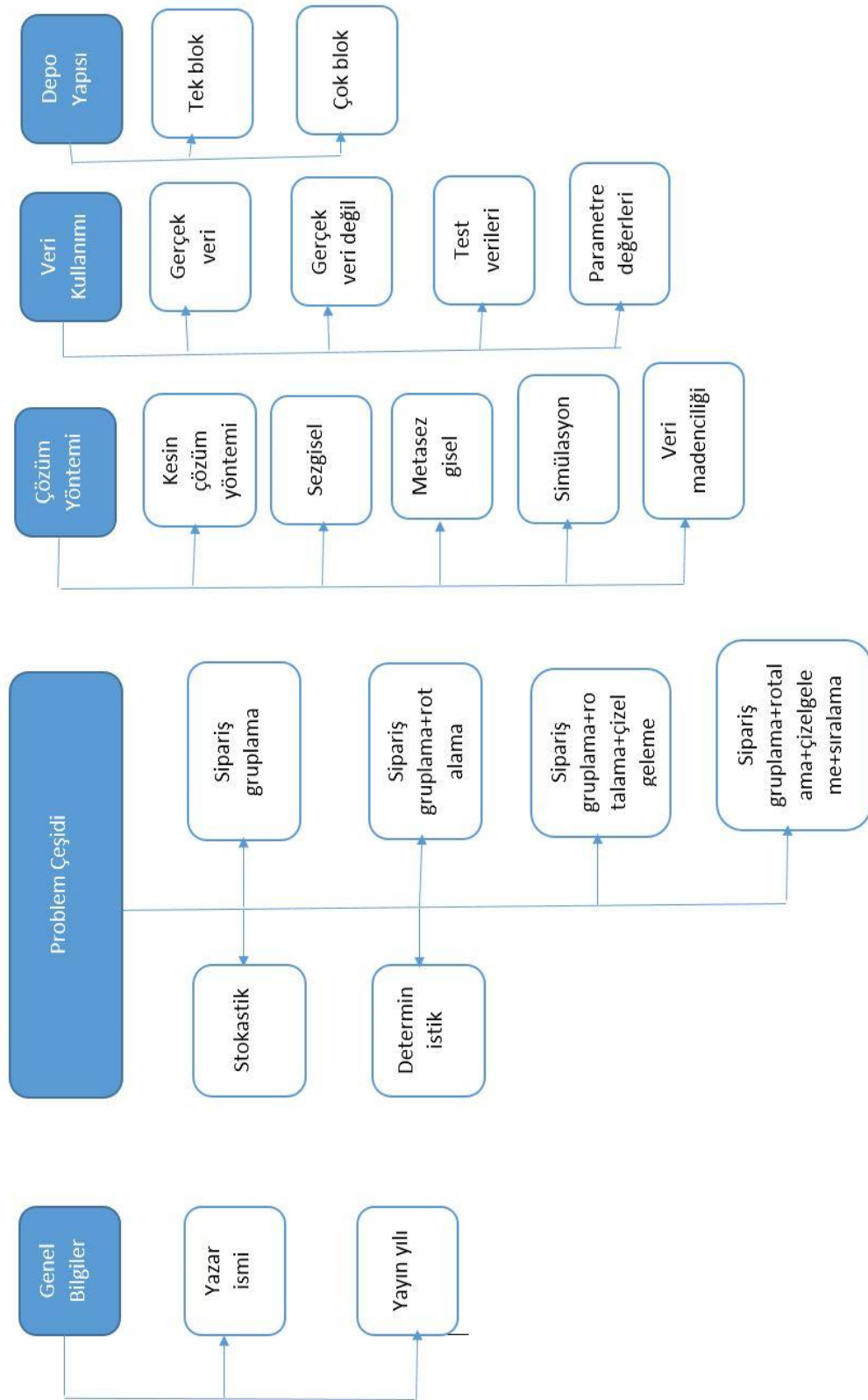
Veri tabanları	2010-2020	2022-2000	Tüm zamanlar
Google scholar	127	159	169
Web of science	54	70	82
Scopus	77	98	106

4.2.1. Çalışmaların sınıflandırılması

Bu bölümde; ilgili problem, araştırma soruları kapsamında çeşitli sınıflara ayrılmakta ve bu sınıflar özelinde ilgili çalışmalar incelenmektedir. Kategori seçimi için sipariş gruplama probleminin oluşturulduğu sınıflandırma Şekil 4.1'de örnek olarak gösterilmektedir. İlk kategori olan genel bilgiler kategorisi, çalışma hakkında genel bir bilgiye sahip olmak için ifade edilmektedir. 2. kategori olan problem çeşidi kategorisi ise, öncelikle çalışmada gösterilmiş olan problemin hangi sınıfa sahip olduğunu anlamak için eklenmektedir. Bu çalışmalar genel anlamda, öncelikle dinamik ve statik olmak üzere iki ayrı sınıfta birleştirilmektedir. Dinamik problemler, verilerin değişken olduğu problemleri ifade ederken, statik problemler ise verilerin belirli olduğu problemleri ifade etmektedir. Aynı zamanda bu çalışmalar üzerinde incelenen sipariş gruplama probleminin hangi problemlerle bütünleştirildiğine bakılarak yeni bir sınıflandırma yapılabilir. Günümüzdeki çalışmalar, alt problemlerin öncül ve ardıl işlemlerine göre bütünsel bir yapıda incelenmesine yoğunlaşmaktadır. Bu yüzden; bu tarz bir sınıflandırma, problemin ifade edilmesini ve süreç içerisindeki yerinin daha iyi anlaşılması için faydalı olmaktadır. Böylelikle yöntemlerin kullanılma sıklıkları ve sonuçlarına ulaşılmaktadır. 3. kategori olan çözüm yöntemi kategorisi, problemin hangi yöntem ile çözüldüğünü anlamak için eklenmektedir. 4. kategori olan veri kullanımı kategorisinde özetle çalışmalardaki

verilerin yapısına odaklanılmaktadır; verilerin gerçek veri olup olmadığı araştırıldıktan sonra parametre değerleri incelenmektedir. Son kategori olan 5. kategoride, çalışmalarda geçen depoların yapısı araştırılmakta ve bu depoların tek blok veya çok blok olduğu incelenmektedir. Böylece hangi depo türlerinin ağırlıklı çalışıldığı, hangilerinin ise daha az çalışıldığı bilgisine ulaşılmaktadır.





Şekil 4.1. Sipariş gruplama problemi için kategori seçimi

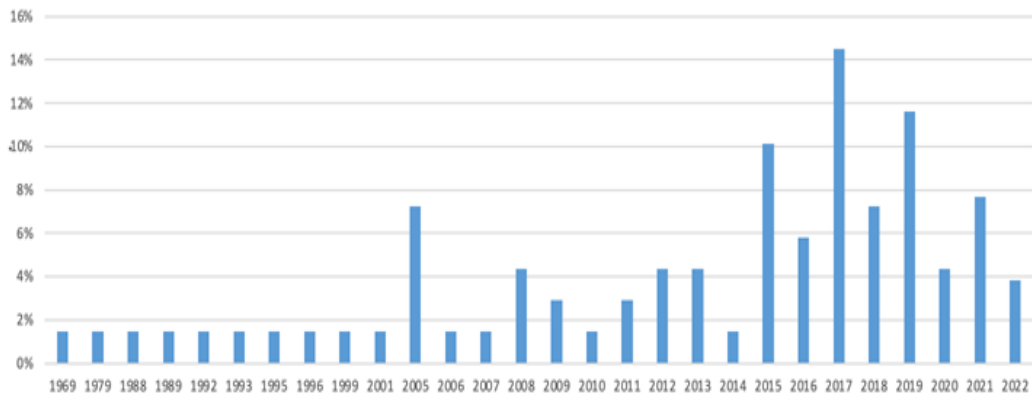
Çalışmaların Değerlendirilmesi:

Bu bölümde, elde edilen çalışmalar, oluşturulan araştırma soruları ve kategoriler çerçevesinde incelenmektedir. Mevcut literatürde sipariş gruplama problemi ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları sipariş gruplama işleminin tedarik zincirindeki kamçı etkisini analiz etmeye yöneliktir (Holland ve Sodhi, 2004; Hussain ve Drake, 2011). Bazı çalışmalarda ise sipariş gruplama problemi çözülmemekte, fakat matematiksel model önerilmekte veya çözüm yöntemi ifade edilmekte ve parametreleri önerilmektedir (Cano vd., 2020; Zhu, 2015). Ancak, literatürdeki pek çok çalışmada sipariş gruplama süreci bir problem olarak ele alınmakta ve bu problem farklı yönleriyle incelenip bir çözüm yöntemi geliştirilerek çözüme ulaşılmaktadır.

Yayın araştırması kapsamında, ilgili analizler yapılmakta, sipariş gruplama sürecini problem olarak ele alarak, bir çözüm yöntemi ile problemin çözümünü veren çalışmalar araştırmaya dahil edilmektedir. Böylelikle; yıl sınırlaması olmadan EK-1’de gösterildiği üzere 75 çalışma incelenmektedir. Bu incelemelerin kategorilere göre ifade edilmesi izleyen şekildedir:

Sayılara Göre:

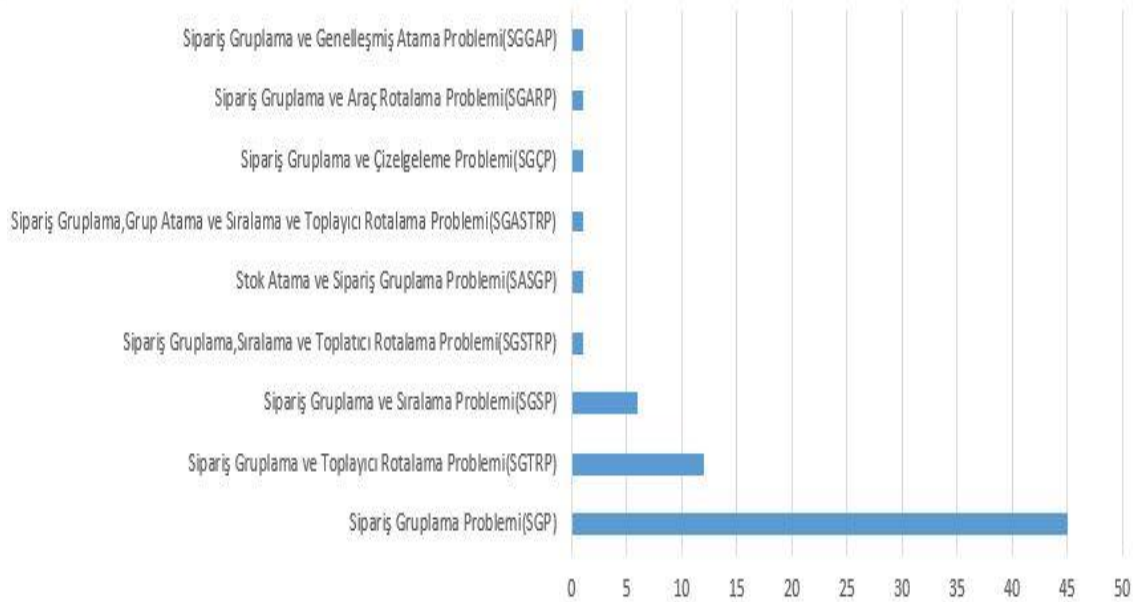
Genel bilgiler kategorisinde çalışma yılları analiz edilmektedir. Şekil 4.2’de gösterildiği üzere incelenen çalışmaların %14 ü 2017 yılına ait olup çalışmaların dağılımı ise 1969 ve 2022 yılları arasındadır. 2017 yılının ardından ikinci olarak çalışmaların %12’si 2019 yılına ait olmaktadır. Böylelikle, incelenen çalışmalar kapsamında en fazla çalışma yapılan yıl 2017, ikinci en fazla çalışma yapılan yıl ise 2019 olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.2. Yıllara göre incelenen çalışma sayısı

Problem Çeşidine Göre:

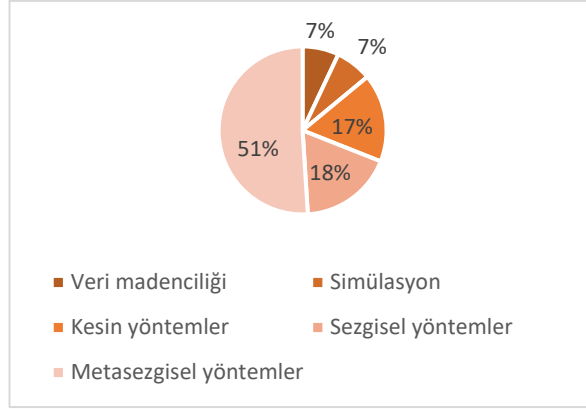
Problem çeşidi, temelde iki kategoriye ayrılmaktadır. Birincisi; problemin içerdiği alt problemlerle ilgilidir. Bu kategori Şekil 4.3’de ifade edildiği üzere; en fazla incelenen çalışma sayısı sipariş gruplama problemine ait olmaktadır. Sonrasında ise sipariş gruplama problemi ile toplayıcı rotalama probleminin birleştirildiği problem sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemidir. İkinci bir problem çeşidi sınıfı ise; sipariş gruplamanın yapısal olarak statik veya dinamik olarak sınıflandırılmasıdır. İncelenen çalışmalardan %9’u dinamik, %91’i ise statik yapıdadır. Dinamik yapıda olan sipariş gruplama problemi çalışmaları, literatürde dinamik sipariş gruplama problemi (online order batching problem) olarak geçmektedir. Dinamik yapıda olan çalışmalar 2012 yılında başlamış olup son zamanlarda artış göstermektedir.



Şekil 4.3. İncelenen çalışmaların problem çeşitleri

Çözüm Yöntemine Göre:

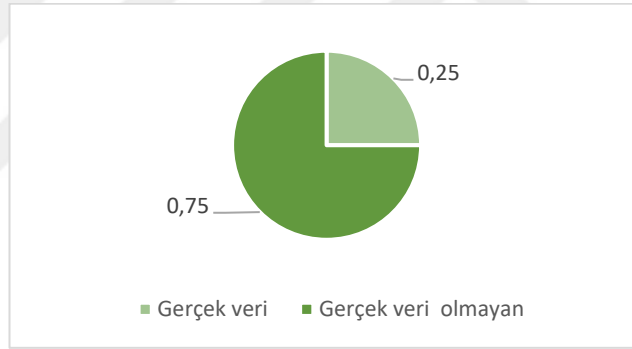
Yapılan analizler ışığında Şekil 4.4’de gösterildiği üzere; çalışmaların %51’i metasezgisel algoritmalar, %18’i sezgisel algoritmalar, %17’si kesin yöntemler, %7’si simülasyon ve kalan %7’si ise veri madenciliği çözüm yöntemlerini kullanmaktadır. Bu bağlamda, incelenen çalışmalar kapsamında en fazla metasezgisel algoritmaların kullanıldığı ifade edilebilmektedir. Metasezgisel algoritmalar kendi içlerinde incelenirse, en fazla komşuluk arama algoritmaları, ikinci olarak da en fazla genetik algoritmaların kullanıldığı belirtilebilmektedir.



Şekil 4.4. *İncelenen çalışmaların çözüm yöntemleri*

Veri Kullanımına Göre:

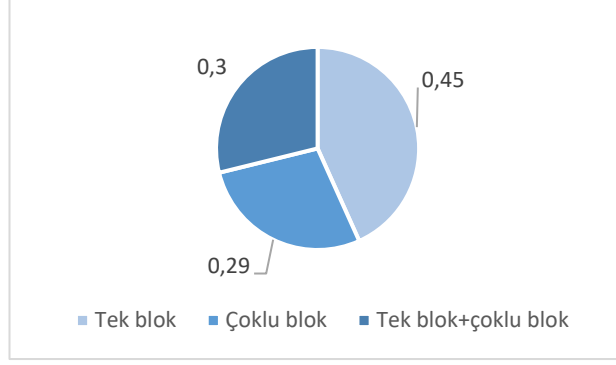
Veri kullanımı kategorisinde, çalışmalarda kullanılan veri türleri incelenmektedir. Buna göre; Şekil 4.5’de gösterildiği üzere çalışmaların %25’i gerçek veri ile yapılmaktadır. Çalışmaların kalan %75’inde ise, gerçek veri kullanılmamaktadır.



Şekil 4.5. *Veri kullanımına göre çalışmalar*

Depo Yapısına Göre:

Depo yapısı kategorisinde, çalışmalarda belirtilen depo yapıları yalnızca blok olarak analiz edilmektedir. Buna göre, Şekil 4.6’da gösterildiği üzere; çalışmaların %45’i tek blok (single block), %29’u çoklu blok (multiple block), %3’ü hem tek hem çoklu blok depolarda çalışılmaktadır. Çalışmaların %23’ünde ise depo yapısı belirtilmemektedir. Böylelikle, literatürdeki çalışmaların çoklu blok yapısına ait depolar için daha az uygulandığı ifade edilebilmektedir.



Şekil 4.6. Depo yapısına göre çalışmalar

Sonuç olarak, yayın araştırması sonucunda elde edilen bulgular izleyen şekildedir:

- Sipariş gruplama problemi literatüründe son zamanlarda çalışmalar artış gösterdiği için bu problem güncel ve canlı bir konudur.
- Literatürde sipariş gruplama problemi ile en fazla çalışılan konu toplayıcı rotalama problemidir. Bu iki problem bir bütün olarak ele alınmakta ve çözümü için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir.
- Literatürde dinamik sipariş gruplama problemi ile ilgili çalışmalar daha az bulunmaktadır.
- Sipariş gruplama probleminin çözümlendiği çalışmaların içerisinde, en fazla kullanılan yöntem metasezgisel yöntemlerdir. En az kullanılan yöntemler ise veri madenciliği ve simülasyon yöntemleridir.
- Literatürdeki çalışmalar içerisinde gerçek verinin kullanıldığı çalışmaların sayısı oldukça azdır.
- Sipariş gruplama problemi, çoklu blok yapısına sahip olan depolarda daha az çalışılmaktadır.
- Mevcut çalışmaların %55'i çözüm yöntemi performansını mesafe bakımından, %35'i süre bakımından, %4'ü maliyet bakımından, %3'ü ürün benzerliği bakımından, %1'i grup sayısı, kalan %1'i ise teslim edilen sipariş sayısı bakımından incelemektedir.

4.2.2. Kesin çözüm yöntemlerini kullanan çalışmalar

Mevcut yayınlarda bulunan kesin çözüm yöntemleri ile çözülmüş sipariş gruplama problemleri çalışmalarının ilki; Vinod (1969)'un, biri doğrusal bir amacı diğeri kareli bir amacı olan iki tamsayılı programlama formülasyonu sunduğu çalışmadır. Amaç fonksiyon katsayıları, her bir sıraya bir değer atanarak üretilmektedir. Çalışmada, 14

siparişten 7 partinin oluşturulduğu bir örnek verilmektedir. Vinod, bu çalışma ile sipariş gruplama için matematiksel modellemenin temelini atmaktadır. İkinci alışma ise Armstrong vd. (1979) tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada yazarlar, sipariş gruplama problemi çözümü için karma tamsayılı matematiksel model geliştirmekte ve yarı otomatik sipariş toplama sisteminde küçük boyuttaki örnek özümlelerini Benders yaklaşımları ile kıyaslamaktadır.

Gademan vd. (2001), her grup için en yüksek olan hazırlık süresini enküçüklemeyi amaçlayan bir sipariş gruplama problemini incelemekte ve problemin çözümü için kesin çözüm yöntemlerinden dal-sınır algoritmasını önermektedir. Bu algoritmada üst sınırlar 2-opt sezgiseli kullanılarak belirlenmektedir. Çalışma sonucunda, algoritma ile orta büyüklükteki bir problem için pratik zamanda çözüm bulunabileceği ve algoritmanın pratikte uygun olacağı ifade edilmektedir. Gademan ve Velde (2005) yaptıkları çalışmada 2001 yılında yaptıkları çalışmanın verilerini kullanarak dal ve fiyat algoritması geliştirmektedir. Yazarlar, küçük boyutlu problemler için önerdikleri algoritmanın 2001 yılındaki çalışmanın sonuçları ile kıyaslandığında daha iyi sonuçlara ulaştıklarını göstermektedir. Bozer ve Kile (2008), çalışmalarında sipariş gruplama problemi için karma tamsayılı matematiksel model geliştirmekte ve sonuçları Clarke and Wright algoritması ve Ruben ve Jacobs (1999) tarafından geliştirilen sezgisel bir algoritma ile kıyaslamaktadır. Çalışma sonucunda ise sınırlar kullanılarak, mevcut yöntemlerin oldukça iyi performans sergiledikleri gösterilmektedir. Wang ve Tang (2008) alışmalarında, sipariş gruplama problemi için, siparişlerin esnekliği ve teknolojik sınırlamaları dikkate alınarak yeni bir karma tamsayılı matematiksel model önermektedir. Yazarlar, Lagrange gevşetmesi, dinamik programlama ve sezgisel yöntemlerin bir araya getirildiği bir çözüm metodolojisi geliştirmektedir.

Tang vd. (2011), çalışmalarında sipariş gruplama problemi için; atama maliyeti, stok tutma maliyeti ve ceza maliyeti dahil tüm maliyetleri enküçüklemeyi amaçlayan yeni bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirmektedir. Geliştirilen bu model, Lagrange gevşetmesi ve sütun oluşturma arasındaki ilişkiyi kullanarak özölmektedir. Problemin uygulaması, büyük bir elik şirketinden toplanan gerçek veriler ve rassal üretilen büyük ölçekli örnekler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Sonuçlar, algoritmanın geleneksel Lagrange gevşetmesi algoritması sonuçları ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir bir hesaplama süresi içinde daha sıkı alt sınır ve daha yüksek kalitede çözüm elde edebileceğini göstermektedir.

Muter ve Öncan (2015); çalışmalarında sipariş gruplama problemini, S şekilli, geri dönüşlü ve orta nokta rotalama stratejisi ile sütun oluşturma yöntemini kullanarak çözüme ulaştırmaktadır. En fazla 100 siparişin kullanıldığı örneklerin sonucunda ise örnekler üzerinde en iyi çözümlere ulaşıldığı ifade edilmektedir. Valle vd. (2016); çalışmalarında bütünsel bir sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için tamsayı programlama matematiksel modeli önermekte ve bu problemi dal ve kesme yöntemi ile çözümlenmektedir. Yazarlar çalışmada, kısmen halka açık gerçek dünya verileri üzerinden test verileri oluşturmuşlardır. Aynı yazarlar bir başka çalışmalarında ise gene sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemini matematiksel olarak formüle etmekte, önemli sayıda geçerli eşitsizlik önermekte ve bu eşitsizliklerin sonuçları iyileştirdiğini ispat etmektedir (Valle vd., 2017).

Briant vd. (2020), sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için doğrusal matematiksel model geliştirmekte ve bütünlük bu probleminin çözümü için sütun oluşturma yöntemini önermektedir. 2 ayrı veri seti üzerinde uygulanan bu yöntemin etkili olduğu yazarlar tarafından ispat edilmektedir.

4.2.3. Metasezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar

Hsu vd. (2005), sipariş gruplama problemi için genetik algoritma yaklaşımı geliştirmekte, toplayıcının ürüne gittiği düşük seviyeli ve yüksek seviyeli sistemlerde farklı örnekler üzerinde gezinme mesafesini enküçüklemeyi amaçlayan bu problemi çözümlenmektedir. Yazarlar, çalışmalarının sonucunda ise önerilen yaklaşımın gezinme mesafesi açısından kaliteli çözümlere ulaştığını ifade etmektedir. Albareda-Sambola vd. (2009), çalışmalarında sipariş gruplama problemini değişken komşu arama algoritması önererek, 4 farklı depo tipi için çözümlenmektedir. Yazarlar, elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin rekabetçi olduğunu ve pratikte kullanılabilecek uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Henn vd. (2010), çalışmalarında sipariş gruplama problemi için ardışık temelli yerel arama ve karınca kolonisi optimizasyonu yöntemlerini önermektedir. Yazarlar, 2 farklı rotalama stratejileri ile elde ettikleri sonuçları, literatürdeki farklı çalışmalarla kıyaslamakta ve ardışık temelli yerel arama algoritmasının, karınca kolonisi optimizasyonuna göre daha kısa sürede sonuçlandığını ifade etmektedir. Henn ve Wascher (2012), çalışmalarında sipariş gruplama problemini her rota için toplama mesafesini enküçükleyecek şekilde tabu araması ve davranış temelli tepe tırmanışı

(attribute-based hill climber) algoritmalarını önermektedir. Önerilen yöntemlerin sonuçları, literatürdeki yöntemlerle karşılaştırılmakta ve bu yöntemlerin mevcut yöntemlerden daha üstün olduğu ve depolarda daha verimli çalışılmasına olanak sağladığı gösterilmektedir. Henn (2012), bir diğer çalışmasında ise dinamik (online) sipariş gruplama problemi için iki rotalama stratejisinde uyguladığı İlk Gelen İlk Hizmet Görür (First-Come-First-Served), Clarke ve Wright ile ardışık temelli yerel arama algoritmalarını önermektedir. Yazar aynı zamanda, bu çalışmasında sipariş gruplama problemi için kullanılan algoritmaların dinamik sipariş gruplama problemi için nasıl uygulanabileceğini göstermektedir.

Kulak vd. (2012), sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için tabu arama ve kümelemeye dayanan çekirdek algoritma önermekte, 2 farklı depo tipinde problemi, algoritmalar aracılığıyla çözümlemektedir. Azadnia vd. (2013), çalışmalarında sipariş gruplama problemi için karma bir yaklaşım geliştirmektedir. Yazarlar, önce müşteri siparişlerini kümelemek için ağırlıklı bir ilişkilendirme kuralı madenciliği yaklaşımı, sonrasında grupları oluşturmak için 0-1 tamsayılı programlama modeli ve son olarak toplayıcı rotalama için bir genetik algoritma kullanmışlardır. Henn ve Schmid (2013) çalışmalarında, sipariş gruplama ve sıralama problemi için bir tabu arama prensibine dayanan özellik esaslı tepe tırmanma algoritması ve ardışık temelli yerel arama algoritması önermektedir. Yazarlar, bu problemin, S şekil sezgiseli ve en büyük boşluk sezgiseli ile çözüldüğünde çözümlerin, standart yapıcı sezgiseller ile kıyaslandığı zaman ortalama olarak büyük ölçüde iyileştirilmiş olduğunu ifade etmektedir. Öncan (2013), çalışmasında S şekilli ve geri dönüş rotalama sezgisellerini göz önünde bulundurarak sipariş gruplama problemi için bir genetik algoritma önermiştir. Önerilen yöntem, rassal oluşturulmuş örnekler üzerinde test edilmiştir ve tasarruf algoritması ile karşılaştırılmıştır.

Matusiak vd. (2014), sipariş gruplama problemi ve toplayıcı rotalama problemini ayrı ayrı sezgiseller ile çözmektedir. Sipariş gruplama problemi için öncelik kısıtlı gruplama uygulanmaktadır. Bu çalışmada yazarlar, sipariş gruplama problemi için tavlama benzetimi algoritmasını, toplayıcı rotalama problemi için ise, literatüre Hart vd. (1968) tarafından kazandırılan A* algoritmasını önermektedir. Chen vd. (2015), sipariş gruplama sıralama ve toplayıcı rotalama problemini eş zamanlı çözmek için müşteri siparişlerinin gecikmesini enküçüklemeyi amaçlayan bir doğrusal olmayan matematiksel

model geliştirmektedir. Bu modelin çözümlü için ise genetik algoritmalar ve karınca kolonisi optimizasyonu algoritmalarını karma olarak kullanmaktadır. Yazarlar, sonuçların literatürdeki bazı algoritmalarla kıyaslandığında çalışmada kullanılan karma algoritmanın avantajlı olduğunu belirtmektedir.

Cheng vd. (2015) çalışmalarında sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama için parçacık sürü optimizasyonu ve karınca kolonisi optimizasyon algoritmaları ile karma bir algoritma önermektedir. Yazarlar, sipariş gruplamada en az gezinme mesafesine ulaşabilmek için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını, her grubun en etkili yolu bulabilmesi için ise karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasını gerçek veriler üzerinde kullanmışlardır. Bu çalışmada, deneysel sonuçların; karma algoritmanın, bilinen optimal çözüm ve mevcut uygulamalara kıyasla hem çözüm kalitesi hem de hesaplama verimliliği açısından daha etkili olduğu ifade edilmektedir.

Henn (2015) çalışmasında, sipariş gruplama ve sıralama problemi için, amacı müşteri siparişlerinin toplam gecikmelerini enküçükmek olan bir matematiksel model geliştirmekte, problemin çözümü için ise değişken komşu azalan ve komşuluk arama algoritmalarını önermektedir. Öncan (2015) çalışmasında, sipariş gruplama problemi için S şekilli, geri dönüşlü ve orta nokta rotalama stratejilerine göre karma tamsayılı programlama formülasyonu geliştirmekte, problemin çözümü için tabu eşiği ile tekrarlı yerel arama algoritması önermektedir. Çalışmada belirtilen sonuçlara göre ise, önerilen algoritma hem doğruluk hem de verimlilik açısından oldukça etkili bir performans göstermektedir.

Pan vd. (2015) çalışmalarında; her bir toplama bölgesinin iş yükünü dengelemek ve sistem performansını iyileştirmek amacıyla grup sayısını enküçükmek için grup genetik algoritma temelli bir sipariş gruplama yaklaşımı önermektedir. Önerilen bu algoritmayı uygulamak ve farklı gruplama politikaları için verimi karşılaştırmak için FlexSim tabanlı bir simülasyon modeli kullanılmaktadır. Lin vd. (2016), sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için parçacık sürü optimizasyonu algoritması geliştirmektedir. Çalışmanın sonucunda ise, gerçek veriler üzerinde uygulanan bu çözüm yönteminin uygun parametre değerlerine göre kaliteli sonuçları ürettiği ifade edilmektedir.

Koch ve Wascher (2016), çalışmalarında sipariş gruplama problemi için bir gruplama genetik algoritması önermektedir. Çalışmanın sonucunda, grup odaklı kodlama şemasına dayanan yeni bir genetik algoritmanın, sipariş gruplama problemi için tercih edilebilir olduğu ve algoritmanın makul hesaplama sürelerinde yüksek kaliteli çözümler sunduğu gösterilmektedir. Menendez vd. (2017a), sipariş gruplama problemi için değişken komşuluk arama algoritmasını önermektedir. Menendez vd. (2017b), başka bir çalışmada ise; sipariş gruplama ve sıralama probleminin çözümü için değişken komşuluk arama algoritması önermektedir. Yazarlar, çözümleri literatürdeki farklı örneklerle kıyasladığında algoritmanın hem kalite hem de hesaplama süresinde daha iyi olduğunu ifade etmektedir.

Li vd. (2017), bütünleşik sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için toplam gezinme süresini enküçükleyen bir tamsayılı programlama formülasyonu geliştirmekte, bu problemin çözümü için ise yerel arama ile geliştirilmiş bir karınca kolonisi optimizasyonu algoritması önermektedir. Çin’de bir perakendede gerçek veriler üzerinde uygulaması yapılmakta ve sonuçlar, önerilen ortak optimizasyon algoritmasının çeşitli sipariş boyutları ve sipariş yapılarında potansiyel avantajlara sahip olduğunu göstermektedir.

Matusiak vd. (2017), bütünsel bir sipariş gruplama ve genelleştirilmiş atama problemi için bir matematiksel model geliştirmektedir. Bu çalışmada, yöntem iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, grup toplama süreleri geçmiş grupların özelliklerine dayanarak tahmin edilmekte, ikinci bölümde bu bütünleşik problem için uyarlanabilir geniş komşuluk arama algoritması önerilmektedir. Çalışmada, aynı zamanda yöneticilerin karar verme sürecinde çalışanların beceri ve yeteneklerini göz önünde bulundurmaları gerektiği de vurgulanmaktadır. Scholz vd. (2017) çalışmalarında, eş zamanlı sipariş gruplama, grup atama ve sıralama, toplayıcı rotalama problemleri için matematiksel model geliştirmekte, oluşturulan bu problemin çözümü için değişken komşu azalan algoritmasını önermektedir.

Scholz ve Wascher (2017), başka bir çalışmalarında ise, sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için ardışık temelli yerel arama algoritması önermekte, uygulanan çözüm sonrasında ise sonuçların, algoritma kullanılmadan yapılan çözümle kıyaslandığında algoritma kullanılarak daha iyi sonuçlara ulaşıldığını ifade etmektedir. Mutingi ve Mbohwa (2017) çalışmalarında, sipariş gruplama problemi için karma

gruplama genetik algoritma yaklaşımı önermektedir. Yazarlar çalışma sonucunda, literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında bu yöntemin daha iyi çözümler sağlayabildiğini ifade etmektedir.

Zhao ve Yang (2017) çalışmalarında, sipariş gruplama problemi için tabu arama algoritması önermektedir. Problem, gerçek bir e-ticaret şirketinin deposundan alınan verilerle, önerilen algoritma ile çözülmüş ve sonuçların mevcut uygulanan operasyonlarla karşılaştırıldığında, önerilen algoritmanın sipariş toplama verimliliğini büyük ölçüde artırabileceği ifade edilmektedir. Žulj vd. (2018), sipariş gruplama problemi için karma bir uyarlanabilir geniş komşuluk arama ve tabu arama algoritması geliştirmektedir. Yazarlar, geliştirilen bu algoritmayı 600 siparişe kadar olan örnekler için çözümlemekte ve etkili bir çözüme ulaştıklarını ifade etmektedir.

Xiang vd. (2018), çalışmalarında stok atama problemi ve sipariş gruplama problemi için karma tamsayılı matematiksel model geliştirmektedir. Yazarlar problemi Kiva mobil iknal sisteminde, değişken komşuluk arama algoritması ile çözümlemektedir. Bu problemin birinci aşaması olan stok atama probleminin amacı, bölmelerdeki ürün benzerliklerini artırmak, problemin ikinci aşaması olan sipariş gruplama probleminin amacı ise, bölmelerin ziyaret sayısını enküçükmektir. Çalışmada sonuç olarak önerilen algoritmanın, orta ve büyük problemler için genetik algoritmaya kıyasla hem çözüm kalitesi hem de çözüm zamanı üzerinde iyi bir performansa sahip olduğu ifade edilmektedir. Nicolas vd. (2018), sipariş gruplama problemini otomatik toplama sistemlerinde çalışmaktadır. Yazarlar problemin çözümü için, amacı siparişlerin toplanmasında gerekli olan süreyi enküçükmek olan bir tavlama benzetimi yaklaşımı geliştirmekte ve iki farklı firmanın verileri üzerinde problemi, önerilen algoritma aracılığı ile çözümlemektedir.

Hojaghani vd. (2019a) tarafından yapılan çalışmada; bir bölgesel toplama stratejisinde dinamik sipariş gruplama problemi için yeni bir doğrusal olmayan matematiksel model geliştirilmiş ve bu problem yapay arı kolonisi ve karınca kolonisi algoritmaları ile gerçek veriler kullanılarak çözülmektedir. Çalışmada, sonuçların Zhang vd. (2017) çalışmalarındaki sonuçla kıyaslandığında ortalama müşteri siparişleri yanıt süresinde önemli bir azalma ile daha iyi bir performans gösterdiği ve aynı zamanda karınca kolonisi algoritmasının yapay arı kolonisi algoritmasından daha iyi sonuç verdiği ifade edilmektedir. Hojaghani vd. (2019b), başka bir çalışmada; toplama operatörünün

blok başına boşa kalma sürelerinin toplam miktarı ile siparişlerin en yüksek dönüş süresi toplamını enküçüklemeyi amaçlayan dinamik sipariş gruplama problemi için bir model geliştirmekte ve bu modeli öğretme-öğrenme tabanlı en iyileme algoritması ile bloklu ve bloksuz depo tipleri için çözmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, depo bloklama sisteminin depo siparişlerinin dönüş süresini ve boşa kalma süresini azaltmada önemli etkisi olduğu ifade edilmektedir.

Pinto ve Nagano (2019), çalışmalarında sipariş gruplama ve sıralama problemi için genetik algoritma yaklaşımı önermektedir. Gil-Borrás vd. (2109) çalışmalarında, sipariş gruplama problemi için birden fazla toplayıcının bulunduğu problemi, iki farklı rotalama stratejisi ile çözmek için farklı çeşitleri olan komşuluk arama algoritmasını önermektedir. Ardjmand vd. (2019) çalışmalarında, sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için bir matematiksel model önermekte ve küçük ve büyük boyuttaki rassal üretilen veriler ile problemin çözümü için genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritmaları önermektedir. Pei vd. (2019), çalışmalarında sipariş gruplama problemi için bir matematiksel model önermekte ve modelin çözümü için değişken komşu arama algoritması geliştirmektedir.

Kuhn vd. (2020) çalışmalarında, sipariş gruplama ve araç rotalama problemini bütünleşik olarak oluşturmaktadır. Gerçek verilerin kullanıldığı bu çalışmada, problemin amaç fonksiyonu tüm siparişlerin gecikmelerini enküçüklemek olan bir matematiksel modeli geliştirilmekte, çözümü için ise uyarlanabilir geniş komşuluk arama algoritması önerilmektedir.

Gil-Borrás vd. (2021) çalışmalarında, dinamik sipariş gruplama problemini 3 farklı amaç fonksiyonu ile çalışmaktadır. Bu amaç fonksiyonları; tamamlama süresini enküçüklemek, toplama süresini enküçüklemek ve toplayıcılar arasındaki iş yükü farkını enküçüklemektir. Çalışmada problemin çözümü için değişken komşu azalan algoritması önerilmektedir. Çalışma sonucunda, sayısal analizlerin elde edilen sonuçları doğruladığı ve algoritmanın iyi bir performans gösterdiği ifade edilmektedir.

Aerts vd. (2021) çalışmalarında, sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi, kümelenmiş bir araç rotalama problemi olarak modellemektedir. Çalışmada, bu küme tabanlı modelin çözülmesi için iki seviyeli değişken komşuluk arama algoritması önerilmektedir.

Wagner ve Mönch (2022) çalışmalarında, sipariş gruplama problemi için tüm siparişleri toplamak için sipariş toplayıcı turlarının mesafelerini enküçüklemeye çalışan bir matematiksel model önermektedir. Çalışmada ilgili problemin çözümü için değişken komşuluk arama algoritması önerilmektedir. Çalışmanın sonuçları olarak ise, önerilen algoritmanın literatürdeki yöntemlere kıyasla iyi bir performans gösterdiği belirtilmektedir.

4.2.4. Sezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar

Elsayed ve Unal (1989), sipariş gruplama problemi üzerine gezinme süresini enküçüklemeye çalışan sezgisel algoritmalar geliştirmektedir. Hwang ve Lee (1988), sipariş gruplama probleminde gezinme süresini enküçüklemeyi amaçlayan bir kümeleme algoritması geliştirmektedir. Gibson ve Sharp (1992b) çalışmalarında sipariş gruplama problemi için sezgisel algoritma önermekte ve stok atama politikalarını da göz önünde bulundurarak problemi çözmektedir.

Pan ve Liu (1995) çalışmalarında, dört çekirdek seçme kuralından ve dört sipariş ekleme kuralından oluşan sipariş gruplama algoritmalarını karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Ayrıca yazarlar bu çalışmada, algoritmaların performanslarını şekil faktörü, taşıyıcı araç kapasitesi ve stok atama politikasının üç boyutu ile karşılaştırmaktadır. Rosenwein (1996) çalışmasında, sipariş gruplama problemi için siparişlerin seçimi konusunda farklı mesafe ölçümleri kullanan bir algoritma önermektedir. Koster vd. (1999) çalışmalarında, tasarruf algoritmaları ile çekirdek algoritması ve ilk giren ilk hizmet görür algoritmasını karşılaştırmaktadır. Yazarlar, çalışma sonucunda çekirdek algoritma yöntemlerinin, yüksek kapasiteli toplayıcı araçlarla ve S şekilli yöntem ile en iyi performansı sağladığını, tasarruf algoritmalarının ise düşük kapasiteli toplayıcı araçlarla ve en büyük boşluk yöntemiyle en iyi performansı sergilediğini ifade etmektedir.

Won ve Olafsson (2005) çalışmalarında, sipariş gruplama ve sıralama problemi için bir matematiksel model geliştirmekte ve amaç fonksiyonu grupların toplam toplama zamanının ağırlıklı ortalamasını ve siparişlerin gruptaki bekleme süresini enküçüklemek olan bu modelin çözümü için iki sezgisel algoritma önermektedir. Zhang vd. (2016) çalışmalarında, bütünleşik dinamik sipariş gruplama ve dağıtım çizelgeleme problemini incelemektedir. Yazarlar, bir matematiksel model geliştirerek, yeni kurallara dayanan bir çözüm önermektedir. Ayrıca, çözümler hangi siparişlerin acil olduğunu ve doğrudan alınacağını ve hangilerinin daha sonra karşılanabileceğini tanımlamaktadır.

Hong vd. (2017) çalışmalarında, S-şekilli rotalama stratejisi ile sipariş gruplama problemini incelemektedir. Problemin çözümünde S-şekilli rotalar için bir rota seti tanımlanmakta ve siparişleri partilere bölerken, önceden tanımlanmış S şekil yollarından gruplar için en uygun rota oluşturulmaktadır. Yazarlar, ayrıca rota seçerek sipariş gruplama problemi için toplayıcı rotalarının toplam mesafelerini enküçüklemeyi amaçlayan bir model önermektedir. Pferschy ve Schauer (2018) çalışmalarında, sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemi için bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Yazarlar önerdikleri bu algoritmayı gerçek hayat verileri üzerinde uygulamaktadır.

Bue vd. (2019), bir hazır giyim şirketinin gerçek verileri üzerinde bütünleşik sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemini çalışmaktadır. Büyük boyutlu örnekleri kolaylıkla çözebilmek için, iki aşamalı bir sezgisel algoritma önerilmektedir. Aboelfotoh vd. (2019) çalışmalarında, sipariş gruplama problemi için bir matematiksel model geliştirmektedir. Yazarlar, büyük ölçekli örneklerin çözümleri için bir sezgisel algoritma önermektedir. Alipour vd. (2020) çalışmalarında, dinamik sipariş gruplama problemi için bir matematiksel model geliştirmekte, çözümü için ise kural tabanlı sezgisel algoritma önermektedir.

4.2.5. Diğer yöntemleri kullanan çalışmalar

Elsayed vd. (1993), sipariş gruplama ve sıralama problemi için AS/RS deposunda erken ve gecikme cezalarını enküçüklemeye çalışan bir sezgisel algoritma geliştirmektedir. Pan vd. (2011) çalışmalarında, sipariş toplama sistemindeki ortalama sipariş verim süresi üzerinde sipariş gruplama ve toplamayı analiz etmek için olasılık ve kuyruk ağ teorisine dayalı bir analitik yaklaşım modeli önermektedir. Ayrıca ortaya çıkan modelin, sipariş toplama sistemlerinin tasarım ve seçim sürecinde kolayca uygulanabileceğini ifade etmektedir.

Le-Duc ve Koster (2007) çalışmalarında, siparişlerin depoya bir poisson süreciyle geldiğini varsayarak ve sipariş toplayıcıların rotalanması için S-şekil sezgiselini kullanarak sipariş gruplama problemini simülasyon yöntemi ile çözmektedir. Elde edilen sonuçlar bu yaklaşımın yüksek doğruluk seviyesi sağladığını göstermektedir. Yu ve Koster (2009) çalışmalarında, sipariş gruplamanın, sipariş toplama içerisindeki ortalama sipariş verim süresi üzerindeki etkisini analiz etmek için kuyruk ağ teorisine dayanan bir model önermektedir. Bilgiler ışığında sipariş toplama sistemindeki rassal bir siparişin ortalama üretim süresi elde edilmektedir. Yazarlar çalışmada, gerçek bir uygulama ve simülasyondan elde edilen sonuçların, oluşturulan modelin kabul edilebilir doğruluk

sağladığını ve önerilen yöntemin basit ve hızlı olması nedeniyle sipariş toplama sistemlerinin tasarım ve seçim sürecinde kolayca uygulanabileceğini ifade etmektedir.

Zuniga vd. (2015) çalışmalarında, sipariş gruplama problemi için optimizasyon ve simülasyon ile karma bir algoritma oluşturmaktadır. Optimizasyon algoritması, simülasyon modelini besleyen bazı deterministik parametrelerin başlangıç çözümünü üretmektedir.

Chen ve Wu (2005) çalışmalarında, veri madenciliği ve tamsayılı programlamaya dayanan bir yaklaşım geliştirmektedir. 0-1 tamsayılı programlamaya dayanan bu çözüm yaklaşımı, her grup içerisindeki siparişler arasındaki bağlantıyı artırmaya çalışmaktadır. Hwang ve Kim (2005) çalışmalarında, toplam gezinme süresi ve oluşturulan grup sayısı açısından sipariş gruplama problemini değerlendirmekte ve kümeleme analizine dayanan bir algoritma geliştirmektedir. Bu algoritmada, rotalama stratejisi olarak S şekilli, geri dönüş ve orta nokta sezgiselleri kullanılmaktadır. Yazarlar tarafından geliştirilen bu algoritma literatürdeki algoritmalarla karşılaştırılmakta ve sipariş sayısı 20'den fazla olduğu durumlarda algoritmanın daha üstün geldiği, sipariş sayısı 20'den az olduğu durumlarda ise çekirdek algoritmanın daha üstün geldiği ifade edilmektedir.

Ho vd. (2006) çalışmalarında, sipariş gruplama problemi için çekirdek sipariş seçim kuralları ve sipariş ekleme kuralları göz önünde bulundurularak gruplama yöntemleri oluşturmaktadır. Bu yöntemlerin çözümlerinde ise bazı kurallar iki farklı rotalama stratejisi uygulanmaktadır. Ho vd. (2008), bir diğer çalışmalarında ise, bir önceki çalışma ile paralel bir şekilde 14 çekirdek sipariş seçim kuralı ve sipariş ekleme kurallarının verimliliğini incelemektedir. Aynı şekilde, sonuçlar, en etkili kurallar kombinasyonunu bulmak için ANOVA ile analiz edilmektedir.

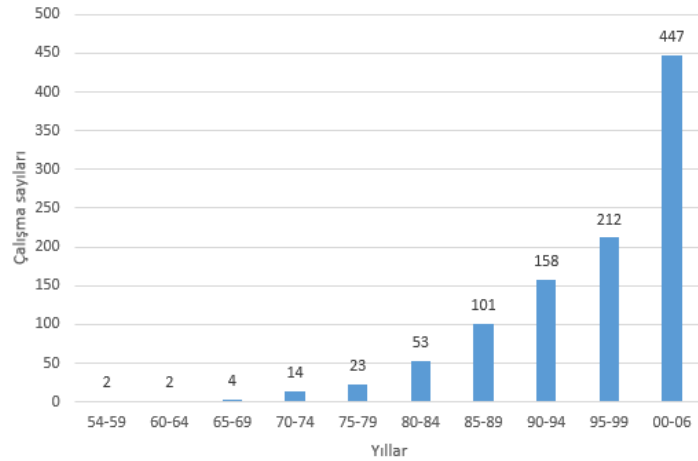
4.3. Araç Rotalama Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Daha önce de belirtildiği gibi literatürde araç rotalama problemi ile ilgili oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Mevcut kaynaklar içerisinde detaylı yayın analizi yapan çalışmalar da ayrıca mevcuttur (Braekers vd., 2016; Eksioglu vd., 2009; Konstantakopoulos vd., 2020; Kumar ve Panneerselvam, 2012; Laporte, 2009; Sharma vd., 2018; Toth ve Vigo, 2002; Zhu vd., 2001). Bu çalışmaların hepsi bu tez kapsamında araştırılmamakta olup yalnızca bir kısmı incelenmektedir.

4.3.1. Çalışmaların sınıflandırılması

Araç rotalama problemi, literatürde ilk kez Dantzing ve Ramser (1959) tarafından çalışılmaktadır. Bu çalışmada yakıt istasyonlarına yakıt dağıtma problemi üzerinde durulmakta ve problem “Kamyon Dağıtım Problemi” olarak adlandırılmaktadır. “Araç Rotalama” başlığı ile yayınlanmış olan literatürdeki ilk çalışma ise Golden vd. (1977) tarafından yapılmaktadır. Böylelikle bu çalışma ile, araç rotalama problemi literatüre kazandırılmaktadır.

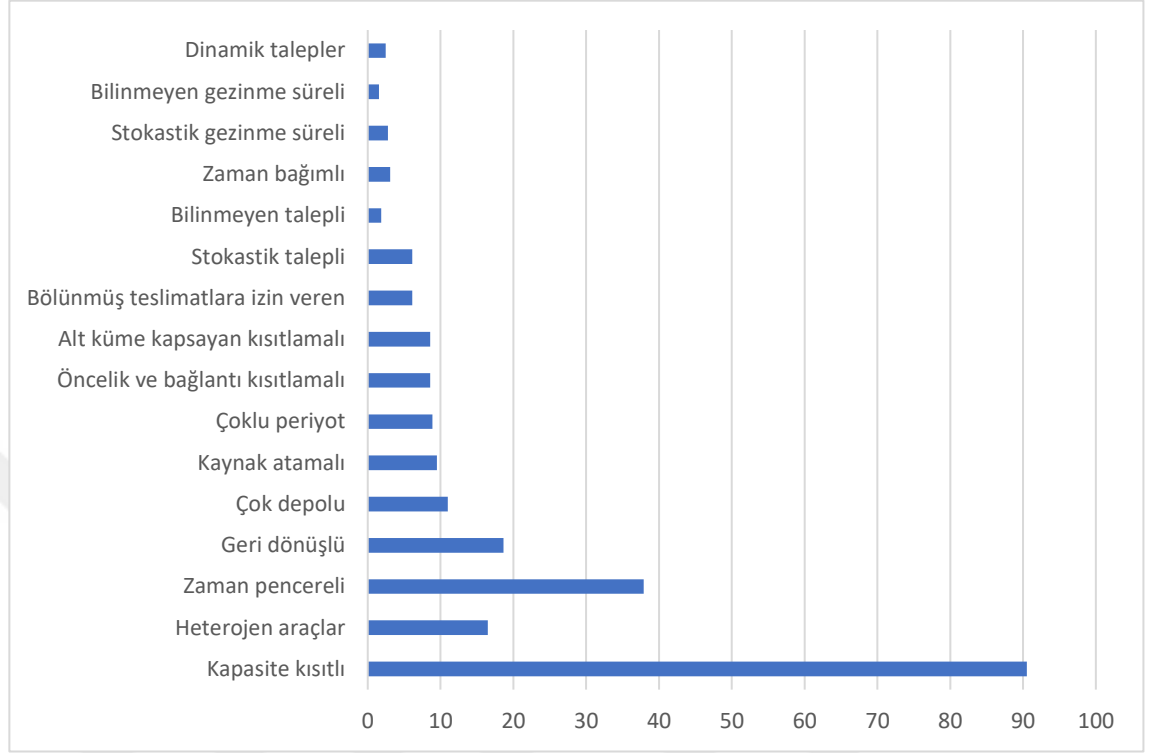
Araç rotalama problemi ile ilgili kaynak analizi yapan çalışmalar incelendiği zaman bu kaynaklar içerisinde bazı bulgulara ulaşılmaktadır. Örnek olarak 1954-2006 yılları arasındaki çalışma sayıları Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Buna göre 1954-1959 yılları arasında bu problemi literatüre ekleme çalışmaları olarak iki çalışma yayınlanmış, bunun ardından yıllar boyunca çalışma sayısı grafikte gösterildiği üzere artış göstermektedir (Ekşioğlu vd., 2009).



Şekil 4.7. 1954-2006 yılları arasındaki çalışma sayıları (Ekşioğlu vd., 2009)

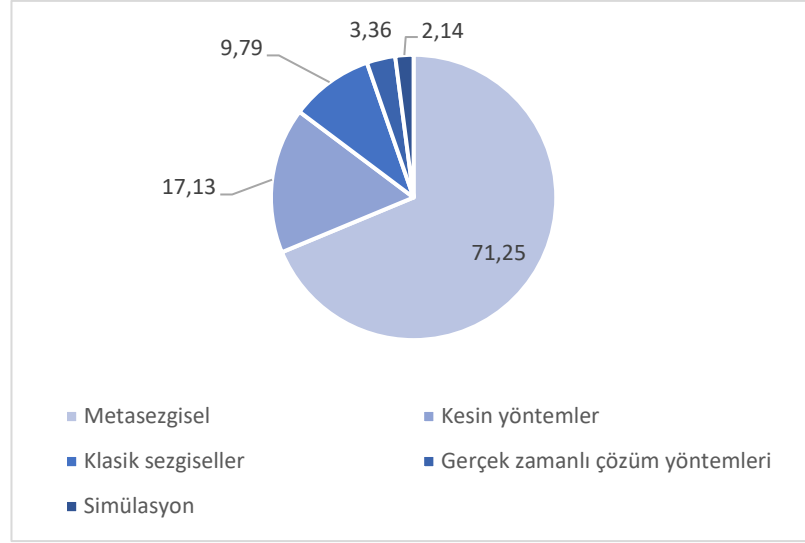
2009-2015 yılları arasındaki araç rotalama problemi ile ilgili problem tiplerini gösteren çalışmalar Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Buna göre en çok çalışılan araç rotalama problemi tipi kapasite kısıtlı araç rotalama problemi iken, ikinci olarak en çok

Çalışılan problem tipi zaman pencereli araç rotalama problemidir. Bu problem tipleri birbirleri ile bütünleşik olarak da çalışılabilmektedir (Braekers vd., 2016).



Şekil 4.8. 2009-2015 yılları arasında çalışılan problem tipleri (Braekers vd., 2016)

2009-2015 yılları arasındaki çalışmalarda, araç rotalama probleminin nasıl özmlendikleri analiz edildiğı zaman Şekil 4.9’da gösterilen grafiğıe ulaşılmaktadır. Buna göre 2009-2015 yılları arasında en çok metasezgisel çözüm yöntemleri kullanılmakta olup, ikinci olarak kesin çözüm yöntemleri kullanılmaktadır. Bu sırayı ise devamında sezgisel yöntemler takip etmektedir (Braekers vd., 2016).



Şekil 4.9. 2009-2015 yılları arasında çalışılan çözüm yöntemleri (Braekers vd, 2016)

4.3.2. Kesin çözüm yöntemlerini kullanan çalışmalar

Behnke vd. (2020) çalışmalarında, heterojen araçlar ve heterojen bir yol ve trafik ağı ile emisyonu enküçüklemeyi amaçlayan bir araç rotalama problemini ele almaktadır. Bu çalışmada yazarlar, bu problemin çözümü için sütun oluşturma yaklaşımını önermektedir. Aynı zamanda, sütun oluşturma yöntemini bir sezgisel ve dal-fiyat algoritması içerisinde kullanmaktadır. Çalışmanın sonuçlarında ise, sezgisel yöntemin çok etkili olduğu ifade edilmektedir.

Paradiso vd. (2020) çalışmalarında, araç rotalama problemi için yeni bir kesin çözüm yöntemi geliştirmektedir. Kesin çözüm yöntemi, üstel sayıda değişken ve kısıtlamaya sahip yeni bir formülasyona dayanmaktadır. Ayrıca, sütun oluşturma, sütun numaralandırma ve kesme düzlemine dayanmaktadır. Çalışmada, bu çözüm çerçevesinin, 50'ye kadar müşterisi olan örnekleri çözebildiğini ve literatürdeki en son yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği ifade edilmektedir.

Almoustafa vd. (2013) çalışmalarında, asimetric mesafe kısıtlı araç rotalama problemini çözmek için eski bir dal-sınır yöntemini bazı eklemeler ile geliştirmektedir. Bu değişiklik, mesafe kısıtlı araç rotalama problemini gezgin satıcı problemine yeniden formüle etmeye ve atama problemini bir alt sınır prosedürü olarak kullanmaya dayanmaktadır. Çalışmada geliştirilen yöntemin, basitliğine rağmen, literatürde çözülmüş en büyük örnekleri çözme yeteneğine sahip olduğu ifade edilmektedir.

Gutiérrez-Jarpa vd. (2010), zaman pencereli araç rotalama problemini çözmek için kesin bir dal-ve-fiyat algoritması önermektedir. Bu yöntem, sütun oluşturma

karmaşık kısıtlamaları ve zamana bağlı maliyetleri barındırabilen esnek bir çerçeve sağlamaktadır.

Azi vd. (2010), zaman pencereli araç rotalama ve çizelgeleme problemi için kolon üretimi tabanlı yeni bir optimizasyon yaklaşımı önermektedir. Kaynak kısıtlamaları ve geç varış cezaları ile temel en kısa yol problemi bir alt problem olarak çözülmektedir. Bu süreçte, Dantzig-Wolfe ayrıştırma yöntemi kullanılmaktadır (Azi vd., 2010).

Mingozzi ve ark. (2013) çalışmalarında, müşteri zaman penceresi kısıtlamaları ve her araç için sınırsız sürüş süresi olan çok yollu araç rotalama problemi için bir kesin algoritma önerilmektedir. Çalışma içerisinde problemi temsil eden küme bölümlene benzeri iki formülasyonun tanımlanmaktadır. İlk formülasyon, tüm uygulanabilir yolların oluşturulmasını gerektirirken, ikinci formülasyon, tüm uygulanabilir programların oluşturulmasına dayanmaktadır. Hesaplama sonuçları, önerilen kesin algoritmanın, 120 müşteriye kadar örneklerini çözebileceğini göstermektedir.

Yuan vd. (2021) çalışmalarında, zaman pencereli araç rotalama için, sütun oluşturma tabanlı bir yöntem sağlamak için kullanılan bazı formülasyonlar sunmaktadır. Önerilen çözüm yöntemi, bir rota optimizasyon prosedürü, yerel arama operatörleri ve negatif azaltılmış maliyetli rotaların oluşturulması dahil olmak üzere çeşitli bileşenleri birleştirmektedir. Kıyaslama örnekleri üzerindeki deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın verimli olduğunu ve 120 kümeye kadar örnekler için kısa hesaplama sürelerinde yüksek kaliteli çözümler elde edildiğini göstermektedir.

Glize vd. (2022) çalışmalarında, iki amaçlı araç rotalama problemi için sütun oluşturma tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Ayrıca, oluşturulan algoritmayı önemli ölçüde hızlandırmak için mekanizmalar ve teknikler gösterilmektedir. Hesaplamalı deneyler iki problem üzerinde gerçekleştirilmektedir. İlk problemde, önerilen mekanizmaların etkinliği gösterilmekte; ikinci problemde ise, algoritmanın literatürdeki algoritmalarla rekabet halinde olduğu ifade edilmektedir.

4.3.3. Metasezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar

Baker ve Ayechev (2003), çalışmalarında kapasite kısıtı ve bazı durumlarda kat edilen mesafe sınırlaması olan araç rotalama probleminin çözümü için genetik algoritma yaklaşımı önermektedir. Yazarlar bu çalışmada, genetik algoritmayı komşuluk arama yöntemi ile birleştirmektedir. Uygulama sonuçlarında, önerilen yaklaşımın, çözüm süresi ve kalitesi açısından tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmaları ile rekabet edilebildiği ifade edilmektedir.

Bell ve McMullen (2004) çalışmalarında, araç rotalama probleminin çözümü için karınca kolonisi algoritması önermektedir. Bu çalışmadaki deneyler, algoritmanın bilinen optimal çözümlerin %1'i içinde çözüm bulmada başarılı olduğunu ve çoklu karınca kolonisi kullanımının, özellikle daha büyük problemler için nispeten rekabetçi bir çözüm tekniği sağladığını göstermektedir.

Psinger ve Ropke (2007) çalışmalarında, araç rotalama probleminin beş farklı çeşidini çözebilen birleştirilmiş bir yöntem önermektedir. Çalışmada, tüm problem çeşitleri bir toplama ve teslimat modeline dönüştürülmekte ve uyarlanabilir büyük komşuluk arama algoritması yardımı ile çözülmektedir. Literatürdeki test problemleri ile çözülen başka çalışmalar ile çözümler karşılaştırılmakta ve sonuçların umut verici olduğu belirtilmektedir.

Poonthalir ve Nadrajan (2018) çalışmalarında, değişken hız sınırlaması olan, iki amaçlı yeşil araç rotalama problemi için hedef programlamayı kullanarak hem rota maliyetini hem de yakıt tüketimini enküçükleyecek şekilde bir model oluşturmaktadır. Çözüm için parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılmaktadır. Çalışmada, sabit ve değişken hız ortamında en az yakıt tüketimi ile daha iyi bir rota planı yapılabileceği ifade edilmektedir.

Zhao vd. (2019) çalışmalarında, zaman bağımlı ve zaman pencereli araç rotalama problemi için amacı, toplam nakliye maliyetlerini ve zaman maliyetlerini enküçüklemek olan iki amaçlı bir karma tamsayılı doğrusal matematiksel model geliştirmektedir. Bu problemin çözümü için ise genetik algoritma yaklaşımı önerilmektedir. Çalışma sonucunda ise, algoritmanın güvenilir olduğu ifade edilmektedir.

Song vd. (2020) çalışmalarında, her müşterinin zaman penceresi olan, farklı araç türleri ve farklı enerji tüketimleri olan bir araç rotalama problemi çalışmaktadır. Problemdeki amaç, sabit maliyet ve enerji tüketimleri dahil olmak üzere toplam maliyeti enküçüklemektir. Problemin çözümü için geliştirilmiş yapay balık sürüsü algoritması önerilmektedir. Çözümü iyileştirmek için iki farklı sezgisel yöntem oluşturulmakta ve sorunu gerçeğe yakın hale getirmek için müşteri memnuniyeti buluşsal yöntemi önerilen algoritmaya dahil edilmektedir. Çalışmanın sonucunda ise, önerilen algoritmanın rekabetçi bir performansı olduğu ifade edilmektedir.

Ghoseiri ve Ghannadpour (2010), araç rotalama problemini hem toplam seyahat mesafesinin hem de araç sayısının enküçüklenmesi gereken çok amaçlı bir problem olarak ele almaktadır. Çalışmada, Pareto sıralama sürecini uygulayan bir genetik

algoritma önerilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, toplam araç sayısı veya toplam kat edilen mesafe için olası önyargılı çözümler önlenmektedir.

Napela vd., (2016) zaman pencereli araç rotalama problemi için uyarlanabilir bir memetik algoritma önermektedir. Seçim şeması, popülasyon boyutu ve her bir ebeveyn çifti için oluşturulan alt çözümlerin sayısı gibi algoritma parametreleri, arama sırasında dinamik olarak ayarlanmaktadır.

Balseiro vd. (2011), araçların zaman pencereleri ile ilgili olarak bir dizi müşteriye mal teslim etmesi gerektiği, iki nokta arasındaki seyahat süresinin hareket saatine bağlı olduğu zaman bağımlı zaman pencereli bir araç rotalama problemi çözmektedir. Çalışmada, yerleştirme arama yöntemleriyle entegre edilmiş bir karınca kolonisi algoritması önerilmektedir. Ayrıca, karıncalar yönlendirilmemiş müşterilerle çözümler ürettiğinden, müşterileri çözüme dahil etmek için ekleme sezgiselleri de geliştirilmektedir.

Göksal vd. (2013) topla dağıt araç rotalama problemini çözmek için parçacık sürü algoritması ve değişken komşuluk azalan tabanlı bir karma algoritma geliştirmektedir. Parçacık sürü algoritması, çözümleri geliştirmek için yerel bir arama prosedürü olarak komşuluk arama algoritmalarını kullanmaktadır.

Repoussis vd. (2010) çalışmalarında açık uçlu araç rotalama problemi için, yerel arama sürecini yönlendirmek ve çözüm uzayını keşfetmek için tabu arama ve yerel arama gibi evrimsel algoritmaların temel çözüm çerçevesinden ve bellek tabanlı yörünge yerel arama algoritmalarından oluşan popülasyon tabanlı bir karma metasezgisel geliştirmektedir. MirHassani ve Abolghasemi (2011), açık uçlu araç rotalama problemi için bir parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasının yanı sıra müşterileri rotalara atamak için özel bir kod çözme yöntemi ve bulunan çözümleri iyileştirmek için bir nokta hareketi önermektedir.

Schneider vd. (2014) çalışmalarında hem elektrikli arabaların hem de içten yanmalı arabaların kullanıldığı zaman pencereleri araç rotalama problemini ele almaktadır. Çözüm yöntemi olarak, değişken komşuluk arama algoritmasını tabu arama yöntemiyle birleştiren karma bir yöntem önermektedir.

4.3.4. Sezgisel yöntemleri kullanan çalışmalar

Tan ve Beasley (1984) çalışmalarında, periyodik araç rotalama problemi ele alınmaktadır. Fisher ve Jaikumar'ın günlük araç rotalama algoritmasına dayanan bir

yaklaşık algoritma sunulmakta ve literatürden alınan test problemleri için hesaplama sonuçları verilmektedir.

Malandraki ve Daskin (1992) çalışmalarında, zamana bağlı araç rotalama problemi ve zaman pencereli araç rotalama problemi için sezgisel algoritmalar geliştirilmektedir. Kesim düzlemlerini kullanan zaman pencereleri olmayan, zamana bağlı problem için matematiksel programlama tabanlı bir sezgisel yöntem de tartışılmaktadır. Çalışma sonucunda rastgele oluşturulan küçük problemlerle ilgili test sonuçları rapor edilmektedir.

Toth ve Vigo (1999), çalışmalarında araç rotalama problemi için yeni bir kümeleme yöntemini kullanan ve aynı zamanda asimetric maliyet matrisi ile sorunları çözmek için kullanılabilecek bir küme-birinci-yol-ikinci sezgisel yöntemi sunulmaktadır. Yaklaşım, bir alt sınırla ilişkili normal olarak mümkün olmayan çözümlerin bilgisinden yararlanmaktadır. Literatürdeki simetrik ve asimetric örnekler üzerinde uygulanan kapsamlı hesaplama testleri, önerilen yaklaşımın etkinliğini göstermektedir.

Erdoğan ve Miller-Hooks (2012), çalışmalarında yeşil araç rotalama problemi için bir karma tamsayılı doğrusal matematiksel model geliştirmekte ve çözümü için ise Clarke ve Wright algoritması ve yoğunluğa dayalı kümeleme algoritmasını önermektedir. Çalışmanın sonucu göstermiştir ki geliştirilen algoritma iyi bir performans sergilemektedir.

Villalba ve Rotta (2022) çalışmalarında, zaman pencereli araç rotalama probleminin çözümü için K-ortalamlar ve optik kümeleme teknikleri ve en yakın komşu ve yerel yöntemleri aracılığıyla bir çözüm algoritması sunulmaktadır. Sonuç olarak, ilgili kısıtlamalar yerine getirildikten sonra en az zaman dilimlerinde iyi çözümler üretilmekte, rota oluşturmada yüksek performans ve büyük müşteri örnekleri için çözümler sağlanmaktadır. Benzer şekilde, algoritma, literatürde detaylandırılan diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında verimlilik ve rekabet gücü göstererek daha da iyi sonuçlar verdiği ifade edilmektedir. Pop vd. (2011) çalışmalarında, araç rotalama problemini yaklaşık olarak çözebilmek için sezgisel yapıcı algoritmalar ve yerel arama algoritması sunulmaktadır.

Bianchessi ve Righini (2007) çalışmalarında, eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemini yaklaşık olarak, küçük bir hesaplama süresinde çözmek için sezgisel algoritmalar sunmaktadır.

4.3.5. Diğer yöntemleri kullanan çalışmalar

Huang vd. (217) çalışmalarında, araç rotalama problemini, bir yol ağında birden fazla yola karşılık gelecek şekilde oluşturmaktadır. Böylelikle problem içerisinde alınacak kararlar içerisinde yalnızca güzergâh kararını değil, müşterilerdeki hareket saatine ve ilgili yol ağındaki tıkanıklık seviyelerine bağlı olarak yol seçimi kararı da bulunmaktadır. Bu yüzden problem zaman bağımlı-yol esnekli araç rotalama problemi olarak adlandırılmaktadır.

Juan vd. (2011) çalışmalarında, dinamik araç rotalama problemi için Monte Carlo simülasyonunu uygulamaktadır. Bu şekilde, farklı rotalama alternatiflerinin beklenen toplam maliyetleri için tahminler elde edilmektedir. Ayrıca çalışmada, farklı belirsizlik senaryoları altında verimliliği analiz etmek amacıyla kapsamlı bir sayısal deney yapılmaktadır.

Faulin vd. (2008), çalışmalarından kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için simülasyon tabanlı bir sezgisel algoritma önerilmektedir. Çalışmada, iyi çözümler, düğümler arası mesafeleri karakterize eden istatistiksel bir dağılımla sabitlenmektedir. Daha sonra, uygun dağılım, benzer kenar boyutu dağılımına sahip çok sayıda yeni rastgele çözüm üretmek için kullanılmaktadır. Böylece, çözüm uzayında rastgele arama yapılmakta ve bir "en iyi çözümler" listesi elde edilmektedir. Çalışmada, bu yaklaşımın etkinliğini tartışmak için çeşitli testler yapılmaktadır.

Santos vd. (2006) çalışmalarında, araç rotalama problemine uygulanan evrimsel bir algoritmanın performansını iyileştirmek için bazı alternatifler sunmaktadır. Yerel arama ve veri madenciliği modüllerinin bir genetik algoritmaya eklenmesine dayalı bazı öneriler sunulmaktadır. Çalışmada dört farklı algoritma geliştirilmektedir. Deneysel sonuçlar, veri madenciliği ve yerel arama modüllerinin genetik algoritmaya dahil edilmesinin, bu yöntemle üretilen çözüm kalitesini iyileştirebileceğini göstermektedir.

Santos vd. (2006) çalışmalarında, araç rotalama problemi için belirsiz talebin tahmini sürecinde, veritabanı altyapısı, veri madenciliği modülü ve bir problem çözücü algoritma önerilmektedir. Önerilen algoritma, istenilen verilerle ilgili bir sorunu çözmek için yapıcı, sezgisel ve metasezgisel algoritmalar kullanmaktadır.

4.4. Bütünleşik Sipariş Toplama ve Araç Rotalama Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bütünleşik sipariş toplama ve araç rotalama problemi ile ilgili literatürde oldukça az sayıda yayın bulunmaktadır. Bu yayınlar Tablo 4.2’de ifade edilmektedir. Bu konu ile

alakalı literatürdeki ilk çalışma Schmid vd. (2013) tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada yazarlar araç rotalama problemi ile tedarik zinciri yönetimi içerisindeki bazı problemleri bütünleşik olarak çalışmakta ve bu problemler için matematiksel model geliştirmektedir. Sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için ise literatürdeki ilk matematiksel model bu çalışmada geliştirilmiştir. Yazarlar depo içerisindeki bir süreç olan sipariş gruplama problemini araç rotalama problemi olarak düşünmekte ve bir dağıtım problemi olan araç rotalama problemi ile bütünleşik çalışmaktadır. Çalışma içerisinde geliştirilen matematiksel modelin amacı, maliyeti enküçükmektir. Bu problemin çözümü için ise herhangi bir çözüm yöntemi çalışma içerisinde önerilmemektedir.

Moons vd. (2018), yaptıkları çalışmada, sipariş toplama ve zaman pencereli araç rotalama problemini bütünleşik olarak incelemektedir. Problem için karma tamsayılı doğrusal matematiksel model geliştirmekte ve küçük ölçekli problem örnekleri için ortalama %14 iyileşme sağlamaktadır. Yazarlar bu problemi B2C (işletmeden tüketiciye) e-ticaret kavramı içerisinde oluşturmaktadır.

Ramaekers vd. (2018) çalışmalarında, B2C (işletmeden tüketiciye) e-ticaret şirketlerinin sahip olduğu müşterilerin ürün teslimatı konusunda zaman penceresini seçmeye başladıklarından dolayı maliyet artışının yaşandığını ifade etmektedir. Bundan dolayı, bu şirketler müşterilerin teslim zamanlarını seçmelerine karşılık ek maliyet planlamaktadır. Çalışmada, sipariş toplama ve araç rotalama problemi kullanılarak bu ek maliyet tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Müşteri özelliklerine, zaman penceresi özelliklerine ve operatör boyutuna bağlı olarak değişen koşullar altında bu hizmet maliyetini araştırmak için deneysel bir tasarım oluşturulmaktadır.

Schubert vd. (2018) çalışmalarında, sipariş toplama ve araç rotalama problemini, müşteri siparişlerinin son teslim zamanlarını düşünerek oluşturmaktadır. Yazarlar bu problem için matematiksel model geliştirmekte ve problemin eş zamanlı çözümü için ardışık temelli yerel arama algoritması önermektedir.

Moons vd. (2019) çalışmalarında, sipariş toplama ve araç rotalama problemi için bir matematiksel model geliştirmektedir. Yazarlar, önerilen matematiksel modelin büyük boyutlu örneklerde çözümü için kayıt kayıta gezinti algoritması geliştirmektedir. Bu problemin eş zamanlı çözümü, aynı zamanda sıralı çözüm ile kıyaslanmaktadır. Sonuçlara göre eş zamanlı çözüm algoritması maliyetlerde %1,8 oranında azalma sağlamaktadır.

Schubert vd. (2020), sipariş toplama ve araç rotalama problemini, depo içerisinde sipariş toplama maliyeti ve depo dışında müşterilere ürünleri teslim etmenin maliyetini düşürmeyi amaçlayan bir karar destek modeli geliştirmektedir. Bu problemin çözümü için, genel değişken komşuluk arama algoritmasına dayanan bütünleştirici bir çözüm yaklaşımı sunulmaktadır. Çalışmadaki sonuçlar, bütünleşik çözüm yaklaşımının gerçek hayatta uygulanan sıralı çözüm yaklaşımı ile kıyaslandığında toplam maliyette %13 oranında bir iyileşme olduğunu göstermektedir.

Ostermeier vd. (2020) çalışmalarında, bölge toplama problemi ile araç rotalama problemini bütünleşik olarak çalışmaktadır. Yazarlar problemin çözümü için bir matematiksel model önererek genel değişken komşuluk arama algoritması geliştirmektedir. Çalışmada; gösterilen bütünleşik planlama yaklaşımı, verilen problem özelliklerine bağlı olarak, sıralı yaklaşımlardan %60'a kadar daha iyi performans gösterdiği ifade edilmektedir.

Kuhn vd. (2020) çalışmalarında, sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için matematiksel model geliştirmekte ve problemin çözümü için uyarlanabilir geniş komşuluk arama algoritmasına dayanan genel uyarlanabilir geniş komşuluk arama algoritması önermektedir (Kuhn vd., 2020). Çalışmada; önerilen algoritma yaklaşımı örneklerin %96,35'inde benzer uyarlanabilir geniş komşuluk arama algoritmasından daha iyi performans gösterdiği ve toplam gecikmenin ortalama %30 oranında azaltıldığı ifade edilmektedir.

Bu konuda ilk derleme yayını ise Schubert (2020) tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada, sipariş toplama ve araç rotalama problemi için detaylı kaynak analizi yapılmakta ve gelecek çalışmalar için araştırma fırsatları ortaya konulmaktadır.

Chen vd. (2022) çalışmalarında, sipariş toplama ve araç rotalama problemi için, toplama bölgeleri, kurulum süresi ve değişken sürüş hızı gibi gerçek hayat faktörlerini göze alan karma tamsayılı bir matematiksel model önermektedir. Çalışmada, problemin çözümü için iki aşamalı ardışık temelli arama algoritması önerilmektedir. Ayrıca çalışma sonuçlarının, çözüm için önerilen algoritmanın geleneksel yöntemlere göre daha iyi bir sonuç verdiği belirtilmektedir.

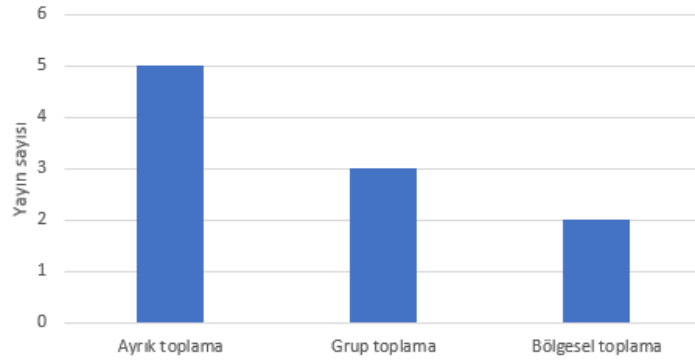
Yalnızca üç çalışmanın konusu sipariş gruplama ve araç rotalama problemi üzerinedir. Diğer çalışmalarda ise sipariş toplama problemi içerisinde gruplama olmadan çalışılmaktadır.

Tablo 4.2. Sipariş toplama ve araç rotalama problemi üzerine kaynak incelemesi

Çalışma	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonksiyonu	Grup Toplama	Bölgesel Toplama	Ayrık Toplama
(Schmid vd., 2013)	*	Toplam yol ve gecikme maliyetlerini enküçükleme	✓		
(Moons vd., 2018)	Karma tamsayılı doğrusal programlama	Araç maliyetini, yol maliyetini ve sipariş toplama maliyetini enküçükleme			
(Ramaekers vd., 2018)	Deneysel tasarım analizi	Müşterilere teslimat için zaman penceresi tercihinin ek maliyetini tahmin etmek			
(Schubert vd., 2018)	İterasyon yerel arama algoritması	Toplam gecikmeyi enküçükleme			
(Moons vd., 2019)	Yerel arama algoritması- Kayıt kayıta gezinti yöntemi	Sipariş toplayıcının çalışma maliyeti, saat katsayı maliyeti ve depo içi yol maliyetini enküçükleme			
(Schubert vd., 2020)	Genel değişken komşuluk arama algoritması	Sipariş toplayıcı maliyeti, araç maliyeti ve tüm turlar için mesafe maliyetini enküçükleme			
(Ostermeier vd., 2020)	Genel değişken komşuluk arama algoritması	Gecikme maliyeti, araç kullanma maliyeti ve sürücü maliyetlerini enküçükleme			✓
(Kuhn vd., 2020)	Uyarlanabilir geniş komşuluk arama algoritması	Toplam gecikmeyi enküçükleme	✓		
(Schubert, 2020)	*	*			
(Chen vd., 2022)	Ardışık yerel arama algoritması	Toplam maliyeti enküçükleme	✓		✓

4.5. Mevcut Çalışmaların Değerlendirilmesi

Tezde çalışılan konu olan sipariş toplama ve araç rotalama problemine ilişkin yayın araştırması için kullanılan sipariş toplama stratejileri ile ilgili özet bir görsel Şekil 4.10'da belirtilmektedir. Buna göre mevcut yayın sayısı (derleme hariç) 9'dur. Bu çalışmalardan; beşi yalnızca ayırık toplama, ikisi yalnızca grup toplama, biri yalnızca bölgesel toplamaya odaklanmakta olup bir tanesi ise hem grup toplama hem de bölgesel toplamaya bütünleşik olarak odaklanmaktadır.



Şekil 4.10. Literatürde bütünleşik sipariş toplama ve araç rotalama problemlerinde çalışılan toplama stratejileri çalışma sayıları

Mevcut alandaki yayınlar çözüm yöntemleri açısından analiz edildiğinde, herhangi bir çözüm yöntemi sunan çalışmaların tamamının metasezgisel algoritmaları önerdiği ifade edilebilmektedir. Bu çalışmalar içerisinde; iki tanesinde genel değişken komşuluk arama, bir tanesinde uyarlanabilir geniş komşuluk arama, bir tanesinde ardışık yerel arama, bir tanesinde iterasyon yerel arama, bir tanesinde ise yerel arama ve kayıt-kayıta gezinti algoritması önerilmektedir. Kesin çözüm yöntemleri, sezgisel yöntemler ile çözülen çalışmalar literatürde henüz bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında ise genetik algoritma önerilerek metasezgisel öneren çalışmalara katkıda bulunmaktadır.

Verilen çalışmalar içerisinde, hiçbir çalışmada test verileri bulunmamaktadır. Çalışmalardaki uygulama verileri verilmemiş olup, çalışmaların altı tanesi gerçek verileri kullanarak çözülmektedir. Bu tez çalışmasında ise, ilgili çalışma verileri literatüre eklenmekte olup çözüm sonuçlarının sonraki araştırmacılar için kıyaslama yapabileceği bir biçimdedir. Ayrıca; çalışmalardaki problem çeşitleri içerisinde, sipariş toplama ve araç rotalama problemini dinamik bir problem olarak ele alan çalışma bulunmamaktadır.

Mevcut literatürde, sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için bir matematiksel model sunan yalnızca iki çalışma bulunmaktadır (Kuhn vd., 2020; Schmid vd., 2013). Bu çalışmalarda, sipariş gruplama problemi ile zaman pencereli araç rotalama problemi bir bütün olarak düşünülmekte ve problem için bir matematiksel model önerilmektedir. Bu iki çalışmadaki matematiksel modeller birbirinden farklı yapıdadır. Schmid vd. (2013) tarafından oluşturulan matematiksel modelde, ürünlerin lokasyonları arasındaki mesafelerin bilinirliği varsayımı vardır ve gruplar çözüm esnasında oluşturulmaktadır. Ayrıca problem oluşturulurken siparişi oluşturan ürünler üzerinden işlem yapılmaktadır. Kuhn vd. (2020) tarafından oluşturulan modelde ise, grupların önceden oluşturulduğu ve grup mesafelerinin bilindiği varsayılmaktadır. Ayrıca, sipariş içerisindeki ürünler değil yalnızca sipariş bütünü üzerinden problem oluşturulmaktadır. Böylece bu iki matematiksel model de ürünler üzerinden mesafe hesaplayan bir formülasyon bulunmamaktadır. Schmid vd. (2013) tarafından oluşturulan modelde herhangi bir sipariş rotalama sezgiseli üzerinden işlem yapılmamış olup Kuhn vd. (2020) tarafından oluşturulan çalışmada ise S-Şekilli sipariş rotalama sezgiseli kullanılmaktadır. Böylelikle sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için literatürde geri dönüş, orta nokta, en büyük boşluk gibi sipariş rotalama sezgisellerini kullanan bir çalışma yer almamaktadır. Bu tez çalışmasında ise S-Şekilli, geri dönüş, orta nokta ve en büyük boşluk rotalama sezgiselleri ayrıca kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı izleyen şekildedir:

- Ürünler arasındaki mesafenin önceden bilinirliğine ilişkin bir varsayım mevcut değildir ve bu mesafeler çözüm esnasında hesaplanmaktadır.
- Depo içerisindeki sipariş toplama mesafesi, geri dönüş sezgiseli kullanılarak matematiksel model içerisinde hesaplanmaktadır. Ayrıca; geri dönüş sezgiselinin verimliliğini analiz etmek için, diğer rotalama sezgiselleri ile kıyaslanmaktadır.
- Bu çalışma içerisinde kullanılan veriler sonraki araştırmacıların çalışmalarını kıyaslayabilmeleri için literatüre eklenmektedir.
- Mevcut literatürdeki çalışmalar içerisindeki çözüm yöntemlerinde genetik algoritmayı uygulayan bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak bu çalışma ile

sipariş gruptama ve araç rotalama problemi için genetik algoritma yaklaşımı önerilmektedir.



5. BÜTÜNLEŞİK SİPARİŞ GRUPLAMA VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN KARMA TAMSAYILI KARAR MODELİ

Bu bölümde, üzerinde çalışılan bütünleşik problem için geliştirilen karma tamsayılı doğrusal olmayan ve doğrusal olan modeller tanıtılmaktadır. Daha sonra matematiksel modellerin doğrulanması ve geçerliliğinin sağlanması üzerinde durulmakta, ardından farklı büyüklükteki örnekler için matematiksel model sonuçları analiz edilmektedir. Son kısımda, bütünleşik probleme genel bir çözüm yöntemi olarak önerilen genetik algoritma işlemleri hakkında tanımlamalar ve açıklamalar yer almaktadır.

5.1. Matematiksel Model Varsayımları

Bütünleşik sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için oluşturulan yeni karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model ve detayları bu bölümde ifade edilmektedir. Buna göre devam eden başlıklarda problem tanımlanmakta, varsayımlar ifade edilmekte, matematiksel model gösterilmekte, modelin doğrusallaştırılması anlatılmakta olup ardından modelin geçerliliğinin analiz edilmesi için gerekli işlemler gerçekleştirilmektedir.

Bütünleşik sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için oluşturulan varsayımlar izleyen şekildedir:

1. Her müşteri yalnızca bir sipariş verebilir.
2. Bir siparişin içindeki ürünler farklı sipariş gruplarına bölünemez. Aynı siparişin içindeki ürünler aynı sipariş grubunda olmak zorundadır.
3. Bir siparişin içerisinde birden fazla ürün olabilir.
4. Tahsisli stoklama politikası kullanılmakta olup, ürünlerin depo içerisindeki konumları belli ve önceden bilinmektedir.
5. Depo içerisinde ürünleri toplamakta kullanılan araçlar birbirleri ile aynı özelliklere sabit olup, hızları sabit ve önceden bilinmektedir.
6. Dağıtım için kullanılan araçların hızı sabit ve önceden bilinmektedir.
7. Sipariş toplayıcı, bir blokta yer alan ürünleri çift taraflı (iki yönlü) olarak toplayabilmektedir.
8. Siparişlerin müşterilere dağıtımı esnasında güzergâh üzerinde teslim süresine etki edebilecek trafik sıkışıklığı, arıza vb. etkenler göz ardı edilmektedir.
9. Ürün dağıtımında kullanılan araçlar aynı kapasiteye sahip, benzer araçlardır (Araçlar homojen yapıya sahiptir).

10. Her sipariş grubunun araca yüklenme süresi sabit ve önceden bilinmektedir.
11. Toplanan siparişler arasında bekleme süresi bulunmamaktadır.
12. Aynı gruptaki siparişleri aynı toplayıcı toplamaktadır.
13. Aynı araca yüklenen siparişlerin hepsi tek bir toplayıcı tarafından hazırlanmaktadır.
14. Ürün dağıtımı için kullanılan araçların sayısında herhangi bir kısıt bulunmamaktadır.
15. Dağıtım merkezi ile müşteriler arasındaki mesafeler ve müşterilerin birbirleri arasındaki mesafeler sabit ve önceden bilinmektedir.
16. Depo içerisindeki mesafeler dikdoğrusal uzaklık ölçümüne göre hesaplanmaktadır.
17. Bir siparişin içerisinde yer alan ürün çeşidi ve sayısı ile ilgili bir kısıt bulunmamaktadır.
18. Grup sayısı ile ilgili herhangi bir kısıt olmayıp, toplayıcının kapasitesine göre belirlenmektedir.
19. Depo içerisindeki bir hücrede sadece bir ürüne ait kutu ya da palet bulunmaktadır, ayrıca her bir raf için stok tutma hücreleri eşit büyüklükte olup ürünler stoklarda kutu ya da palet yükü olarak tutulabilmektedir.
20. Araç yüklemede siparişlerin araçlara yerleştirilmesi ve düzenlenmesi ile ilgili herhangi bir kısıt bulunmamaktadır.
21. Eğer siparişler müşterilere, ilgili zaman penceresindeki erken ulaşma süresinden önce ulaşmış ise siparişlerin müşterilerde araçtan indirilmesi için erken gitme zamanına kadar beklenmektedir. Ancak, eğer müşterilere ulaşıldığında ilgili müşterinin geç gitme süresi aşılmış durumda ise, ürünler araçtan o an indirilmekte olup gecikme cezası oluşmaktadır.

Oluşturulan varsayımlardan on üç tanesi sipariş gruplama problemine ait olup, altı tanesi araç rotalama problemine ait olmakta ve iki tanesi de problemin entegre edilmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu varsayımlar bütünsel olarak, mevcut literatürde oluşturulan varsayımlardan daha az olmaktadır. Özellikle ürünler arasındaki mesafelerin bilinirliği ile ilgili bir varsayım olmaması bu çalışmanın özgün tarafıdır.

5.2. Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Model

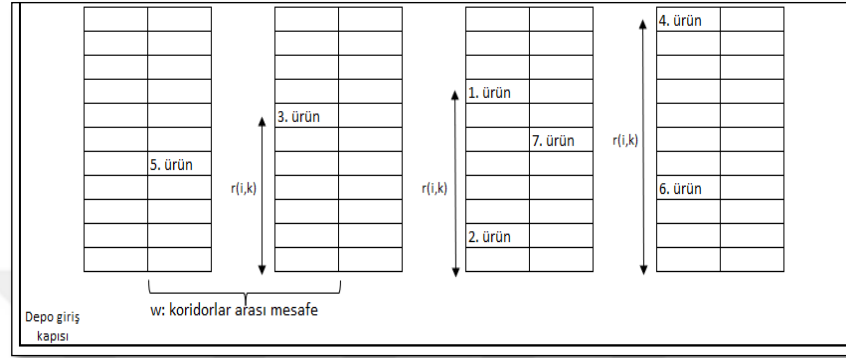
Sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için oluşturulan karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model parametreler ve karar değişkenlerinden oluşmaktadır. Bu bölümde bu bileşenler detaylı olarak anlatılmakta olup ardından ilgili matematiksel model gösterilmekte ve amaç fonksiyonu ve kısıtları açıklanmaktadır.

Oluşturulan karar modelinde amaç, maliyetlerin enküçüklenmesi olarak benimsenmektedir. Bu maliyetler üç bileşen şeklinde ifade edilmektedir. Öncelikle depo içerisinde siparişlerin toplanması esnasında ortaya çıkan maliyet, ardından siparişlerin müşterilere dağıtımı sırasında oluşan maliyet ve son olarak da müşterilere ulaşılırken herhangi bir gecikme yaşanmakta ise bu gecikmenin maliyetidir. Kullanılacak olan karar değişkenleri ve parametreler de bu amaca göre tanımlanmaktadır. Parametre, bir model içerisinde kullanılmakta olan değeri belli ve sabit olarak oluşturulan bir simgedir. Oluşturulan modelde kullanılan parametreler Tablo 5.1’de verilmektedir.

Tablo 5.1. Parametrelere ait notasyon

Parametre	Açıklama
d_{ij}	i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafe büyüklüğü (km)
Q	Dağıtım aracının kapasitesi (kg)
q	Sipariş toplayıcı kapasitesi (kg)
w_i	i siparişinin ağırlığı (kg)
t_{ij}	i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafe süresi (sa)
s_i	i. müşteri siparişlerinin araçtan indirilme süresi (sa)
$(\alpha_i - \beta_i)$	i. müşterinin zaman penceresi. α_i erken gitme süresi, β_i geç gitme süresi
s_h	Toplayıcının h ürününü raftan alma süresi (sa)
t_{load}	Depoda toplayıcılardan alınan ürünlerin araca yerleştirilme süresi (sa)
r_{ik}	i. sipariş için k koridorunda alınan en yüksek yatay mesafe büyüklüğü (km)
w	Koridorlar arasındaki yatay mesafe (km)
v_{top}	Sipariş toplayıcı hızı (km/sa)
c_{ih}	i siparişinin içerisinde h ürünü bulunuyorsa 1, dd 0
v	Araç numarası $v=1,2,...,V$
h,m	Ürün numarası $h,m=1,2,...,H$
i,j	Müşteri (sipariş) numarası $i,j=1,2,...,I$
b	Grup numarası $b=1,2,...,B$
k	Koridor numarası $k=1,2,...,K$
c_1	Birinci bileşene ait amaç fonksiyonu maliyet katsayısı
c_2	İkinci bileşene ait amaç fonksiyonu maliyet katsayısı
c_3	Üçüncü bileşene ait amaç fonksiyonu maliyet katsayısı

Kullanılan depo yapısı Şekil 5.1’de verilmektedir. Bu şekle göre depo, 5 toplama koridoru, 4 raf sisteminden oluşmaktadır. Depo içerisindeki koridorlar arası mesafe w ile gösterilmekte olup, ürünlerin yatay uzunlukları ise r_{ik} ile ifade edilmektedir. Bu bilgiler problem öncesinde bilinmekte ve sabit olup problem çözümünde kullanıldığı için parametre olarak belirtilmektedir.



Şekil 5.1. Örnek depo gösterimi

Karar değişkeni, önceden değeri bilinmeyip problemin çözümüne göre oluşturulan değişkendir. Oluşturulan model içerisinde kullanılan karar değişkenleri Tablo 5.2’de verilmektedir. Bu karar değişkenlerinden d_v problemin bütünleşik olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Ayrıca, siparişlerin toplanması esnasından depo içerisindeki mesafeyi hesaplamasında kullanılan değişkenler h_b , s_{bk} iken, sipariş gruplama problemi için kullanılan karar değişkenleri y_{bk} , y_{hb} ve z_{ib} , araç rotalama problemi için kullanılan karar değişkenleri y_i , a_i , u_{iv} , x_{ijv} , t_i olmaktadır.

Tablo 5.2. Karar değişkenlerine ait notasyon

Karar değişkenleri	Açıklama
h_b	b. sipariş grubunun toplanması sırasında alınan yatay mesafe büyüklüğü (km)
s_{bk}	b. sipariş grubu toplanırken, k koridor boyunca alınan en büyük mesafe büyüklüğü (km)
y_{bk}	b grubunun toplanması için k koridoru ziyaret ediliyorsa 1, dd 0
x_{ijv}	v aracı ile i müşterisinden sonra j müşterisine gidiliyorsa 1, dd 0
t_i	i müşteri siparişinin gecikme süresi (tardiness)
u_{iv}	i. müşteri siparişi v aracına atanırsa 1, dd 0
y_{hb}	h ürünü b grubuna atanırsa 1, dd 0
a_i	i. müşteri siparişinin teslim edilme süresi
z_{ib}	i siparişi b grubuna atanırsa 1, dd 0
d_v	v. dağıtım aracının depodan kalkış zamanı
y_i	i. siparişe ait alt tur engelleme için kullanılan karar değişkeni

Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Oluşturulan karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel programlama modelinin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda belirtilmektedir. Problem çözümü için geliştirilen bu modelde, ürünler arasındaki mesafe hesaplaması için Öncan (2015) çalışması örnek alınmaktadır.

$$\sum_j \sum_v x_{ijv} = 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$\sum_i x_{ijv} - \sum_j x_{jiv} = 0 \quad \forall i, j, v \quad (2)$$

$$\sum_i x_{0iv} = 1 \quad \forall v \quad (3)$$

$$\sum_i x_{i(N+1)v} = 1 \quad \forall v \quad (4)$$

$$\sum_j \sum_i w_i x_{ijv} \leq Q \quad \forall v \quad (5)$$

$$Y_j \geq Y_i + 1 - N(-\sum_v x_{ijv}) \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$Y_j \geq 0 \quad \forall j \quad (7)$$

$$a_i \geq d_v + t_{0i} - M(-u_{iv}) \quad \forall i, v \quad (8)$$

$$a_j \geq a_i + t_{ij} + s_i - M(1 - x_{ijv}) \quad \forall i, j, v \quad (9)$$

$$\sum_j x_{ijv} = u_{iv} \quad \forall i, v \quad (10)$$

$$t_i \geq (a_i - \beta_i) \quad \forall i \quad (11)$$

$$a_i \geq \alpha_i \quad \forall i \quad (12)$$

$$\sum_i w_i z_{ib} \leq q \quad \forall b \quad (13)$$

$$\sum_b z_{ib} = 1 \quad \forall i \quad (14)$$

$$u_{iv} = x_{bv} z_{ib} \quad \forall i, v, b \quad (15)$$

$$t_b = (2h_b + \sum_v 2s_{bv})/v_{top} + \sum_h y_{bh} s_h \quad \forall b \quad (16)$$

$$d_v = \sum_b (t_b x_{bv}) + t_{load} \quad \forall v \quad (17)$$

$$y_{bk} \leq \sum_i r_{ik} x_{ib} \leq M y_{bk} \quad \forall b, k \quad (18)$$

$$k w y_{bk} \leq h_b \quad \forall b, k \quad (19)$$

$$r_{ik} x_{ib} \leq s_{bk} \quad \forall i, b, k \quad (20)$$

$$\sum_v x_{bv} = 1 \quad \forall b \quad (21)$$

$$y_{hb} \geq z_{ib} c_{hi} \quad \forall h, i, b \quad (22)$$

$$t_i \geq 0 \quad \forall i \quad (23)$$

$$y_{hb}, z_{ib}, y_{bk}, x_{ijv}, u_{iv} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, h, b \quad (24)$$

kısıtları altında

En küçük $Z=$

$$c_1 \left(\sum_b 2h_b + \sum_b \sum_k 2s_{bk} \right) + c_2 \sum_i \sum_j \sum_v d_{ij} x_{ijv} + c_3 \sum_i t_i \quad (25)$$

(25) numaralı denklem, amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Bu fonksiyon içerisinde üç bileşen vardır. Birinci bileşen, depo içerisindeki sipariş toplayıcının siparişleri toplarken almış olduğu toplam mesafeyi temsil etmektedir. Alt problem düşünülecek olursa; bu mesafe sipariş toplama problemi içerisinde hesaplanmaktadır. İkinci bileşen, depo dışında ürünlerin müşterilere ulaştırılması için alınan toplam mesafe hesaplamasının göstermektedir. Bu bileşen için de alt problem düşünülürse, müşteriler arasındaki toplam mesafe araç rotalama problemi içerisinde hesaplanmaktadır. Üçüncü bileşen ise müşterilerin toplam gecikmesini ifade etmektedir. Bu bileşen araç rotalama ve sipariş toplama problemlerinin kesişim noktası olarak ifade edilebilmektedir.

(1) numaralı eşitlik her müşteriye yalnızca bir araç uğramasını sağlamaktadır. Böylelikle her müşteri siparişinin teslimatı için müşterilerin tamamına gidilmiş olmaktadır. (2) numaralı kısıt araç rotalama problemi literatüründe akışı sağlayan kısıt olarak geçmektedir. Bir aracın bir müşteriye başka bir müşteriden (depo dahil) gelmesini ve bir aracın bir müşteriden başka bir müşteriye (depo dahil ya da toplanma noktası) gitmesini sağlamaktadır. (3) numaralı kısıt her aracın rotasına depodan başlamak zorunda olduğunu ifade etmektedir. (4) numaralı kısıt ise her aracın rotasının toplanma noktasında sonlanması gerekliliğini belirtmektedir.

(5) numaralı kısıt, araç kapasite kısıtıdır. Her aracın belirli bir kapasitesi vardır ve müşterileri ziyaret eden araçlar bu kapasiteyi geçmemektedir. Dolayısı ile müşterilere teslim edilecek olan siparişlerin ağırlıkları toplamı aracın kapasitesini geçmemektedir. (6-7) numaralı kısıtlar, araç rotalama problemi literatüründe alt tur eleme kısıtları olarak geçen kısıtlardır. (8) numaralı kısıtta, her araç için depodan ayrıldıktan sonraki ilk müşteriye gidiş süresine ulaşılmaya çalışılmaktadır. (9) numaralı kısıt, bir önceki kısıt gibi müşterilere ulaşılma süresini hesaplayan bir formülasyonu ifade etmektedir. Bu iki kısıtın tek farkı, depodan çıkan aracın servis süresi olmayacağı için birinci müşteriden sonrasına ulaşılmaya çalışılmaktadır. (10) numaralı kısıt ile iki karar değişkeni birbirine bağlanmış olmaktadır.

(11)-(12) numaralı eşitsizlikler ile gecikme süresi, müşteriye ulaşılan zaman ile müşterinin istediği zaman penceresi arasındaki fark ile hesaplanmaktadır. (13) numaralı kısıt sipariş toplayıcı kapasite kısıtıdır. Her bir sipariş toplayıcının belirli bir kapasitesi vardır ve toplayıcılara bu kapasiteden fazla ürün ya da sipariş eklenememektedir. (14) numaralı kısıt müşteri siparişlerinin ürünlerinin her birinin yalnızca bir gruba atanmasını sağlar. (15) numaralı kısıt, bir müşteri siparişindeki bütün ürünlerin birlikte toplanması sağlanmaktadır. (14) numaralı kısıt ile bir bütün halindedir ve böylelikle, iki kısıt birlikte bir siparişteki ürünlerin birlikte toplanmasını sağlar. (16) numaralı kısıt ile bir grubun toplanma süresi hesaplanmaktadır.

(17) numaralı kısıt, aracın yükleme noktasında geçirdiği süre hesaplamasını ifade etmektedir. Aynı zamanda, bu kısıt sipariş gruplama problemi ve araç rotalama problemini birbirine bağlayan kısıttır. (18) numaralı kısıt ile, bir siparişte herhangi bir koridorda en az bir ürün olduğunda, o siparişin atandığı grubun toplanma esnasında o koridora girilmesi sağlanmaktadır. (19) numaralı kısıt ile, bir grup için yatay mesafede alınan yol hesaplanmaktadır. (20) numaralı kısıt ile, bir grubun toplanması için en fazla gerekli olan dikey mesafe gösterilmektedir. (21) numaralı kısıt, her grubun yalnızca bir araca atanmasını sağlamaktadır. (22) numaralı kısıt ile karar değişkenleri eşleştirilmektedir. (23-24) numaralı kısıtlar işaret kısıtlarıdır.

5.3. Karma Tamsayılı Doğrusal Model

Verilen matematiksel modelde, (15) ve (17) numaralı kısıtlar doğrusal olmayan kısıtlar olduğu için, model doğrusal olmayan matematiksel model olmaktadır. Ancak bu kısıtlar doğrusallaştırılabilir düzeydedir ve matematiksel modelin doğrusal olabilmesi için önem taşımaktadırlar.

(15) numaralı kısıtta, 0-1 tamsayılı karar değişkenlerinin çarpımından dolayı kısıt doğrusal olmayan bir hale dönüşmektedir. Ancak doğrusallaştırma şartları kapsamında aşağıda ifade edilen maddenin uygulanması ile doğrusallaştırılabilmektedir (Yağmur ve Kesen, 2022).

- $z = x \times y$ ve hem x hem de y tamsayılı karar değişkeni ise, bu ifade aşağıdaki denklemler aracılığı ile doğrusallaştırılabilmektedir. Verilen ilk iki eşitsizlik ile x veya y sıfır ise z sıfır olmaktadır. Son eşitsizlikte ise hem x hem de y 1 ise z değeri de 1 olmaktadır.

$$z \leq x$$

$$z \leq y$$

$$z \leq x + y - 1$$

(17) numaralı kısıtta; bir değişken 0-1 tamsayılı karar değişkeni, diğer değişken ise sürekli karar değişkeni olduğu için, bu karar değişkenlerin çarpımından dolayı kısıt doğrusal olmayan bir hale dönüşmektedir. Ancak doğrusallaştırma şartları kapsamında aşağıda ifade edilen maddenin uygulanması ile doğrusallaştırılabilmektedir (Yağmur ve Kesen, 2022).

- $z = x \times y$ ve x 0-1 tamsayı karar değişkeni, y sürekli karar değişkeni ise bu ifade aşağıdaki denklemler aracılığı ile doğrusallaştırılabilmektedir. Verilen ilk ve son eşitsizliğe göre; x sıfırsa, z sıfır olmalıdır. Aynı zamanda ikinci ve üçüncü eşitsizliğe göre $x = 1$ ise, z, y 'ye eşit olmalıdır.

$$z \leq H * y$$

$$z \leq x$$

$$z \geq x - (1 - y) * H$$

$$z \geq 0$$

Böylelikle; kısıtın doğrusallaştırılmış hali izleyen şekildedir:

$$\sum_j \sum_v x_{ijv} = 1 \quad \forall i \quad (26)$$

$$\sum_i x_{ijv} - \sum_j x_{jiv} = 0 \quad \forall i, j, v \quad (27)$$

$$\sum_i x_{0iv} = 1 \quad \forall v \quad (28)$$

$$\sum_i x_{i(N+1)v} = 1 \quad \forall v \quad (29)$$

$$\sum_j \sum_i w_i x_{ijv} \leq Q \quad \forall v \quad (30)$$

$$Y_j \geq Y_i + 1 - N(-\sum_v x_{ijv}) \quad \forall i, j \quad (31)$$

$$Y_j \geq 0 \quad \forall j \quad (32)$$

$$a_i \geq d_v + t_{0i} - M(-u_{iv}) \quad \forall i, v \quad (33)$$

$$a_j \geq a_i + t_{ij} + s_i - M(1 - x_{ijv}) \quad \forall i, j, v \quad (34)$$

$$\sum_j x_{ijv} = u_{iv} \quad \forall i, v \quad (35)$$

$$t_i \geq (a_i - \beta_i) \quad \forall i \quad (36)$$

$$a_i \geq \alpha_i \quad \forall i \quad (37)$$

$$\sum_i w_i z_{ib} \leq q \quad \forall b \quad (38)$$

$$\sum_b z_{ib} = 1 \quad \forall i \quad (39)$$

$$u_{iv} \leq x_{bv} \quad \forall i, v, b \quad (40)$$

$$u_{iv} \leq z_{ib} \quad \forall i, v, b \quad (41)$$

$$u_{iv} \geq x_{bv} + z_{ib} - 1 \quad \forall i, v, b \quad (42)$$

$$t_b = (2h_b + \sum_v 2s_{bv})/v_{top} + \sum_h y_{bh} s_h \quad \forall b \quad (43)$$

$$d_v - t_{load} \leq M \sum_b x_{bv} \quad \forall v \quad (44)$$

$$d_v - t_{load} \leq \sum_b t_b \quad \forall v \quad (45)$$

$$d_v - t_{load} \geq \sum_b t_b - (1 - \sum_b x_{bv})M \quad \forall v \quad (46)$$

$$d_v - t_{load} \geq 0 \quad \forall v \quad (47)$$

$$y_{bk} \leq \sum_i r_{ik} x_{ib} \leq M y_{bk} \quad \forall b, k \quad (48)$$

$$k w y_{bk} \leq h_b \quad \forall b, k \quad (49)$$

$$r_{ik} x_{ib} \leq s_{bk} \quad \forall i, b, k \quad (50)$$

$$\sum_v x_{bv} = 1 \quad \forall b \quad (51)$$

$$y_{hb} \geq z_{ib}c_{hi} \quad \forall h, i, b \quad (52)$$

$$t_i \geq 0 \quad \forall i \quad (53)$$

$$y_{hb}, z_{ib}, y_{bk}, x_{ijv}, u_{iv} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k, h, b \quad (54)$$

kısıtları altında

En küçük Z=

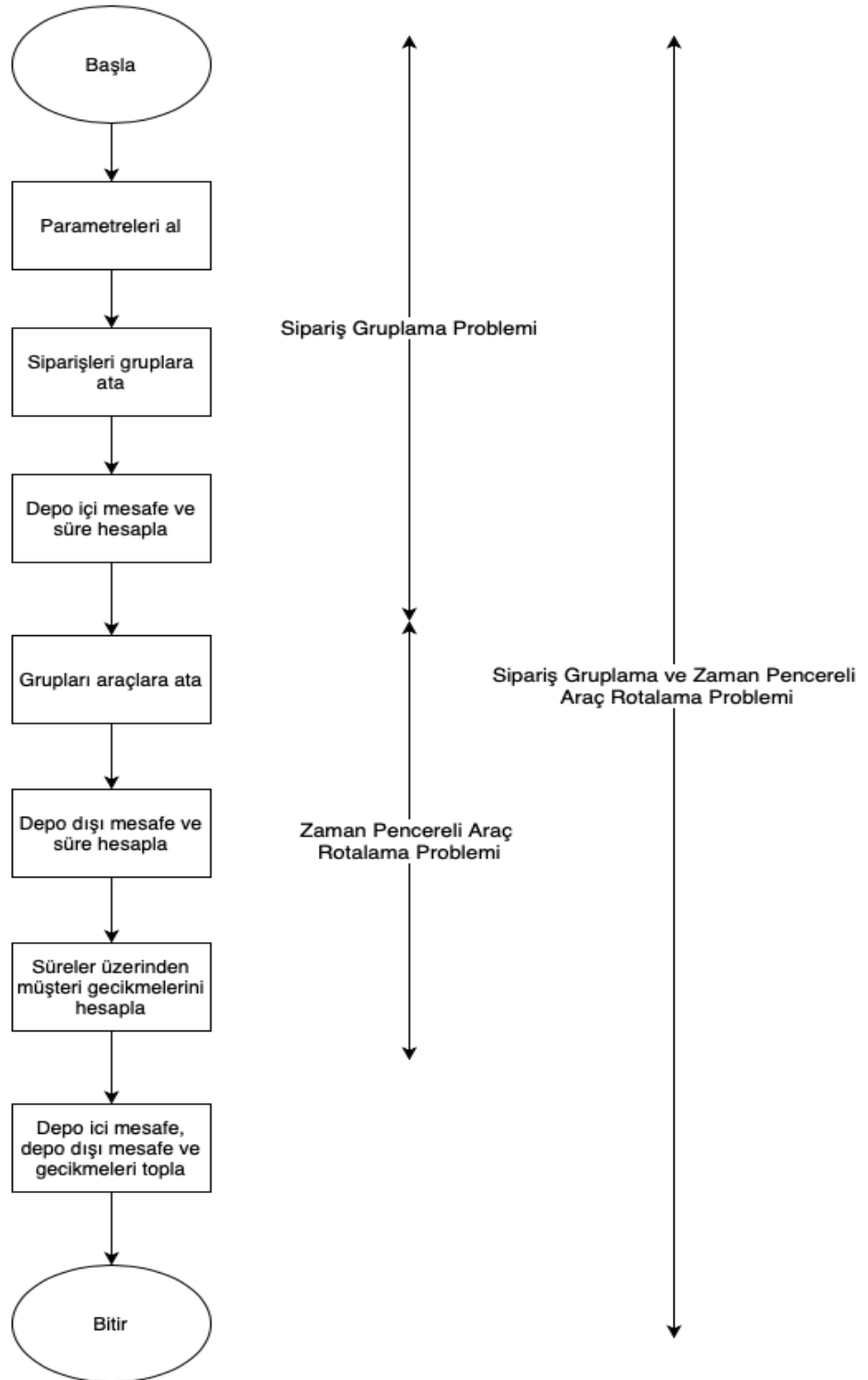
$$\left(\sum_b 2h_b + \sum_b \sum_k 2s_{bk} \right) + \sum_i \sum_j \sum_v d_{ij}x_{ijv} + \sum_i t_i \quad (55)$$

Doğrusallaştırılan kısıtlar ile problem için oluşturulan matematiksel model yeni karma tamsayılı doğrusal matematiksel model olarak ifade edilebilmektedir. Bu yüzden oluşturulan matematiksel model (26-55) numaralı kısıtlar ile ifade edilmektedir.

5.4. Modelin Doğrulanması

Modelleme süreci içerisinde temel basamaklardan bir tanesi modelin doğrulanması kısmıdır. Modelin doğrulanması işlemi doğrusal olan programlama modeli için yapılmakta olup, bu aşamada, uygun veriler kullanılarak model test edilmekte, model ve sonuçları sorgulanmaktadır. Bu yüzden en iyi çözümü bilinen küçük boyutlu bir örnek, CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmektedir. Ancak en iyi çözümü bilinmeyen ve müşteri sayısı değiştirildiğinde oluşan deneme CPLEX çözücüsü ile çözüm vermediği için ayrıca tüm süreci kapsayan bir algoritma geliştirilerek PYTHON programlama dilinde kodlanmakta ve sonuca ulaşılmaktadır. Bu algoritmanın geliştirilmesinin nedeni, CPLEX ile oluşturulan karar değişkenleri ve parametreleri kontrol edebilmektir. CPLEX çözücüsü programa müdahale edilmesine izin vermediği ve değişkenlerin yalnızca sonuçlarını verdiği için PYTHON programlama dilinde bir algoritma geliştirilerek hem parametreler hem de karar değişkenleri hesaplanmaktadır.

Örnek olarak oluşturulan deponun gösterimi Şekilde 5.2’de gösterilmektedir. Depo içerisinde 3 koridor, 6 raf sistemi bulunmaktadır ve depodaki her ürünün kendine özgü bir yeri vardır. Örnekte bir sipariş içerisinde 6 ürün bulunmaktadır. Sipariş içerisindeki ürünler gruplarına göre depo yerlerinden sıra ile toplanmaktadır. Burada gösterilen depoda yalnızca bir blok kullanılmakta, çapraz geçit koridorları kullanılmamaktadır. Ayrıca 3 toplama koridoru olduğu için depo, çoklu koridora sahip bir depodur.



Şekil 5.4. Genel akış şeması

Bu şekilde, en iyi çözümü bilinen küçük bir örnek üzerinde oluşturulan karma tamsayılı doğrusal programlama modeli denenmekte ve sonuçları analiz edilmektedir. Parametre ve karar değişkenlerinin doğruluğunun analizi için ise PYTHON programlama dilinde oluşturulan algoritma kullanılmakta olup sonuçların her iki çıktı düzeyinde de aynı ve doğru olduğu tespitine ulaşılmaktadır. Böylelikle matematiksel modelin doğru bir şekilde çalıştırıldığı ispatlanmış durumdadır.

5.5. Farklı Örnek Büyüklükleri İçin Matematiksel Modelden Elde Edilen Sonuçlar

Oluşturulan veri yapıları içerisinde, küçük boyutlu veri örnekleri içerisinde 5 ve 10 müşterili örnekler için en iyi sonuca ulaşılmaktadır. Ancak 15 müşterili veri örneği için çözüm süresinin 10 saat ile sınırlanmasına rağmen bile bir çözüme ulaşamamıştır. İlgili sonuçlar Tablo 5.3'te ifade edilmektedir. Ayrıca ilgili CPLEX çözüm gösterimi ekranı EK 11'de belirtilmektedir.

Tablo 5.3. Matematiksel modelin CPLEX çözümü ile elde edilen çözümler

Müşteri sayısı	Sonuç
5	379,45
10	3788,45
15	-

Aynı örnekler için genetik algoritma ile de çözümler bulunmaktadır. Buna göre 5 müşterili örnek için matematiksel model ile genetik algoritma aynı sonucu vermekte olup 10 müşterili veri örneği için ise genetik algoritma en iyiye yakın bir değer vermektedir. Böylelikle bu sonuçlar, genetik algoritmanın performansının iyi olduğunu göstermektedir.

6. BÜTÜNLEŞİK PROBLEM İÇİN ÖNERİLEN GENETİK ALGORİTMA MODELİ

Bu çalışmada ele alınan sipariş gruplama ve araç rotalama problemi, alt problemler göz önüne alındığında NP-zor yapıda bir problem olduğu için makul zamanlarda tüm veri örnekleri için en iyi çözümü vermesi beklenmemektedir. Oluşturulan karma tamsayılı doğrusal programlama modeli, küçük veri örnekleri için denenmekte olup bir kısmı için bir çözüm alınamadığından dolayı metasezgisel algoritmalar ile çözüme ulaşılması gerekmektedir. Bu yüzden, bu çalışmada metasezgisel bir arama algoritması olan genetik algoritma uygulanmakta, farklı veri setleri ile problem çözülmekte ve ulaşılan sonuçlar farklı yöntemler ile kıyaslanmaktadır. Bu bölümde ise, bu tez çalışmasının uygulaması yapılan deponun yapısı, verilerin toplanma süreci, verilerin değerleri ve son olarak bulgular aktarılmaktadır.

6.1. Genetik Algoritma

Bu tez çalışması kapsamında, sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için bir metasezgisel algoritma olan genetik algoritma kullanılmakta olup geliştirilen bu yöntem, algoritmanın genel tanımlanması olarak bu bölümde anlatılmaktadır.

Metasezgisel algoritmalar, makul bir sürede tatmin edici çözümler sunarak büyük boyutlu problem örneklerini çözümlemeye çalışmaktadır. Global optimal çözümler ve hatta sınırlı çözümler bulma garantisi yoktur. Metasezgisel çözüm yöntemleri, son 30 yılda giderek daha fazla popülerlik kazanmaktadır. Birçok uygulamada kullanımları, büyük ve karmaşık sorunları çözmek için verimliliklerini ve etkinliklerini göstermektedir.

Metasezgisel algoritmalar, kendi içerisinde tek nokta tabanlı ve popülasyon tabanlı metasezgisel algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek nokta tabanlı metasezgisel algoritmalar, uygun çözümü farklı noktalarda ararken, popülasyon tabanlı metasezgisel algoritmalar uygun çözümü bir popülasyon içerisinde aramaktadır (Talbi, 2009). Genetik algoritmalar ise, metasezgisel algoritmalar içerisinde popülasyon tabanlı bir metasezgisel arama algoritmasıdır ve Holland (1975) tarafından doğal sistemlerin uyarlanabilir süreçlerini anlamak için geliştirilmektedir. Sonrasında, 1980'lerde optimizasyon ve makine öğrenimine uygulanmaktadır (Jong, 1985; Goldberg ve Holland, 1988).

Biyolojik evrim; nesillerin, atalarından değişerek ve farklılaşarak yeni nesiller oluşturması sürecidir. Biyolojik evrimin temeli, doğal seçilime dayanmaktadır. Doğal seçim ise, canlıların nesillerinin devamını sağlamaktadır ve uyumu yüksek olanın

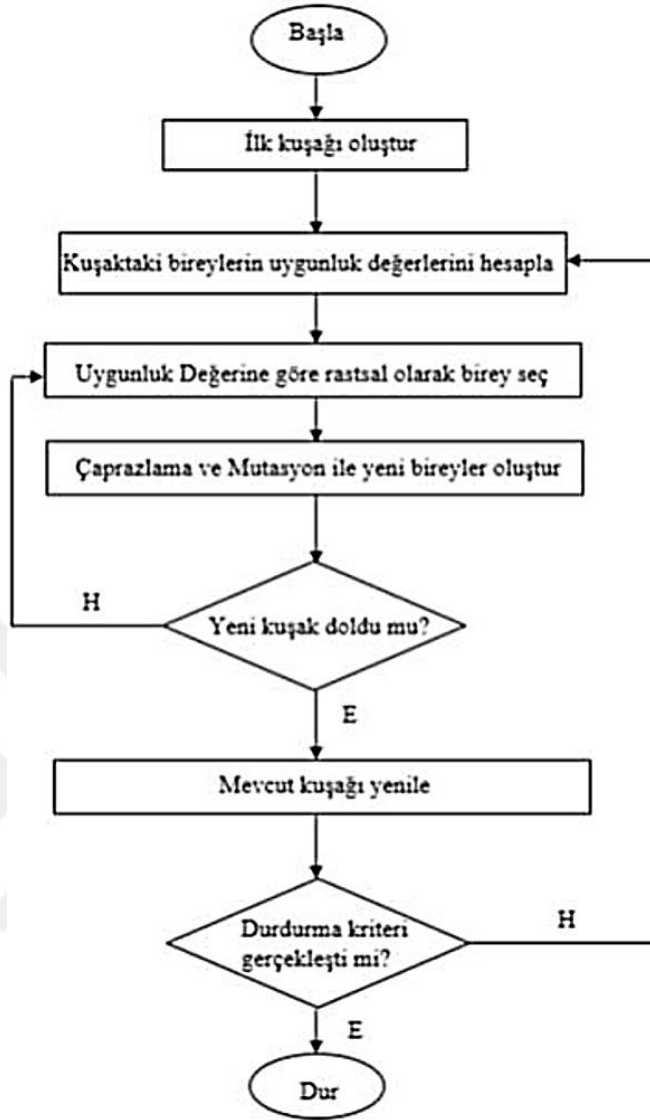
hayatta kalması, uyumu zayıf olanın ise yok olması prensibi üzerine oluşturulmaktadır. Genetik algoritmalar ise biyolojik evrim sürecini bilgisayar ortamında taklit ederek geliştirmektedir (Şahin, 2014).

Genetik algoritma, gerçek hayat sürecinden esinlenerek oluşturulduğu için algoritma içerisindeki farklı kavramlar Tablo 6.1’de belirtildiği üzere eşleştirilmektedir. Gerçek hayattaki kromozom terimi, canlıların DNA’sının bir parçasıdır ve her biri canlının bir özelliğini belirleyen genlerden oluşmaktadır. Genetik algoritma içerisinde ise, kromozom kodlanmış çözümü temsil etmekte ve genler ise çözümün bir parçasını ifade etmektedir. Alel, canlı üzerindeki kalıtsal faktörü temsil etmektedir, algoritma içerisinde ise bu durum genin değeri ile belirtilmektedir. Kromozomların bir bütün hali genotip, son canlı ise fenotip olarak geçmektedir. Algoritma içerisinde ise, bu terimler sırasıyla kodlanmış çözümü ve nihai çözümü temsil etmektedir.

Genetik algoritma genel anlamda, Şekil 6.1’de akış diyagramında belirtildiği üzere adımlara sahiptir. Algoritma başladıktan sonra ilk popülasyon oluşmaktadır. Bu popülasyonun uygunluk değerleri belirlendikten sonra, farklı tekniklere dayanarak eşlenik havuzu oluşturulmaktadır. Bu havuz içerisinde seçilen bireylere veya tümüne genetik operatörler uygulanmakta ve yeni popülasyon elde edilmektedir. Devamında durdurma ölçütleri kontrol edilerek süreç yenilenmekte veya bitirilmektedir.

Tablo 6.1. Genetik algoritma kavramları (Gen ve Cheng, 1999)

Teknik terim	Anlamı
Kromozom	Kodlanmış çözüm
Gen	Çözümün parçası
Alel	Gen değeri
Fenotip	Nihai çözüm
Genotip	Kodlanmış çözüm



Şekil 6.1. Genetik algoritma akış diyagramı (Yıldız, 2019)

Genetik algoritma, 7 temel bileşenden oluşmaktadır (Talbi, 2009). Bu bileşenlerden her biri algoritma için farklı öneme sahiptir ve algoritmanın başarısını etkileyecek düzeydedir. Bu temel bileşenler izleyen şekildedir:

1. Çözüm gösterimi
2. Başlangıç popülasyonu
3. Uygunluk fonksiyonu
4. Seçim stratejisi
5. Yeniden üretim
6. Yer değiştirme stratejisi
7. Durdurma ölçütleri

6.1.1. Çözüm gösterimi

Herhangi bir evrimsel algoritma oluşturma'nın ilk aşaması, problem için bir aday çözümün genetik temsiline karar vermektir. Bu, genotipin tanımlanmasını ve genotipten fenotipe geçişi içermektedir. Bir gösterim şeklinin seçilmesi, çözülmekte olan problem için doğru gösterimin seçilmesi açısından önem arz etmektedir. Çoğu durumda bir dizi seçenek vardır ve gösterimi doğru yapmak, iyi bir algoritma tasarlamanın en zor kısımlarından biridir. Genellikle bu, yalnızca uygulama ve uygulama alanı hakkında iyi bir bilgi birikimi gerektirmektedir. Literatürde yaygın olarak kullanılan bazı gösterim şekilleri aşağıda açıklanmaktadır. Bununla birlikte, burada açıklanan gösterimler yaygın olarak kullanılsa da uygulama için en iyi gösterimler olmayabilmektedir (Eiben ve Smith, 2004). Çözüm gösteriminin bu derece önemli olmasının nedeni, ifade biçimini temsil etmesi ve aynı zamanda yeniden üretim sürecinde genetik operatörlerin seçimlerini etkilemesidir. Literatürde yaygın olarak kullanılan çözüm gösterimleri; ikili kodlama, permütasyon kodlama, ağaç kodlama ve değer kodlama olarak ifade edilmektedir.

İkili Kodlama: İkili kodlama çözüm gösterimi, literatürde oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Genetik algoritmanın ilk çalışması olan Holland (1975) tarafından da bu kodlama biçimi gösterilmektedir. Bu gösterim şeklinde, Şekil 6.2'de gösterildiği üzere kromozom içerisindeki genler yalnızca 1 ve 0 değerlerini almaktadır.

Kromozom 1	1	0	1	1	1
Kromozom 2	0	1	1	0	0

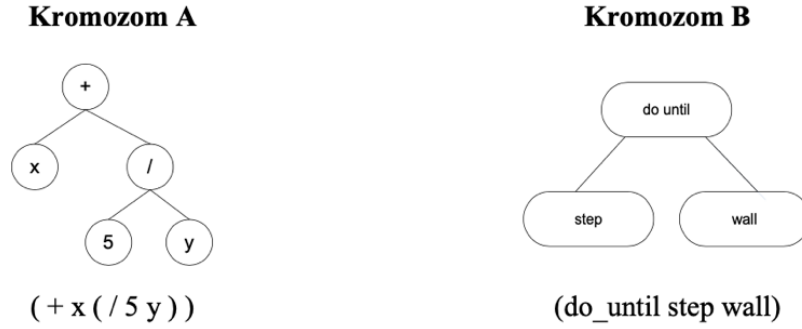
Şekil 6.2. İkili kodlama gösterimi

Permütasyon Kodlama: Kombinatoriyal optimizasyon problemleri genellikle, ürünlerin belirli kısıtlar altında en iyi permütasyonunu ya da kombinasyonunu aradığı için, permütasyon kod gösterimi genellikle kombinatoriyal optimizasyon problemleri için daha yoğun kullanılmaktadır. Şekil 6.3'de örnek bir permütasyon gösterimi ifade edilmektedir.

Kromozom 1	1	4	3	5	2
Kromozom 2	3	5	1	2	4

Şekil 6.3. Permütasyon kodlama gösterimi

Ağaç Kodlama: Daha çok program geliştirme üzerine kullanılan ağaç kodlama çözüm gösteriminde, her kromozom farklı nesnelerin ağacı olarak tanımlanmaktadır. Bu konu ile ilgili bir örnek Şekil 6.4'te belirtilmektedir.



Şekil 6.4. Ağaç kodlama gösterimi ((Gupta, 2006) aktaran (Şahin, 2014))

Değer Kodlama: Değer kodlama kod gösterim şekli genellikle, fonksiyon optimizasyonunda kullanılan bir biçimdir. Değerlerin ifadesi, probleme göre değişiklik göstermekle birlikte içerikten bağımsızdır. Şekil 6.5'te değer kodlama için bir örnek gösterimi verilmektedir.

Kromozom 1	ABCDE	ACDFE	ECBDG	BDEFG	GHWAF
Kromozom 2	ileri	geri	geri	sağ	sol

Şekil 6.5. Değer kodlama gösterimi

6.1.2. Başlangıç popülasyonu

Genetik algoritma içerisinde öncelikli adım, kod gösterimine karar vermek, ikinci adım ise, başlangıç popülasyonunu oluşturmaktır. Başlangıç popülasyonu, algoritmanın çözüm uzayında aramaya başlayacağı yeri temsil ettiği için algoritmanın performansını etkileyen önemli bir faktördür. Bu yüzden, başlangıç popülasyonun bulunduğu yerin seçimi aramayı yönlendirebileceğinden dolayı farklı seçim stratejileri oluşturulmaktadır. Bu stratejiler aşağıda belirtilmektedir (Talbi, 2009). Literatürde mevcut bulunan başlangıç popülasyonu oluşturma biçimleri; rassal üretim, sıralı üretim, paralel üretim ve sezgisel üretimdir.

Rassal Üretim: Rassal üretim stratejisinde başlangıç popülasyonu rassal oluşturulmaktadır. Literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Sıralı Üretim: Başlangıç popülasyonu, aynı zamanda karar uzayında düzgün dağılıma uygun olarak örneklenebilmektedir. Bazı başlatma prosedürleri, optimizasyon problemi

ile ilgili amaç fonksiyonunun veya kısıtlamaların herhangi bir değerlendirmesini gerektirmemektedir. Sıralı üretimde çözümler, çeşitlilik optimize edilecek şekilde sırayla üretilmektedir ve böylelikle çeşitlik sağlanmış olmaktadır.

Paralel Üretim: Paralel üretimde, başlangıç çözümün üretilmesi için birbirinden bağımsız şekilde çözümler üretilmektedir. Burada önemli olan nokta, sıralı üretim stratejisindeki gibi çözümlerin çeşitli olmasıdır. Bu yöntemde çeşitlilik bağımsız çözümler aracılığı ile sağlanmaktadır.

Sezgisel Üretim: Sezgisel üretim yönteminde, başlangıç popülasyonunun oluşturulması için herhangi bir sezgisel çözüm yöntemi kullanılmaktadır. Popülasyon oluşturulduktan sonra, sezgisel algoritma genetik algoritma içerisinde tekrarlanmamaktadır. Bu yöntemde amaç yalnızca başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır.

6.1.3. Uygunluk fonksiyonu

Genetik algoritma içerisinde, başlangıç popülasyonu belirlendikten sonraki adım uygunluk fonksiyonun belirlenmesi ve popülasyonun uygunluk fonksiyonunun hesaplanmasıdır. Uygunluk fonksiyonu, metasezgisel algoritmaların hepsi için oldukça önemli bir bileşendir ve problem içerisindeki amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Ayrıca, ceza faktörleri gibi etmenler de uygunluk fonksiyonuna dahil edilebilmektedir. Uygunluk fonksiyonu ile elde edilen sonuç, uygunluk değeri olarak nitelendirilmektedir. Genetik algoritma sürecine, popülasyondaki uygunluk değerleri belirlendikten sonra eşlenik havuzu oluşturularak devam edilmektedir.

6.1.4. Seçim stratejisi

Genetik algoritma içerisindeki seçim stratejileri, eşlenik havuzu oluşturulması için önemlidir. Eşlenik havuzu ise, bir popülasyondan sonraki popülasyona geçiş aşamasında, yeniden üretim operasyonlarında kullanılacak olan ebeveynlerin bulunduğu havuzdur. Oluşturulan eşlenik havuzunun, yeni popülasyonun belirlenmesinde etkisi fazla olduğu için arama uzayında yönlendirme yeteneği seçim stratejilerinin değerini artırmaktadır.

Genetik algoritmalar, biyolojik evrimsel süreci taklit ettiğinden dolayı seçim stratejisi doğadaki doğal seçim ile eşleşmektedir. Algoritma içerisindeki seçim stratejileri de aynı şekilde gerçek hayattaki süreci taklit etmektedir. Temel anlamda, gerçek hayattaki güçlü olanın yaşaması anlayışı, algoritma içerisinde uyum değeri yüksek olanın bir sonraki nesle aktarılması olarak karşılık bulmaktadır.

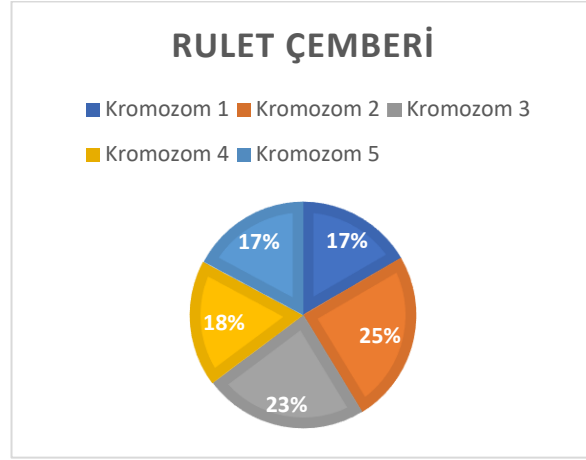
Popülasyondaki her bir kromozom için, uygunluk fonksiyonu hesaplandıktan sonra, belirli bir yöntemle göre eşlenik havuzu oluşturulmakta ve sonrasında bu havuz içerisindeki ebeveynlere farklı stratejilere göre genetik operatörler uygulanmaktadır. Popülasyon içerisinde yeni popülasyona doğru ilerleyecek olan kromozomların belirlenmesi- eşlenik havuzunun oluşturulması- bir seçim işlemidir ve literatürde bu seçim işlemi için farklı yöntemler yer almaktadır. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılan rulet çemberi seçimi, turnuva seçimi ve sıralı seçim yöntemleri izleyen başlıklarda anlatılmaktadır.

6.1.4.1. Rulet çemberi seçimi

Seçim işleminin en basit yöntemi rulet çemberi algoritmasıdır. Kavramsal olarak rulet çemberi, deliklerin boyutlarının seçim olasılıklarını yansıttığı tek kollu bir rulet çemberini tekrar tekrar döndürmekle aynıdır. Genel olarak, algoritma ebeveyn kümesinden bir eşleşme havuzuna alınacak olan üyeleri seçmek için uygulanmaktadır (Eiben ve Smith, 2004). Burada öncelikle, kromozomların uygunluk değerlerine göre kümülatif olasılık dağılımları hesaplanmaktadır. Tablo 6.2’de örnek bir hesaplama ifade edilmektedir. Ardından bir rulet çemberi oluşturulmakta ve rassal olasılıklar seçilmektedir. Şekil 6.6’da oluşturulan bir rulet çemberi örneği gösterilmektedir. Rulet çemberi üzerinde, üretilen değerlere karşılık gelen kromozom seçilerek eşlenik havuzuna eklenmektedir.

Tablo 6.2. Rulet çemberi örneği

	Uygunluk değeri	Kromozom seçim olasılığı	Kümülatif olasılık
Kromozom1	0,00552	0,17	0,17
Kromozom2	0,00822	0,25	0,42
Kromozom3	0,00781	0,23	0,65
Kromozom4	0,00599	0,18	0,83
Kromozom5	0,00571	0,17	1
Toplam	0,03324	1	



Şekil 6.6. *Rulet çemberi örneği*

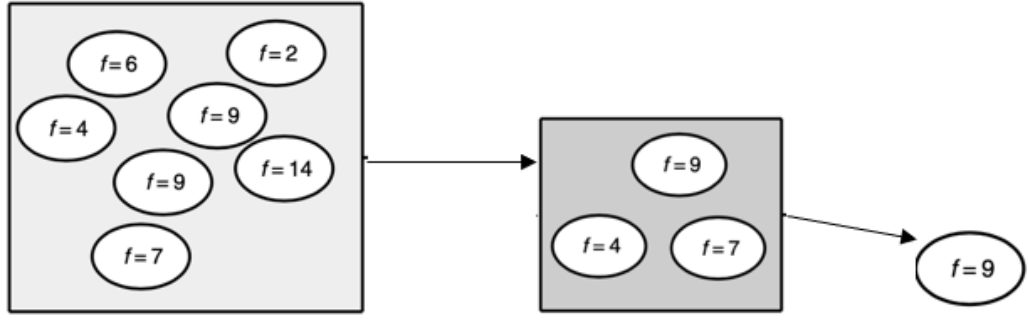
Verilen rulet çemberi örneğine göre üretilen rassal sayılar ve karşılığında seçilen kromozomlar Tablo 6.3’ de ifade edilmektedir. Bu sonuçlara göre 3 numaralı kromozom 3 kez, 2 numaralı kromozom ise 2 kez seçilmektedir.

Tablo 6.3. *Rulet çemberi örneği sonuçları*

Rassal üretilen sayılar	Seçilen kromozom
0,37	Kromozom 2
0,53	Kromozom 3
0,56	Kromozom 3
0,26	Kromozom 2
0,49	Kromozom 3

6.1.4.2. Turnuva seçimi

Turnuva seçimi, k adet çözümün rassal seçilmesinden oluşmakta; k parametresine turnuva grubunun büyüklüğü denilmektedir. Daha sonra, grubun k üyesine en iyisini seçmek için bir turnuva uygulanmaktadır. Ne kadar birey seçilecekse turnuva prosedürü daha sonra o kadar gerçekleştirilmektedir (Talbi, 2009). Turnuva seçimi için bir örnek Şekil 6.7’de verilmektedir. Bu örnekte, 3 boyutlu bir turnuva faaliyeti gerçekleştirilmektedir. Popülasyon içerisinde rassal olarak üç çözüm seçilmektedir. Ardından, bu bireyler arasından en iyi çözüm seçilerek eşlenik havuzuna eklenmektedir.



Şekil 6.7. Turnuva seçim örneği

6.1.4.3. Sıralı seçim

Sıralı seçim, popülasyonu uygunluk temelinde sıralayarak ve seçim olasılıklarını gerçek uygunluk değerlerine göre değil de sıralarına göre bireylere tahsis eden bir seçim yöntemidir. Bu yöntemde, uygunluk değerlerinin kullanılması yerine bireylerin sıraları kullanılmaktadır. Sıra sayısı ile seçim olasılığının eşleştirilmesi, doğrusal veya üstel olarak azalan sıralamalar gibi çeşitlendirilerek yapılabilmektedir (Eiben ve Smith, 2004; Talbi, 2009).

6.1.5. Yeniden üretim

Genetik algoritmalar içerisinde, seçim işlemi ile eşleştirme havuzu oluşturulduktan sonra bu havuz içerisinde yeni popülasyonu oluşturabilmek için çaprazlama, mutasyon ve elitizm olmak üzere 3 çeşit operatör uygulanabilmektedir. Bu operatörlerin uygulanmasının nedeni, arama havuzunda farklı alanları taramak ve daha uygun olan bireylere ulaşmaktır. Bu yüzden, ebeveynler üzerinden genetik operatörler ile oğul bireyler (çocuk) oluşturulmakta ve böylelikle, yeni kromozomlar ile popülasyon çeşitlendirilmiş olmaktadır.

6.1.5.1. Çaprazlama

Çaprazlama, genetik algoritmalar içerisinde yeniden üretim sürecinde ebeveynler üzerinden oğul bireylerin üretilmesi noktasında kullanılabilen ve genetik algoritmanın sonucunu önemli derecede etkileyebilen bir operatördür (Gen ve Cheng, 1999). Çaprazlama işleminde, eşleştirme havuzunda bulunan kromozomların birer çifti rassal olarak seçilmekte ve çaprazlama operatörü bu iki kromozomdan yeni iki kromozom oluşturmak için kullanılmaktadır (Karaboğa, 2014). Literatürde yaygın olarak kullanılan bazı çaprazlama yöntemleri izleyen bölümde anlatılmaktadır.

Tek Nokta Çaprazlama: Tek nokta çaprazlama yönteminde, kromozom içerisinde belirli bir çaprazlama noktası seçilmektedir. Bu noktadan öncesi ve sonrası olmak üzere ebeveyn kromozomları üzerinden Şekil 6.8’de gösterildiği üzere işlem yapılarak yeni oğul bireyler oluşturulmaktadır.

Kromozom 1	3	2	6	1	4	5
Kromozom 2	2	3	4	1	4	5
Kromozom 3	3	4	5	6	2	1
Kromozom 4	1	4	2	3	6	5

Çocuk 1	3	2	6	1	4	5
Çocuk 2	2	3	4	1	6	5
Çocuk 3	3	4	5	6	1	2
Çocuk 4	1	4	2	3	5	6

Şekil 6.8. Tek nokta çaprazlama örneği

İki Nokta Çaprazlama: İki nokta çaprazlama yönteminin tek nokta çaprazlama yönteminden tek farkı, seçilen çaprazlama noktasının iki nokta olmasıdır. Burada seçilen iki noktadan öncesi bir ebeveynden, iki nokta arası diğer ebeveynden ve iki nokta sonrası ilk ebeveynden alınarak Şekil 6.9’da gösterildiği üzere yeni oğul bireyler oluşturulmaktadır.

Kromozom 1	3	2	6	1	4	5
Kromozom 2	2	3	4	1	4	5
Kromozom 3	3	4	5	6	2	1
Kromozom 4	1	4	2	3	6	5

Çocuk 1	3	2	4	1	6	5
Çocuk 2	2	3	6	1	4	5
Çocuk 3	3	4	2	5	6	1
Çocuk 4	1	4	5	6	2	3

Şekil 6.9. İki nokta çaprazlama örneği

Çok Nokta Çaprazlama: Çok nokta çaprazlama yönteminde, çaprazlama noktası ikiden fazla olmaktadır. Bu noktalar üzerinden, ebeveynlerden Şekil 6.10’te verildiği üzere oğul bireyler oluşturulmaktadır.

Kromozom 1	3	6	1	4	5
Kromozom 2	2	4	1	4	5
Kromozom 3	3	5	6	2	1
Kromozom 4	1	2	3	6	5

Çocuk 1	3	4	1	6	5
Çocuk 2	2	6	1	4	5
Çocuk 3	3	2	6	1	5
Çocuk 4	1	5	3	6	2

Şekil 6.10. Çok nokta çaprazlama örneği

Kısmi İlişkilendirilmiş Çaprazlama: Kısmi ilişkilendirilmiş çaprazlama yönteminde, ebeveynler üzerinde bir segment oluşturacak şekilde genler belirlenmektedir. Segment içerisindeki genler, kromozomlar içerisinde çocuklara aktarılmaktadır. Segment dışındaki genler ise, oğul bireylerdeki genler eşleştirilerek eklenmektedir. Örnek olarak Şekil 6.11’te verildiği üzere Kromozom 1’deki değeri 3 olan birinci genin segmentte karşılığı, değeri 2 olan gen olduğu için oğul bireye bu şekilde aktarılmaktadır. Bu ölçüde, diğer genler de tamamlandıktan sonra çaprazlama işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Kromozom 1	3	2	6	1	4	5
Kromozom 2	2	3	4	1	4	5
Kromozom 3	3	4	5	6	2	1
Kromozom 4	1	4	2	3	6	5

Segmentler
2 6 1
3 4 1

Çocuk 1	2	3	4	1	6	5
Çocuk 2	3	2	6	1	4	5
Çocuk 3	6	4	1	3	6	5
Çocuk 4	5	4	3	6	2	1

6 2 1
3 6 5

Şekil 6.11. Kısmi ilişkilendirilmiş çaprazlama örneği

6.1.5.2. Mutasyon

Canlılar üzerinde, DNA ve RNA dizilimlerinde ani bir şekilde oluşan ve kalıcı etkiye sahip olan değişimlere mutasyon denilmektedir (Şahin, 2014). Gerçek hayattaki mutasyonun karşılığı genetik algoritmalarda da mutasyon olarak isimlendirilmektedir ve çaprazlamadan sonra oluşan oğul bireyler üzerinde bazı genlerin değiştirilmesi olarak uygulanmaktadır. Mutasyon, genetik algoritmayı, çaprazlama ile ulaşılamayan bazı çözümlere götürdüğü için önemli bir faktördür. Algoritmada bir parametre olarak kullanılan belirli bir mutasyon oranı verilmekte ve bu orana göre kromozomlar mutasyona uğratılmakta veya uğratılmamaktadır. Mutasyon oranı parametre olabileceği

gibi her iterasyonda farklı şekilde de üretilebilmektedir. Literatürde yaygın olarak kullanılan bazı mutasyon çeşitleri izleyen bölümde ifade edildiği şekildedir:

İkili yer değiştirme mutasyon: Bu yöntemde, kromozom üzerinde iki gen belirlenerek bu genler kendi aralarında yer değiştirmekte ve böylece Şekil 6.12’de verildiği üzere yeni bir kromozoma ulaşılmaktadır.

Kromozom	3	2	6	1	4	5
Mutasyonlu Kromozom	3	1	6	2	4	5

Şekil 6.12. İkili yer değiştirme mutasyon örneği

Ters çevirme mutasyon: Ters çevirme mutasyon yönteminde, kromozom üzerinde bazı genler seçilmektedir. Sonrasında, seçilen genler Şekil 6.13’de verildiği üzere yeni kromozoma ters çevrilerek aktarılmaktadır.

Kromozom	3	4	5	6	1	2
Mutasyonlu Kromozom	3	1	6	5	4	2

Şekil 6.13. Ters çevirme mutasyon örneği

Araya ekleme mutasyon: Araya ekleme mutasyon yönteminde, artarda genler seçilmekte ve bu genler kromozom üzerinde belirlenen diğer iki genin arasına Şekil 6.14’de gösterildiği üzere eklenmektedir.

Kromozom	2	4	1	6	5	3
Mutasyonlu Kromozom	2	4	6	5	3	1

Şekil 6.14. Araya ekleme mutasyon örneği

Sezgisel mutasyon: Sezgisel mutasyon yönteminde Şekil 6.15’de gösterildiği üzere bazı genler seçilmekte ve bu genlerin tüm kombinasyonları üzerinde uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan uygunluk değerleri arasında, en iyi olan hangi kromozom ise o kromozom mutasyonlu kromozom olarak seçilmektedir.

Kromozom	1	4	2	3	5	6
Mutasyonlu Kromozomlar	1	4	5	3	5	6
	5	4	2	3	1	6
	5	4	1	3	2	6
	2	4	1	3	5	6
	2	4	5	3	1	6

Şekil 6.15. Sezgisel mutasyon örneği

6.1.5.3. Elitizm

Elitizm genel anlamda, arama sırasında üretilen “en iyi” çözümlerin sonraki nesillere aktarılmasıdır. Elitizm; her iterasyonda en iyi çözümü, popülasyon içerisinde seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlere tabi tutmadan sonraki nesle aktarmaktadır. Böylece, ulaşılan en iyi değer (kromozom) nesiller boyunca elde tutulmakta ve kaybolmamış olmaktadır. Algoritma sonlandığında, en iyi çözüm son popülasyon içerisinde ve ulaşılabilir durumdadır. En iyi değerden daha iyi bir değere ulaşıldığı takdirde kromozom güncellenerek sürece devam edilmektedir. Bununla birlikte, yeni çözümlerin üretilmesine yüksek elitist bir baskı uygulanırsa, erken bir yakınsama tarafından tuzağa düşürülebileceği için özen gösterilmelidir (Eiben ve Smith, 2004; Talbi, 2009)

6.1.6. Yer değiştirme stratejisi

Değiştirme aşaması hem ebeveyn hem de oğul bireylerin popülasyonlarının hayatta kalanlarının seçimi ile ilgilidir. Popülasyonun büyüklüğü sabit olduğundan, bireylerin belirli bir seçim stratejisine göre seçilmesine izin verilmektedir. Literatürde izleyen şekilde verildiği üzere değiştirme stratejileri bulunmaktadır (Talbi, 2009).

- **Kuşak değiştirme:** Kuşak değiştirme stratejisinde, değiştirme, μ büyüklüğündeki tüm popülasyonu ilgilendirmektedir. Oğul bireyler popülasyonu, sistematik olarak ana popülasyonun yerini almaktadır. Bu strateji, Holland (1975) tarafından önerildiği şekilde uygulanmaktadır.

- **Kararlı durum değiştirme:** Kararlı durum değiştirme stratejisinde, bir algoritmanın her neslinde yalnızca bir oğul birey üretilmektedir. Üretilen bu oğul birey, önceki popülasyonda seçime göre bir bireyin yerini almaktadır. Örneğin, üretilen bu oğul birey, ebeveyn popülasyonunun en kötü bireyinin yerini alabilmektedir.

Bu iki uç değiştirme stratejisi arasında, popölasyondaki belirli sayıda λ bireyinin değiştirilmesini içeren birçok farklı şema uygulanabilmektedir ($1 < \lambda < \mu$). Bu değiştirme stratejileri stokastik veya deterministik olmaktadır.

6.1.7. Durdurma Ölçütleri

Algoritma başlatıldıktan sonra, eğer sonucun en iyi değeri biliniyorsa bu değerde algoritma durdurulmaktadır. Ancak; gerçek hayat problemlerinde çoğu zaman problemin en iyi sonucu bilinmemekte ve bu yüzden bazı durdurma şartlarının tanımlanması gerekmektedir. Literatürde yaygın olarak bilinen durdurma ölçütleri izleyen şekildedir (Eiben ve Smith, 2004):

1. Algoritma, izin verilen en yüksek süreye ulaştığında durdurulmaktadır.
2. Algoritma, toplam uygunluk değerlendirme sayısı belirli bir sınıra ulaştığında durdurulmaktadır.
3. Algoritma, belirli bir uygunluk değerin iyileştirme oranının altına düştüğünde durdurulmaktadır.
4. Algoritma, popölasyon çeşitliliği belirli bir eşiğin altına düştüğünde durdurulmaktadır.

6.2. Uygulamada Genetik Algoritma Kullanımı

Bu çalışmada, sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için bir genetik algoritma kullanımı önerilmektedir. 5.2. bölümde genetik algoritmanın genel tanımlaması yapılmakta olup bu bölümde ise uygulamada kullanılan algoritma detayları verilmektedir.

Çözüm Gösterimi: Öncelikle algoritmanın uygulanabilmesi için ilk adım olan çözüm gösterimleri incelenmektedir. 5.1. başlıkta ifade edildiği üzere literatürde farklı kodlama gösterimleri önerilmektedir. Bu çalışmada ise, Şekil 6.1 'de verilen permütasyon ve rassal anahtar kod gösteriminin bir kombinasyonu kullanılmaktadır. Sonuç olarak, sipariş gruplama ve araç rotalama problemi iki aşamalı bir problemdir ve kodlama gösterimi bu aşamaların her ikisini de sağlamak zorundadır. Bu kod gösterimindeki her sütun bir müşteri/siparişi temsil etmektedir. Şekil 6.16'de görüldüğü üzere; birinci müşteri birinci gruba, ikinci müşteri ikinci gruba ve üçüncü müşteri de birinci gruba atanmaktadır. Araç numarası ikinci satırda yer almaktadır. Böylelikle, birinci grup birinci araca, ikinci grup ikinci araca ve üçüncü grup da birinci araca atanmaktadır. Müşteri sırası 0 ile 1 arasındaki rakamlardan oluşan son satırda belirtilmektedir. Müşteriler, tahsis edildikleri

araca göre küçükten büyüğe sıralama oluşturmaktadır. Buna göre; birinci aracın uğrayacağı müşterilerin ziyaret sıralaması 3-1-4-8-9 olmaktadır.

1	2	1	3	4	1	2	3	1	4	Grup numarası
1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	Araç numarası
0,16	0,92	0,03	0,49	0,5	0,76	0,32	0,57	0,64	0,8	Ziyaret sıralaması

Şekil 6.16. Uygulanan genetik algoritma kod gösterimi

Başlangıç Popülasyonu: Başlangıç popülasyonu, algoritmanın en iyi sonuca ne kadar hızlı ulaşabileceğini etkileyen önemli bir faktördür. Algoritma ne kadar hızlı tamamlanırsa, başlangıç popülasyonu o kadar doğru ve hassas bir şekilde oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, başlangıç popülasyonu birden fazla denemeler yapıldığı için rassal olarak oluşturulmaktadır.

Uygunluk Fonksiyonu: Önerilen algoritmanın uygunluk fonksiyonu, sipariş gruplama ve araç rotalama probleminin amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. 3 ayrı bileşen olarak oluşturulmaktadır. Birincisi, depo içerisindeki yürüme mesafe maliyetini temsil etmektedir. İkincisi aracın depodan çıktıktan sonra müşterilere ürünleri ulaştırmak için kat ettiği mesafe maliyetini ifade etmektedir, üçüncüsü ise gecikme maliyetini belirtmektedir.

Seçim Stratejisi: Bu adımda, ebeveyn kromozomlarını seçmek için eşleşme havuzu oluşturulmaktadır. Bu aşama oldukça önemlidir, çünkü üreme bu çiftleşme havuzunda gerçekleşmektedir. Bu konudaki kaynaklar, 6.4. başlıkta ifade edildiği üzere, rulet çarkı ve turnuva seçim yöntemleri gibi çeşitli seçim yöntemlerini içermektedir. Bu çalışmada, genetik algoritmalarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem olması ve algoritmaya stokastik aramayı dahil etmesi nedeniyle rulet çemberi seçimi kullanılmaktadır (Lipowski ve Lipowska, 2012). Bu yöntemin ilk aşaması, kromozomların amaç fonksiyonu değerlerine göre sıralanmasıdır. İkinci adımda, her bir kromozomun seçim olasılığı hesaplanmaktadır. Üçüncü adım olarak, bu olasılıklar üzerinden kümülatif olasılık değeri hesaplanmaktadır. Dördüncü ve son adım ise, rassal sayıların üretilmesi ve bu sayıların hangi kromozomla ilişkili olduğunu belirlemeyi içermektedir. Böylelikle üretilen rassal sayılara göre bazı kromozomlar belirlenmektedir. Buradaki önemli olan konu, popülasyon sayısının değişmemesi, aynı kalmasıdır. Bu yüzden, olasılık değerlerine göre

bazı kromozomlar birçok kez seçilerek havuza alınmaktadır. Bunun anlamı, iyi amaç fonksiyonuna sahip olan kromozomların seçim ve üreme ihtimallerinin yüksek olmasıdır.

Yeniden Üretim: Yeniden üretim sırasında, eski bir kromozomdan yeni bir kromozom üretilmektedir. Bu çalışmada, yeniden üretim fonksiyonu için 5.5. bölümde ifade edildiği üzere, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmaktadır. Çaprazlama için tek nokta çaprazlama, çift nokta çaprazlama; mutasyon operatörü için ise ikili yer değiştirme, ters çevirme ve araya ekleme mutasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

Yer Değiştirme Stratejisi: Uygulama özelinde yer değiştirme stratejisi olarak popülasyon içerisindeki bireylerin tamamı üzerinde stokastik bir şekilde yer değiştirme stratejisi uygulanmaktadır.

Durdurma Ölçütü: 5.7. bölümde ifade edildiği üzere, literatürde çeşitli durdurma ölçütleri bulunmaktadır. Bu çalışmada ise algoritma, toplam uygunluk değerlendirme sayısı belirli bir sınıra ulaştığında durdurulmaktadır. Böylece, durdurma ölçütü koşum sayısı-iterasyon sayısı olarak ifade edilebilmektedir.

Ceza Fonksiyonu: Uygun olmayan şekilde oluşan kromozomlar için ceza fonksiyonu kullanılarak bu kromozomların uygunluk fonksiyonunun artması sağlanarak, problem bir enküçükleme problemi olduğundan dolayı, sonraki nesillere aktarılması engellenmiş olmaktadır. Bu uygunluk durum kontrolü ise popülasyon oluştuğunda, çaprazlama sonrasında ve mutasyon sonrasında yapılmaktadır. Buna göre, bir kromozom içerisinde hem sipariş toplayıcı kapasite aşımı hem de dağıtım aracı kapasite aşımının olması durumunda, aynı zamanda depo içerisinde herhangi bir siparişin toplanmama ve dağıtım esnasında herhangi bir müşterinin ziyaret edilmemesi durumunda ceza fonksiyonu devreye girmektedir. Bu durumlar süreç içerisinde farklı kısıtları ifade ettiği için kısıtların ceza katsayıları farklı oluşturulmuştur. Böylelikle hesaplanan uygunluk fonksiyonuna ceza fonksiyonu da eklenerek uygunluk fonksiyonu değeri yüksek bir değere ulaşmaktadır. Herhangi bir uygunsuzluğun oluşmadığı durumda ise ceza fonksiyonu sıfır olarak oluşmaktadır. İlgili formülasyon izleyen şekilde gösterildiği üzeredir (Öztürk ve Duman, 2009; Sarma, 2012):

$$c(x) = \sum_i p_i * k f_i \quad (1)$$

$c(x)$ = ceza fonksiyonu

$p_i = i.$ kısıt fonksiyonu için ceza katsayısı

$kf_i = i.$ kısıt fonksiyonu

$$f(x) = f(x) + c(x) \quad (2)$$

6.3. Deneysel Tasarım ile Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi

Örnek çalışmalar, veri parametrelerinin oluşturulabilmesi için incelendiğinde, pek çok çalışmada verilerin farklı yapılarda oluşturulduğu görülmektedir. Tablo 6.4’de bu çalışmaların bir özeti verilmektedir. Bu tabloya göre, bazı çalışmalarda ürün sayısı belirtilmekte, bazılarında ise yalnızca sipariş üzerinden işlem yapıldığı için belirtilmemektedir. Sipariş sayısı, araç kapasitesi ve toplayıcı kapasitesi ise her çalışmada küçük, orta ve büyük boyutlu örnekler için farklı aralıklarda tanımlanmaktadır. Bu yüzden, bu çalışmanın veri yapıları oluşturulurken belirli bir çalışma örnek alınmayıp ilgili çalışmaların hepsi analiz edilmekte ve veri yapıları, buna göre belirli aralıklarda oluşturulmaktadır.

Tablo 6.4. Benzer çalışmaların parametreleri

Çalışma	Faktörler	Küçük	Orta	Büyük
(Cergibozan ve Tasan, 2022)	Sipariş sayısı	10	50	100
	Araç kapasitesi	20	20	20
(Cheng vd., 2015)	Sipariş sayısı	5,6,7	-	50,100,200
	Toplayıcı kapasitesi	4,5	-	4,5
(Henn vd., 2010)	Sipariş sayısı	20,30	40,50	60
	Toplayıcı kapasitesi	30	45	75
(Pinto ve Nagano, 2019)	Sipariş sayısı	10,15	20,30	40,50
	Toplayıcı kapasitesi	50	100	200
	Ürün sayısı	20,30	80,120	240,300
(Tsai vd., 2008)	Sipariş sayısı	25,40	80,100	200,250
	Ürün sayısı	30,80	160,200	300,400
	Toplayıcı kapasitesi	7000	10000	50000
(Xiang vd., 2018)	Sipariş sayısı	8,10	20	40
	Ürün sayısı	5,6	12	20

Oluşturulan veri parametreleri Tablo 6.5’de ifade edildiği üzeredir. Buna göre toplayıcı kapasitesi ve araç kapasitesi sabit olarak alınmakta, sipariş sayısı ve ürün sayısı ise veri boyutuna göre değişkenlik göstermektedir. Veri seti; küçük boyutlu, orta boyutlu ve büyük boyutlu olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır.

Tablo 6.5. *Algoritma parametreleri*

	Sipariş sayısı	Ürün sayısı	Toplayıcı kapasitesi (kg)	Araç kapasitesi (kg)
Küçük boyutlu	5,10,15	30	500	2500
Orta boyutlu	50,60,70	90	500	2500
Büyük boyutlu	100,150,200	250	500	2500

Genetik algoritma kendi içerisinde; çaprazlama oranı, mutasyon oranı, nesil sayısı, popülasyon büyüklüğü başta olmak üzere bazı parametrelere sahiptir. Bu parametreler, algoritma özelinde değişkenlik gösterebilmekte ve algoritma sonucunu etkileyebilen özelliklere sahip olmaktadır. Bu yüzden; bu parametre değerlerinin seçim yöntemi, deneylerin sonuçlarını önemli ölçüde değiştirebilmektedir.

İstatistiksel deney tasarımı, klasik yöntemlerin yetersizliğinden dolayı ortaya çıkmaktadır. İstatistiksel deney tasarımında tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve Taguchi metodu olmak üzere 3 farklı yöntem bulunmaktadır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009). Tam faktöriyel deney tasarımında seviyeler birbirleri ile çarpılarak deneyler oluşturulmaktadır. Buna göre, her seviye ve faktör ayrı ayrı denenmiş olmaktadır. Bu deney türünde, her deney ayrı ayrı denendiği için en fazla zaman ve maliyet kullanılmaktadır. Bu maliyet ve zaman kullanımını azaltmak için ise kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemi geliştirilmektedir. Bu yöntemde göre deney sayısı oransal olarak azaltılmakta ve böylece zaman ve maliyet kullanımı indirgenmiş olmaktadır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

Diğer bir yöntem olan Taguchi metodu ise; süreç performansını, üretkenliğini ve verimini artıran bir istatistiksel yöntem olarak Genichi Taguchi tarafından geliştirilmektedir. Bu yöntemde, kontrol edilemeyen parametrelerin düzeni azaltılarak, kontrol edilebilen faktör düzeylerinin seçildiği bir sistem oluşturulmaktadır (Antony ve Antony, 2001).

Bu çalışmada ise Taguchi metodu kullanılmaktadır. Algoritma parametreleri tasarımında, 5 faktör ve bu faktörlere ait 3 seviye bulunmaktadır. Taguchi metodu; küçük, orta ve büyük boyutlu örnekler için ayrı ayrı oluşturulmaktadır. Buna göre; her veri seti için sipariş sayısı faktörü değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, 5 faktör ve 3 seviye bulunduğu için L27 Ortogonal dizisi kullanılmaktadır. Böylelikle her veri seti için 27 deney yapılmaktadır. Tablo 6.6 ve Tablo 6.7’de sırasıyla indirgenmiş dizi ve faktörler ve seviye parametreleri ifade edilmektedir.

Tablo 6.6. İndirgenmiş Taguchi L27 ortogonal dizisi

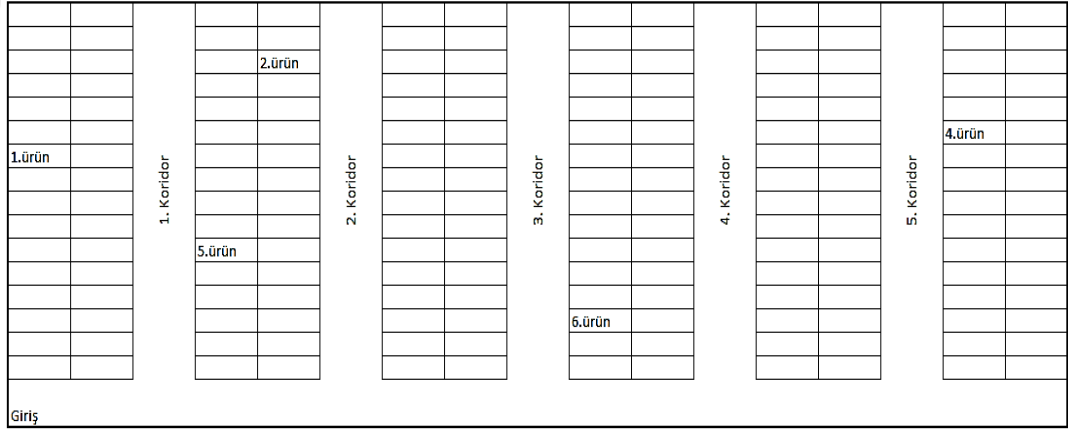
Sıra	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı	Nesil sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Sipariş sayısı
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3
19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

Tablo 6.7. Faktörler ve seviye parametreleri

Faktörler	Seviyeleri		
Çaprazlama oranı	0,5	0,7	1
Mutasyon oranı	0,1	0,3	0,5
Nesil sayısı	500	1000	1500
Popülasyon büyüklüğü	100	500	1000
Sipariş sayısı (Küçük boyut)	5	10	15
Sipariş sayısı (Orta boyut)	50	60	70
Sipariş sayısı (Büyük boyut)	100	150	200

6.4. Depo Yapısı

Bu çalışmada uygulaması yapılan depo, paralel, açık uçlu toplama koridorlarına sahip tek bloklu bir depodur. Depo, Şekil 6.17’de gösterildiği üzere, çapraz koridorlara sahip değildir. Sipariş toplamak için sadece toplama koridorları vardır ve aynı anda hem sağ hem de sol raflardan ürün toplama işlemi yapılabilmektedir. Depoda bulunan ürünler, farklı lokasyonlarda bulunmaktadır. Ürünlerin lokasyonları, ABC analiz yöntemine göre belirlenmektedir. Bu sistemde ürünlerin önem derecesi, talep düzeylerine göre belirlenmekte ve bu düzeylere göre sınıflandırılmaktadır (Görçün, 2013). Dolayısıyla depoda en çok satışı yapılan ürünler A sınıfında, daha az satışı yapılan ürünler B sınıfında, geri kalanlar ise C sınıfında yer almaktadır. A sınıfı deponun ön tarafında, B sınıfı A sınıfının yanında ve C sınıfı ise depolama alanının geri kalan kısmında yer almaktadır.



Şekil 6.17. Ele alınan depo yapısı

6.5. Veri Toplama

Bu çalışmada ele alınan problem olan sipariş gruplama ve araç rotalama problemi, farklı parametrelere sahiptir. Bu parametrelerin bir kısmı sipariş gruplama ve araç rotalama problemini oluşturan alt problemlerden olan, zaman pencereli araç rotalama problemine ait iken, bir kısmı ise aynı şekilde alt problem olan sipariş gruplama problemine aittir. Sipariş gruplama ve araç rotalama problemi oldukça yeni bir problem olduğu için mevcut literatürde ilgili test verisi tamamen mevcut değildir. Bu yüzden, alt problemlerin literatürdeki test verileri incelenmektedir. Buna göre, literatürde sipariş gruplama problemi ile ilgili test verileri bulunmamakta, ancak zaman pencereli araç rotalama problemi ile ilgili test verileri bulunmaktadır. Zaman pencereli araç rotalama problemi için, Solomon (1987) tarafından yapılan çalışmada bulunan test verileri baz alınmaktadır (R101 ve R102 veri yapısı kullanılmaktadır). Sipariş gruplama problemi ile

ilgili olan parametreler için ise bir şirketin verilerine ulaşılmaktadır. Ancak; şirket politikası gereği verilerin tamamı verilmemekte, bazı parametreler ortalama olarak belirtilmektedir. Böylelikle, veri seti hem literatür verileri hem de gerçek şirket verileri ile entegre edilerek oluşturulmaktadır. Solomon (1987) çalışması ile literatüre eklediği test verileri dışındaki verilerin bir kısmı bu başlık altında verilmekte olup kalan kısmı ise Eklerde sunulmaktadır.

Başlık 6.3'te uygulama yapılan şirketin deposu hakkında gerekli bilgiler verilmektedir. Sipariş gruplama ve araç rotalama problemi içerisinde kullanılan depo parametreleri ise Tablo 6.8'de ifade edilmektedir. Toplamda 15 toplama koridoru bulunmaktadır ve toplayıcı, bu toplama koridorlarının hepsini kullanabilmektedir. Ayrıca problemin çözümü için kullanılan diğer veriler izleyen şekildedir:

- Ürünlerin servis süresi ortalama altmış saniyedir.
- Ürünlerin araca yerleştirilme süresi (aracın yüklenme süresi) ortalama kırk beş dakikadır.
- Sipariş toplayıcının depodaki hızı ortalama yedi km/saat'dir.
- Aracın depodan çıkış hızı ortalama yetmiş km/saat'dir.
- Müşterinin hizmet süresi ortalama beş saattir.

Tablo 6.8. Depo parametreleri

Parametre	Değer
Koridor sayısı	15
Koridor genişliği	0.32 (km)
Depolama alanı sayısı	100

6.6. Bulgular

Başlık 6.1'de aktarılan genetik algoritma, PYTHON programlama dilinde kodlanmakta ve Intel Core i5, 2GHz, 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda deneyler yapılmaktadır. Deneyler sonrasında, sonuç ve hesaplama süreleri kaydedilmektedir. Aynı zamanda karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model için çözücü olarak CPLEX çözücüsü kullanılmaktadır.

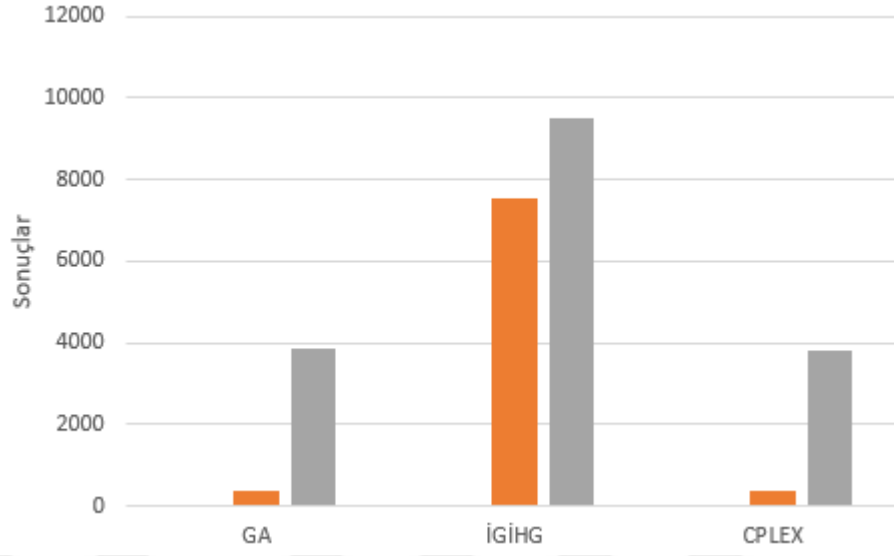
Genetik algoritmaya ek olarak, sipariş gruplama ve araç rotalama probleminin çözüm algoritması, İlk Gelen İlk Hizmet Görür (İĞİHG) kuralı uygulanarak da PYTHON

programlama dilinde kodlanmakta ve deney sonuçları kaydedilmektedir. Algoritmalar 30 kez çalıştırılmakta, aynı zamanda sonuç ve hesaplama süresi her çalıştırmanın ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Sonuçlar Tablo 6.9’da gösterildiği üzere oluşturulmaktadır. Buna göre, küçük boyutlu veri yapısına sahip olan örnek içerisinde 5 ve 10 müşterili örnekler için CPLEX programı sonuç vermekte, ancak 15 müşterili örnek için sonuç verememektedir. 5 müşterili örnek için en iyi sonucu CPLEX ve genetik algoritma verirken, 10 müşterili örnek için en iyi sonucu CPLEX vermektedir.

Tablo 6.9. *Küçük, orta ve büyük boyutlu veri setleri için GA, İĞİHG ve CPLEX sonuçları*

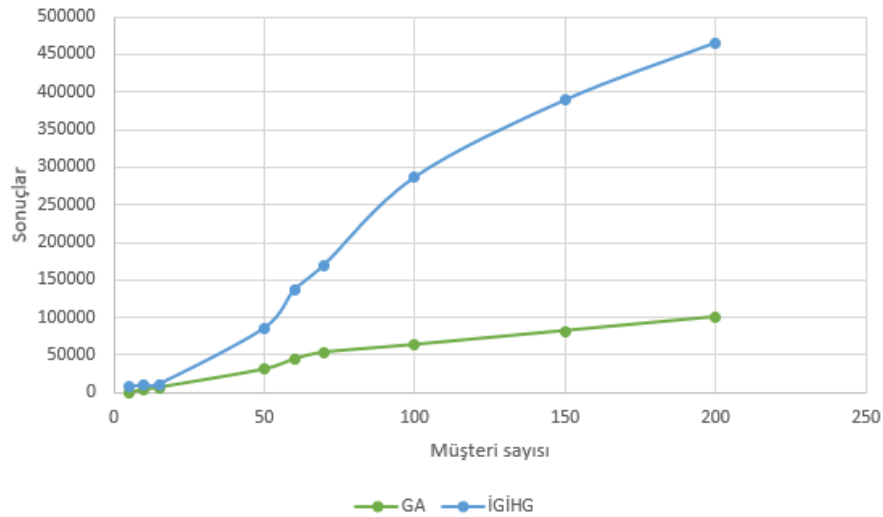
Müşteri Sayısı	GA	İĞİHG	CPLEX
5	379,89	7516,48	379,89
10	3876,36	9524,86	3788,45
15	6902,31	10579,97	-
50	31067,54	85346,72	-
60	44402,22	135846,46	-
70	53340,49	169753,84	-
100	63658,28	286456,70	-
150	82058,66	389451,08	-
200	100414,41	465786,94	-

Şekil 6.18’de 5 ve 10 müşterili veri örneklerinin sonuç grafiği gösterilmektedir. Bu grafikten en iyi sonucun CPLEX yönteminin çıktılarından alındığı anlaşılmaktadır. Bu iki örneğe göre, en kötü sonuçları İĞİHG kuralı ile çözülen algoritma vermektedir.



Şekil 6.18. 5 ve 10 müşterili örnekler için GA, İĞİHG ve CPLEX sonuçları

Küçük, orta ve büyük veri setlerinin GA ve İĞİHG kuralı uygulanarak çözölen deneylerin sonuçları Şekil 6.19’da gösterilmektedir. Bu grafiğe göre, en iyi sonuçlar GA ile alınmakta olup, İĞİHG kuralı ile oluşturulan algoritmanın sonuçları ise GA sonuçlarından kötü durumdadır. Müşteri sayısı arttıkça İĞİHG kuralı uygulanarak çözölen deneyler daha kötü sonuçlar vermektedir. Böylelikle bu grafikten GA’nın tüm veri setleri için en iyi sonuçları verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.19. Veri setleri için GA ve İĞİHG sonuçları

GA ile çözölen sonuçların en iyi olduğuna karar verildikten sonra önemli olan nokta GA parametrelerinin hangisinin en iyi olduğuna karar vermektir. Bunun için ise

Bölüm 6.3'te belirtilen istatistiksel deneysel tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi tekniği kullanılmaktadır. Taguchi tekniği ile oluşturulan deney parametreleri GA ile çözülen sonuçları küçük, orta ve büyük boyutlu veri seri setleri için sırasıyla Tablo 6.10, Tablo 6.11 ve Tablo 6.12'de gösterilmektedir.

Tablo 6.10. *Küçük boyutlu veri seti genetik algoritma sonuçları*

Sipariş sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı	Nesil sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Sonuç	Çözüm süresi (saniye)	En iyi sonuç
5	0,50	0,10	500	100	379,82	2,80	379,82
5	0,50	0,30	1000	500	379,82	10,04	379,82
5	0,50	0,50	1500	1000	379,82	13,22	379,82
5	0,75	0,10	1000	1000	379,82	12,45	379,82
5	0,75	0,30	1500	100	379,82	4,09	379,82
5	0,75	0,50	500	500	379,82	5,86	379,82
5	1,00	0,10	1500	500	379,82	7,70	379,82
5	1,00	0,30	500	1000	379,82	9,31	379,82
5	1,00	0,50	1000	100	379,82	3,82	379,82
10	0,50	0,10	500	100	4238,69	3,55	4072,67
10	0,50	0,30	1000	500	3946,24	20,44	3876,19
10	0,50	0,50	1500	1000	3906,98	22,99	3797,46
10	0,75	0,10	1000	1000	3884,32	20,56	3789,35
10	0,75	0,30	1500	100	4376,71	16,90	4025,67
10	0,75	0,50	500	500	4244,18	8,48	4065,29
10	1,00	0,10	1500	500	3876,36	19,45	3799,47
10	1,00	0,30	500	1000	3884,62	17,63	3806,26
10	1,00	0,50	1000	100	4251,74	15,20	4184,00
15	0,50	0,10	500	100	7221,67	13,18	7045,32
15	0,50	0,30	1000	500	7011,13	19,55	6925,95
15	0,50	0,50	1500	1000	7745,78	23,44	6820,62
15	0,75	0,10	1000	1000	6902,73	20,22	6803,24
15	0,75	0,30	1500	100	7576,92	18,99	7139,25
15	0,75	0,50	500	500	7268,96	15,44	6975,51
15	1,00	0,10	1500	500	7387,76	19,63	7194,36
15	1,00	0,30	500	1000	6902,31	18,00	6820,46
15	1,00	0,50	1000	100	7698,13	20,59	7141,42

Tablo 6.10'da ifade edildiği üzere, 5 müşterili deneylerin hepsi aynı sonucu vermektedir. Bu yüzden, 5 müşterili örnek için yalnızca nesil sayısının 500, popülasyon büyüklüğünün 100, çaprazlama oranının 0,5 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu deneyin çözülmesi yeterli olmaktadır. 10 müşterili veri seti için ise algoritmanın 30 kez çalıştırılması sonucunda ortalama olarak en iyi sonucu nesil sayısının ve popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu deney vermektedir. Aynı zamanda; algoritma çalıştırılmaları sırasında alınan en iyi sonucu 3789,35 ile aynı şekilde bu deney vermektedir. 15 müşterili veri seti için ise, ortalama olarak en iyi sonucu nesil sayısının 500, popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama

oranının 1,00 ve mutasyon oranının 0,30 olduğu deney sonucu vermektedir. Ancak nesil sayısının ve popülasyon sayısının 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu test sonucu da bir öncekine çok yakın sonuç vermektedir ve bu fark göz ardı edilebilir durumdadır. Aynı şekilde; algoritmanın çalıştırılması sonucunda en iyi sonucu gene nesil sayısı ve popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu deney sonucu vermektedir. Böylelikle; küçük boyutlu veri seti için en iyi sonucun nesil büyüklüğü ve popülasyon sayısının 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 iken alındığı deneyler sonucunda tespit edilmektedir.

Tablo 6.11. Orta boyutlu veri seti genetik algoritma sonuçları

Sipariş sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı	Nesil sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Sonuç	Çözüm süresi (saniye)	En iyi sonuç
50	0,50	0,10	500	100	33717,51	47,55	31034,70
50	0,50	0,30	1000	500	31538,19	96,88	28987,54
50	0,50	0,50	1500	1000	31738,78	107,41	28835,00
50	0,75	0,10	1000	1000	31067,54	99,64	28699,51
50	0,75	0,30	1500	100	31858,59	86,77	28987,54
50	0,75	0,50	500	500	32111,83	56,33	29586,09
50	1,00	0,10	1500	500	32069,97	91,88	30250,99
50	1,00	0,30	500	1000	31169,36	86,55	31098,65
50	1,00	0,50	1000	100	32785,25	91,47	29586,09
60	0,50	0,10	500	100	46567,51	60,78	43792,64
60	0,50	0,30	1000	500	45591,93	142,45	42380,79
60	0,50	0,50	1500	1000	44753,21	165,70	41947,87
60	0,75	0,10	1000	1000	44416,18	160,59	42119,05
60	0,75	0,30	1500	100	45174,86	99,58	42365,51
60	0,75	0,50	500	500	47455,49	75,00	43528,78
60	1,00	0,10	1500	500	44402,22	105,69	42120,64
60	1,00	0,30	500	1000	45196,82	105,90	42524,47
60	1,00	0,50	1000	100	47179,33	95,84	44768,12
70	0,50	0,10	500	100	58661,46	82,45	54850,97
70	0,50	0,30	1000	500	54812,19	140,57	52322,43
70	0,50	0,50	1500	1000	53340,49	165,43	51424,66
70	0,75	0,10	1000	1000	54457,84	150,38	51273,94
70	0,75	0,30	1500	100	57678,68	105,47	53807,92
70	0,75	0,50	500	500	57809,37	98,74	55573,58
70	1,00	0,10	1500	500	55003,85	110,33	51289,64
70	1,00	0,30	500	1000	55394,42	129,46	51866,24
70	1,00	0,50	1000	100	57348,36	101,89	51295,48

Orta büyüklükteki veri seti için alınan sonuçlar Tablo 6.11’de sunulmaktadır. Buna göre, 50 müşterili veri seti için hem ortalama olarak en iyi sonuca hem de algoritmanın her deneyde çalıştırılması sonucunda alınan en iyi sonuca aynı deney sonucunda ulaşılmaktadır. Buna göre; nesil sayısı ve popülasyon büyüklüğünün 1000,

çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu deney 50 müşterili veri seti için en iyi sonucu vermektedir. 60 müşterili veri seti için ise, ortalama en iyi sonucu veren deney, nesil sayısının ve popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu deneydir. Algoritmanın 30 kez çalıştırılması sonucu ise en iyi sonucu nesil sayısının 1500, popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranının ve mutasyon oranının 0,50 olduğu deney vermektedir. Ortalama olarak en iyi sonucu veren deney ile aralarında çok büyük bir fark olmamakla birlikte bu fark göz ardı edilebilir durumdadır. 70 müşterili veri seti için ise, ortalama olarak en iyi sonucu nesil sayısının 1500, popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranı ve mutasyon oranının 0,5 olduğu deney vermektedir. Algoritmanın çalıştırılması sonucunda ise, en iyi sonucu nesil sayısının ve popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu deney vermektedir. Böylelikle, orta boyutlu veri seti için en iyi sonucu popülasyon büyüklüğü ve nesil sayısının 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 iken en iyi sonuçların alındığı tespit edilmektedir.

Tablo 6.12. *Büyük boyutlu veri seti genetik algoritma sonuçları*

Sipariş sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı	Nesil sayısı	Popülasyon büyüklüğü	Sonuç	Çözüm süresi (saniye)	En iyi sonuç
100	0,50	0,10	500	100	66492,62	92,09	64509,91
100	0,50	0,30	1000	500	64351,14	282,45	63764,76
100	0,50	0,50	1500	1000	64326,85	304,15	63281,42
100	0,75	0,10	1000	1000	63658,28	299,45	62812,71
100	0,75	0,30	1500	100	66584,35	314,59	64958,72
100	0,75	0,50	500	500	64679,01	102,73	63597,70
100	1,00	0,10	1500	500	64584,34	358,46	63726,75
100	1,00	0,30	500	1000	64173,92	420,71	63827,89
100	1,00	0,50	1000	100	65906,97	275,14	64608,66
150	0,50	0,10	500	100	89698,81	218,15	83969,90
150	0,50	0,30	1000	500	84739,42	300,54	81596,42
150	0,50	0,50	1500	1000	82461,36	366,45	79406,43
150	0,75	0,10	1000	1000	82058,66	325,60	77469,64
150	0,75	0,30	1500	100	86185,51	299,58	82646,32
150	0,75	0,50	500	500	84221,88	190,66	80952,22
150	1,00	0,10	1500	500	83702,72	304,44	81037,65
150	1,00	0,30	500	1000	83031,28	250,54	79801,55
150	1,00	0,50	1000	100	87062,99	345,96	82249,50
200	0,50	0,10	500	100	124882,42	543,88	120703,15
200	0,50	0,30	1000	500	124274,72	665,47	110093,98
200	0,50	0,50	1500	1000	102253,51	953,85	101043,97
200	0,75	0,10	1000	1000	100414,41	985,08	99750,87
200	0,75	0,30	1500	100	115970,72	755,14	107434,15
200	0,75	0,50	500	500	150128,11	850,12	134364,54
200	1,00	0,10	1500	500	115263,11	1008,40	112381,98
200	1,00	0,30	500	1000	115544,62	842,07	105761,44
200	1,00	0,50	1000	100	124195,94	590,14	123810,27

Büyük boyutlu veri setleri için alınan deney sonuçları Tablo 6.12’de verilmektedir. Buna göre, 100 müşteri için örnek için hem ortalama olarak en iyi sonucu hem de alınan en iyi sonucu veren deney nesil sayısı ve popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu deney vermektedir. 150 ve 200 müşteri örnekler için aynı şekilde aynı deney hem ortalama en iyi sonucu hem de en iyi sonucu vermektedir. Böylelikle; büyük boyutlu veri seti için en iyi sonucun genetik algoritma parametrelerinin; nesil sayısı ve popülasyon büyüklüğünün 1000, çaprazlama oranının 0,75 ve mutasyon oranının 0,10 olduğu tespit edilmektedir.

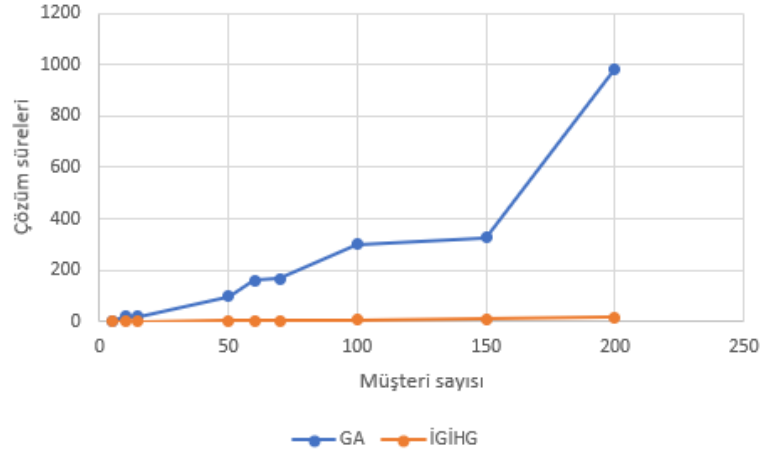
Sonuç olarak; küçük, orta ve büyük boyutlu veri setleri için en iyi genetik algoritma parametrelerinin; nesil sayısı ve popülasyon büyüklüğü 1000, çaprazlama oranı 0,75 ve mutasyon oranının ise 0,10 olduğu ifade edilebilmektedir.

Deneyler sırasında, çözüm süreleri de kaydedilmektedir. Bu çözüm süreleri Tablo 6.13’te ifade edilmektedir. Bu tabloya göre, İĞİHG kuralı ile çözülen algoritma çözüm süreleri en küçük olmaktadır.

Tablo 6.13. Küçük, orta ve büyük boyutlu veri setleri için GA, İĞİHG ve CPLEX çözüm süreleri (saniye)

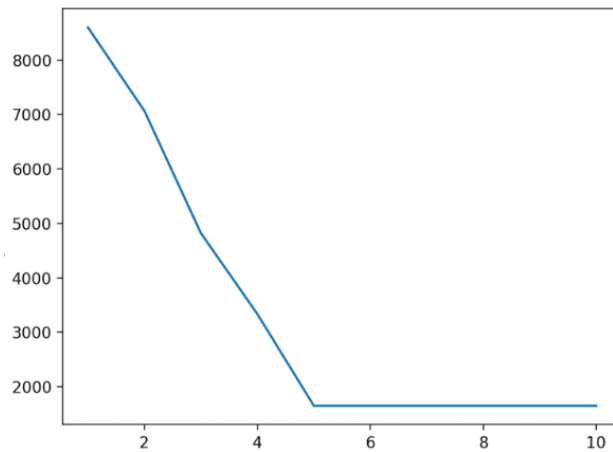
Müşteri Sayısı	GA	İĞİHG	CPLEX
5	3,10	0,64	0,67
10	116,03	0,97	153,26
15	221,45	1,24	-
50	1143,20	2,05	-
60	1358,52	3,87	-
70	3747,96	4,80	-
100	7037,29	7,84	-
150	12753,45	10,71	-
200	14681,46	16,98	-

İĞİHG kuralı uygulanarak oluşturulan algoritma ve genetik algoritma çözümlerinin çözüm süreleri Şekil 6.20’de grafikte belirtilmektedir. Bu grafiğe göre, en iyi çözüm süresine sahip olan metot İĞİHG kuralı uygulanarak çözülen algoritma olmaktadır. Genetik algoritma ile çözümde müşteri sayısı arttıkça çözüm süresi de artmaktadır.

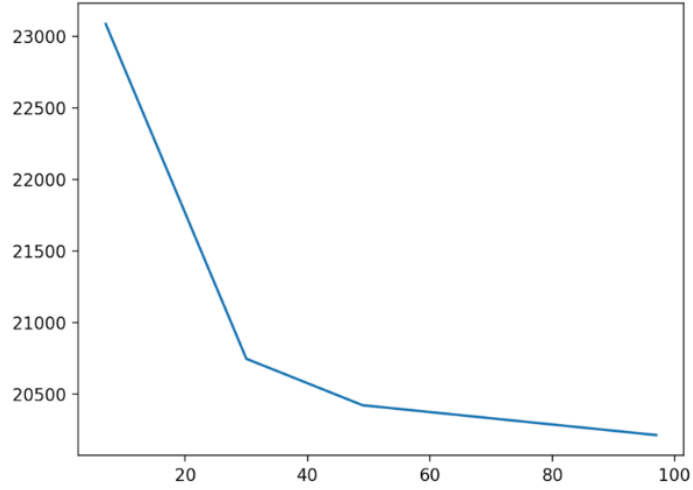


Şekil 6.20. Veri setleri için çözüm süreleri (saniye)

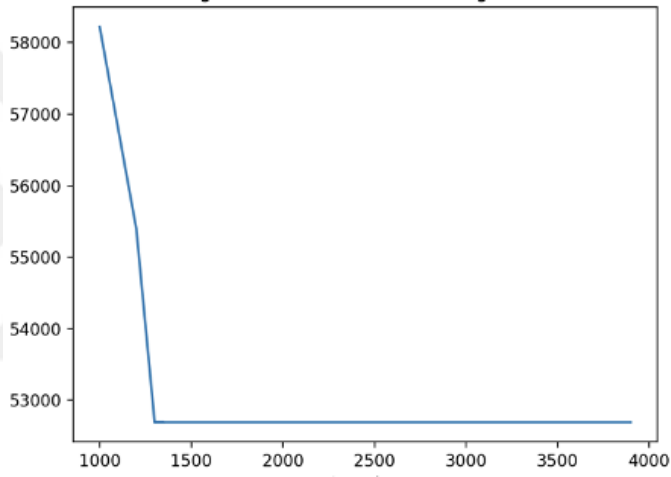
Bir algoritmanın başarısı, çözüme ne kadar hızlı yakınsandığı ile ölçülmektedir (Yağmur ve Kesen, 2020). Aşağıda verilen Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23’de x eksenini iterasyon sayısını, y eksenini ise amaç fonksiyonu değerini göstermektedir. Bu grafikler sırasıyla; küçük, orta ve büyük boyutlu örneklerin yakınsama davranışlarını ifade etmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere, küçük boyutlu örnekler 5 iterasyon sayısı civarında, orta boyutlu örnekler 100 iterasyon sayısı civarında ve büyük boyutlu örnekler ise 1300 iterasyon sayısı civarında iken yakınsama gerçekleştirmektedir. Örneklerin yakınsama davranışlarının değişip değişmediğinin gözlemlenmesi için örnek olarak büyük boyutlu örnekler için 4000 iterasyon için denemeler gerçekleştirilmektedir. Buna göre, GA 1000 iterasyon civarında yakınsayabilmektedir.



Şekil 6.21. Küçük boyutlu örnekler için yakınsama grafiği



Şekil 6.22. Orta boyutlu örnekler için yakınsama grafiği



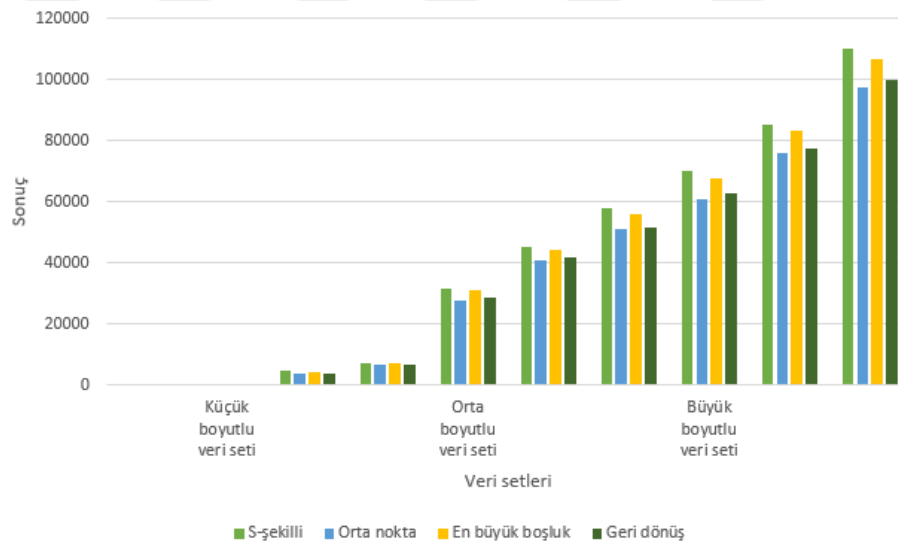
Şekil 6.23. Büyük boyutlu örnekler için yakınsama grafiği

Bu tez çalışması kapsamında çalışılan konu olan sipariş toplama ve araç rotalama süreci içerisinde, depoda bulunan siparişlerin ilgili raflardan toplanması faaliyetini de barındırmaktadır. Bu yüzden, sipariş toplayıcının bu siparişleri hangi toplayıcı rotalama sezgiseline (Başlık 2.5'te toplayıcı rotalama sezgiselleri ifade edilmektedir) göre toplayacağı amaç fonksiyonu değeri için önem arz etmektedir. Çünkü, sipariş toplayıcının siparişleri topladığı sezgisel algoritmaya göre, depo içerisinde geçirilen süre ve mesafe değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada oluşturulan karma tamsayılı doğrusal matematiksel model, geri dönüş rotalama sezgiseline göre oluşturulmakta ve problem bu sezgisel ile çözülmektedir. Ancak; diğer rotalama sezgiselleri olan S-şekil, orta nokta ve en büyük boşluk rotalama sezgiselleri ile problemin çözüm sonuçları değişkenlik gösterebileceği için, mevcut problem bu sezgiseller ile de çözülmekte ve sonuçlar Tablo 6.14'de ifade edilmektedir.

Tablo 6.14. Rotalama sezgisellerine göre problem sonuçları

Veri seti	Müşteri sayısı	S-şekilli	Orta nokta	En büyük boşluk	Geri dönüş
Küçük boyutlu	5	405,86	378,50	401,40	379,82
	10	4652,72	3700,58	4356,46	3789,35
	15	7054,61	6798,48	7068,32	6803,24
Orta boyutlu	50	31584,29	27461,67	30957,58	28699,51
	60	45357,96	40729,47	43967,15	41947,87
	70	57869,17	50981,62	55681,00	51273,94
Büyük boyutlu	100	70286,48	60987,25	67529,59	62812,71
	150	85137,59	75927,47	83467,67	77469,64
	200	109867,90	97158,23	106527,14	99750,87

Aynı zamanda rotalama sezgiselleri ile alınan sonuçları gösteren grafik Şekil 6.24’da ifade edilmektedir. Buna göre; en iyi sonuçlar orta nokta rotalama sezgiseli ile alınırken en kötü sonuçlar ise S-şekilli rotalama sezgiseli ile elde edilmektedir. Orta nokta sezgiselinden sonra bu çalışmada uygulanan geri dönüş sezgiseli de ikinci en iyi sonuçları vermektedir.

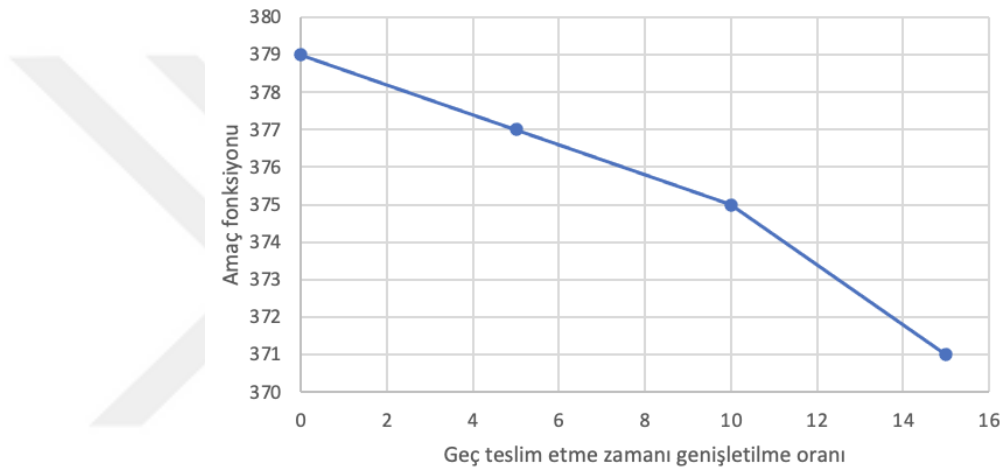


Şekil 6.24. Farklı rotalama sezgiselleri ile çözüm sonuçları

6.7. Duyarlılık Analizi

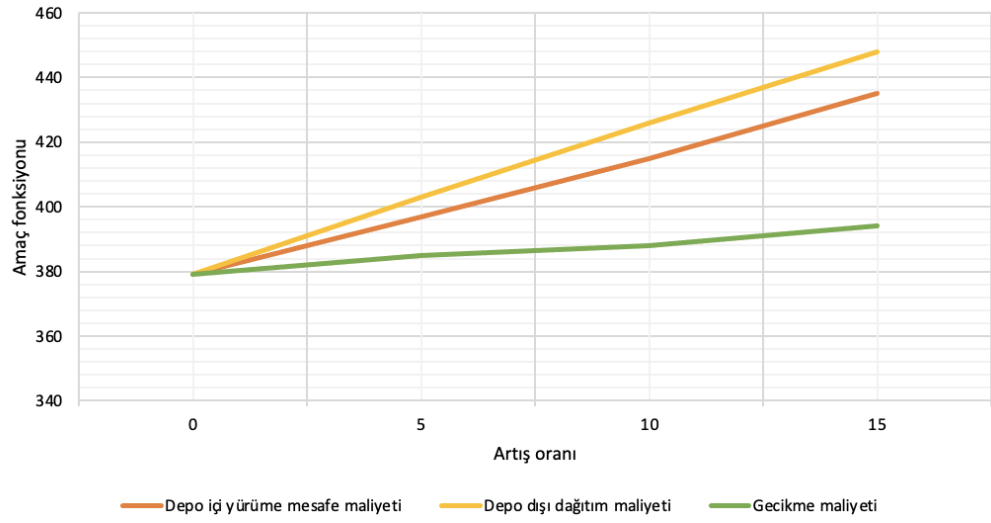
Model parametrelerindeki değişimlerin optimum sonucu etkileyip etkilemediği ve eğer bu parametreler sonucu etkilerse ne yönde değiştirdiği üzerine yapılan çalışma, duyarlılık analizi olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada duyarlılık analizi; amaç fonksiyonu üzerindeki maliyet katsayıları, müşterilerin zaman pencereleri, sipariş toplayıcı kapasitesi ve dağıtım aracı kapasitesi üzerinden yapılmıştır. Şekil 6.25'te görülen grafik müşterilerin ürünleri ile ilgili belirledikleri geç teslim etme süresi üzerine yapılan analizi ifade etmektedir. Buna göre, müşteriler, talep ettikleri geç teslim süresini ne kadar uzatabilirlerse amaç fonksiyonu değeri de buna bağlı olarak düşmektedir. Amaç fonksiyonu içerisinde gecikme maliyeti bileşeni olduğu için ve gecikme yaşayan müşterilerin durumları birbirinden farklı olduğu için, bu analiz sonucuna göre yalnızca geç teslim etme zamanı arttıkça amaç fonksiyonu maliyetinin azaltıldığı ifade edilebilmektedir.



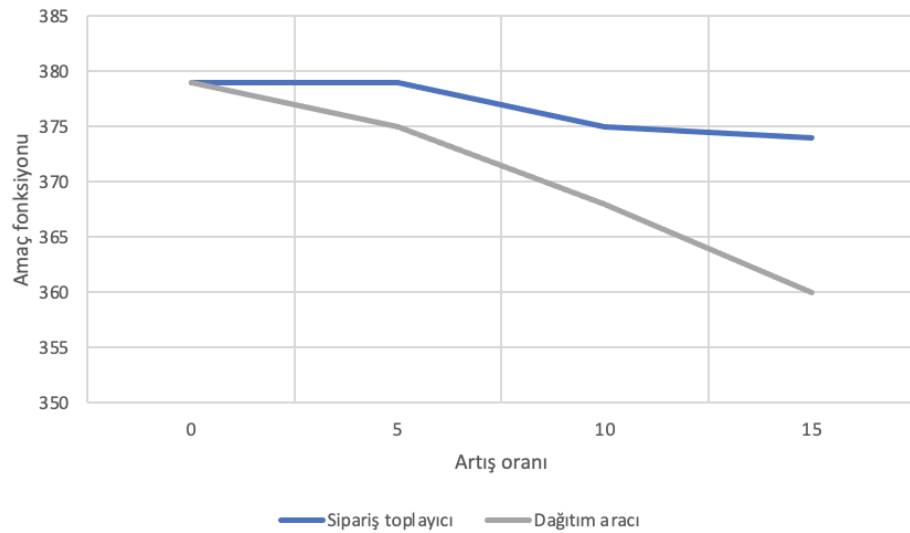
Şekil 6.25. Geç teslim etme zamanı duyarlılık analizi sonuçları

Amaç fonksiyonu parametreleri olan c_1 , c_2 ve c_3 , sırasıyla, depo içi yürüme mesafesi maliyet katsayısı, dağıtım aracı mesafe maliyet katsayısı ve gecikme maliyet katsayısı oranları amaç fonksiyonunda parametre değerler olarak kullanıldığından dolayı duyarlılık analizine dahil edilmiştir. İlgili sonuçlar Şekilde belirtilmektedir ve bu analiz kapsamında üç parametre de belirli oranlarda artırılarak amaç fonksiyonu değeri gözlemlenmiştir. Buna göre, amaç fonksiyonu değerini en çok etkileyen amaç fonksiyonu sabiti depo dışı dağıtım araçlarının mesafe maliyet oranı olmaktadır. Ardından bu sırayı depo içi yürüme mesafe maliyet oranı takip etmektedir ve son olarak amaç fonksiyonunu en az etkileyen amaç fonksiyonu sabiti ise gecikme maliyeti katsayısı olarak belirtilebilmektedir.



Şekil 6.26. Amaç fonksiyonu sabitleri duyarlılık analizi sonuçları

Matematiksel model içerisinde ilgili kısıtlarda sağ taraf sabitleri olarak geçen sipariş toplayıcı kapasitesi ve dağıtım aracı kapasitelerinin değerleri belirli oranlarda artırılarak amaç fonksiyonu değeri gözlemlenmiştir. Buna göre, dağıtım aracı kapasitesinin artışı amaç fonksiyonu değerini ortalama olarak % 1,69 oranında azaltırken, sipariş toplayıcı kapasitesinin artışı ise amaç fonksiyonu değerini ortalama olarak % 0,44 oranında azaltmaktadır.



Şekil 6.27. Kısıtlar ile ilgili duyarlılık analizi sonuçları

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında sipariş gruplama problemi ve zaman pencereli araç rotalama problemi, bütünlük bir şekilde ele alınmakta ve yeni bir karma tamsayılı doğrusal matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen matematiksel model, yalnızca küçük boyutlu örneklerin bir kısmı için CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülebilmekte, küçük boyutlu örneklerin kalan kısmı, orta ve büyük boyutlu örnekler için CPLEX çözücüsü ile çözülememektedir. Bu yüzden; problemin küçük, orta ve büyük boyutlu örnekler için de çözülebilmesi için bir metasezgisel yöntem olan genetik algoritma önerilmiştir. Önerilen bu algoritmanın çözüm sonuçlarının değerlendirilebilmesi için aynı zamanda ilk gelen ilk hizmet görür kuralı ile de problem sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında ulaşılan sonuçlar, bu başlık altında değerlendirilmekte olup literatüre katkı ve uygulama alanına katkılar olarak sınıflandırılmaktadır. Sonrasında ise çalışmanın sınırlılıkları belirtilerek son alt başlık olarak gelecek çalışmalar için öneriler verilmektedir.

7.1. Literatüre Katkılar

Bu çalışma genel anlamda hem sipariş toplama problemi hem de bütünlük problem olan sipariş gruplama ve araç rotalama problemi literatürüne oldukça önemli katkılarda bulunmaktadır. Bunlardan birincisi; bu çalışma ile bütünlük problem olan sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için literatürde ilk kez genetik algoritma yaklaşımı önerilmektedir. Sipariş gruplama ve araç rotalama problemi, mevcut literatürde yalnızca uyarlanmış geniş komşuluk arama algoritması ile çözülmekte olup başka herhangi bir metasezgisel algoritma ile çözülmemektedir. Bu yüzden; bu çalışma ile literatürde bütünlük problem için ikinci kez bir metasezgisel algoritma önerilmektedir.

İkinci olarak; bu tez çalışması ile sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için bütünlük olarak test verileri literatüre eklenmektedir. Literatürde, yalnızca sipariş gruplama ve araç rotalama probleminin alt problemi olan zaman pencereli araç rotalama problemi test verileri mevcut olup, bütünlük problemin gerektirdiği veriler açısından herhangi bir test verisi bulunmamaktadır. Böylelikle; bu çalışma ile sipariş gruplama ve araç rotalama problemi için literatüre test verileri eklenmektedir. Ayrıca bu veriler, sonraki araştırmacıların sonuçlarını kıyaslayabileceği şekilde bulunmaktadır.

Üçüncü olarak; bu çalışma, mevcut literatürde sipariş gruplama ve araç rotalama probleminin çözümünde depo içerisindeki ürünler arası mesafelerin bilinirliği ile ilgili bir varsayım olmadan yapılan ilk çalışmadır. Bu çalışmada, ürünler arasındaki mesafelerin

önceden bilinirliği ile ilgili bir varsayım yoktur ve mesafeler gruplama işlemi yapılırken oluşturulmaktadır. Bu durum, özellikle ürünlerin sık yer değiştirdiği depolar için önem arz etmektedir.

Dördüncü olarak, bu tez çalışması içerisinde sipariş gruplama problemi için detaylı bir literatür çalışması yapılmaktadır. Sipariş gruplama problemi ile ilgili literatürdeki boşluklar ve eksiklikler analiz edilerek araştırmacılar için birtakım bulgulara ulaşılmaktadır.

7.2. Uygulama Alanına Katkıları

Bu tezde ele alınan problem bir gerçek hayat problemi olduğu için teorik katkıların yanı sıra uygulama alanına katkıları da içermektedir. Bu problemin uygulama verileri, uluslararası çalışan bir firmadan alınmakta olup literatürdeki bazı test verileri ile bütünleşik olarak çalıştırılmaktadır. Böylelikle; uygulama bazı varsayımlarla birlikte gerçeğe yakın görünmektedir.

Bu çalışmadaki problem, çevrimiçi ticaret yapan firmalar ve müşterilerine / perakendecilerine bir paletten az ürün ile hizmet veren tüm şirketlerin depoları için uygulanabilir durumdadır. Eğer müşteriler, siparişlerini bir zaman dilimi içerisinde istemekte ve şirkete gelen siparişler de yoğunluk olarak oldukça sık ve miktar olarak az ise şirketin maliyetlerini verimli bir şekilde yönetebilmesi için sipariş gruplama ve zaman pencereli araç rotalama problemini ele almaları gerekmektedir. Bu bağlamda, bu tez çalışması bu şirketler için bir çözüm yöntemi sunmakta ve şirketlere problemi nasıl ele alabilecekleri konusunda yol göstermektedir.

7.3. Çalışmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, bazı konularda sınırlılıklara sahiptir. Bunlardan birincisi; çalışmada kullanılan depo tipinin yalnızca tek çeşit olmasıdır. Çalışma içerisinde, bir çeşit depo tipi için deneyler gerçekleştirilmekte olup farklı depo tipleri için uygulama yapılmamaktadır. İkinci olarak, stok yerleşimi ABC analizine göre yapıldığı için, ürünler arasındaki mesafeler bu yerleşime göre hesaplanmaktadır. Farklı stok yerleşim türleri ile ürünler arasındaki mesafe dolayısı ile ürünler arasındaki gezinme süresi de değişkenlik gösterebilmektedir. Üçüncü olarak, gecikme maliyeti cezası, müşteri tarafından hesaplanan ve süreye ilişkin bir ceza olarak hesaplanmaktadır. Bu ceza, müşteri kaybı ile ilgili herhangi bir faktörü içermemektedir.

7.4. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışma, bazı noktalarda genişletilebilir ve ilerletilebilir durumdadır. İlk olarak, bu çalışmada önerilen karma tamsayılı doğrusal matematiksel model daha az varsayımla, kesin çözüm yöntemleri kullanılarak çözülebilir. Böylelikle, problem için optimum çözüm bulunabilmektedir. İkinci olarak, sürdürülebilirlik için probleme çevresel faktörler eklenebilir. Çünkü bu faktörlerin dikkate alınması hem araç hem de insanlığın geleceği açısından oldukça önemlidir. Üçüncüsü, heterojen filo ya sahip araçlar kullanılarak problem ele alınabilir. Dördüncüsü, bu problem farklı bir depo alt yapısında (örnek olarak çapraz geçitli depolar) çözülebilir ve sonuçlar diğer yerleşim düzeni ile karşılaştırılabilir. Böylelikle, şirket için en uygun depo düzeni bulunmuş olabilir. Beşincisi, gecikme maliyeti cezasına müşteri kaybı sonuçları da eklenerek gecikme maliyeti cezası daha farklı ele alınabilir. Çünkü bazı müşterilere ürünlerinin geç teslimatı yaşandığı takdirde müşteriler ürünleri geri çevirerek kendi müşterilerinin o ürünlerine ulaşmasını engellemektedir. Bu durum şirketler açısından istenmeyen bir durum olduğundan dolayı gecikme maliyeti daha detaylı analiz edilerek problem ele alınabilir. Altıncı olarak ise problem için oluşturulan matematiksel modeldeki bileşenlerin ortak bir çarpana dönüştürmek yerine hedef programlama teknikleri ile çözümlenerek sonuçlar kıyaslanabilir.

KAYNAKÇA

- Aboelfotoh, A., Singh, M., ve Suer, G. (2019). Order batching optimization for warehouses with cluster-picking. *Procedia Manufacturing*, 39, 1464–1473. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.302>
- Ackerman, K. B. (2012). *Practical handbook of warehousing* (Springer S).
- Aerts, B., Cornelissens, T., ve Sörensen, K. (2021). The joint order batching and picker routing problem: modelled and solved as a clustered vehicle routing problem. *Computers ve Operations Research*, 129, 105168.
- Albareda-Sambola, M., Alonso-Ayuso, A., Molina, E., ve de Blas, C. S. (2009). Variable neighborhood search for order batching in a warehouse. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 26(5), 655–683. www.worldscientific.com
- Alipour, M., Zare Mehrjdrdi, Y., ve Mostafaeipour, A. (2020). A rule-based heuristic algorithm for on-line order batching and scheduling in an order picking warehouse with multiple pickers. *RAIRO - Operations Research*, 54(1), 101–107. <https://doi.org/10.1051/ro/2018069>
- Almoustafa, S., Hanafi, S., ve ladenović, N. (2013). New exact method for large asymmetric distance-constrained vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 226(3), 386–394.
- Andriansyah, R., Etman, L., Adan, I. J., ve Rooda, J. E. (2014). Design and analysis of an automated order-picking workstation. *Journal of Simulation*, 8(2), 151–163.
- Antony, J., ve Antony, F. J. (2001). *Teaching the Taguchi Method to Industrial Engineers. Work Study*.
- Ardjmand, E., Bajgiran, O. S., ve Youssef, E. (2019). Using list-based simulated annealing and genetic algorithm for order batching and picker routing in put wall based picking systems. *Applied Soft Computing*, 75, 106–119.
- Armstrong, R. D., Cook, W. D., ve Saipe, A. L. (1979). Optimal Batching in a Semi-Automated Order Picking System. *Journal of the Operational Research Society*, 30(8), 711–720. www.jstor.org

- Azadnia, A. H., Taheri, S., Ghadimi, P., Mat Saman, M. Z., ve Wong, K. Y. (2013). Order batching in warehouses by minimizing total tardiness: A hybrid approach of weighted association rule mining and genetic algorithms. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/246578>
- Azi, N., Gendreau, M., ve Potvin, J.-Y. (2007). An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes. *European Journal of Operational Research*, 178(3), 755–766.
- Azi, N., Gendreau, M., ve Potvin, J.-Y. (2010). An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research*, 202(3), 756–763.
- Badeau, P., Guertin, F., Gendreau, M., Potvin, J.-Y., ve Taillard, E. (1997). A parallel tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5(2), 109–122.
- Baker, B. M., ve Ayeche, M. (2003). A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers ve Operations Research*, 30(5), 787–800.
- Balseiro, S. R., Loiseau, I., ve Ramonet, J. (2011). An ant colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the time dependent vehicle routing problem with time windows. *Computers ve Operations Research*, 38(6), 954–966.
- Behnke, M., Kirschstein, T., ve Bierwirth, C. (2020). A column generation approach for an emission-oriented vehicle routing problem on a multigraph. *European Journal of Operational Research*, 288(3), 794–809.
- Bell, J. E., ve McMullen, P. R. (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced Engineering Informatics*, 18(1), 41–48.
- Berghman, L., Leus, R., ve Spieksma, F. C. (2014). Optimal solutions for a dock assignment problem with trailer transportation. *Annals of Operations Research*, 213, 3--25.
- Bianchessi, N., ve Righini, G. (2007). Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. *Computers ve Operations Research*, 34(2), 578–594.

- Boz, E., & Aras, N. (2022). The order batching problem: A state-of-the-art review. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(2), 402-420.
- Bozer, Y. A., ve Kile, J. W. (2008). Order batching in walk-and-pick order picking systems. *International Journal of Production Research*, 46(7), 1887–1909. <https://doi.org/10.1080/00207540600920850>
- Braekers, K., Ramaekers, K., ve van Nieuwenhuyna, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers ve Industrial Engineering*, 99, 300–313.
- Braekers, K., Ramaekers, K., ve van Nieuwenhuysen, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers ve Industrial Engineering*, 99, 300–313.
- Briant, O., Cambazard, H., Cattaruzza, D., Catusse, N., Ladier, A. L., ve Ogier, M. (2020). An efficient and general approach for the joint order batching and picker routing problem. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.059>
- Bué, M., Cattaruzza, D., Ogier, M., ve Semet, F. (2019). A Two-Phase Approach for an Integrated Order Batching and Picker Routing Problem. *A View of Operations Research Applications*, 3–18.
- Can Atasagun, G., ve Karaoğlu, İ. (2015). Zaman bağımlı eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi.
- Cano, J. A. (2019). Parameters for a genetic algorithm: An application for the order batching problem. *IBIMA Business Review*, 2019, 802597. <https://doi.org/10.5171/2019.802597>
- Cano, J. A., Correa-Espinal, A. A., ve Gómez-Montoya, R. A. (2020). Mathematical programming modeling for joint order batching, sequencing and picker routing problems in manual order picking systems. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 32(3), 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.02.004>

- Cano, J. A., ve Correa-Espinal, Alexander Gomez-Montoya, R. (2020). Using genetic algorithms for order batching in multi-parallel-aisle picker-to-parts systems. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 13(4), 417–434.
- Caputo, A. C., ve Pelagagge, P. M. (2006). Management criteria of automated order picking systems in high-rotation high-volume distribution centers. *Industrial Management ve Data Systems*, 1359–1383.
- Cergibozan, Ç., ve Taşan, A. S. (2019). Modelling and Optimization of Order Batching Problem in Warehouse Systems.
- Cergibozan, Ç., ve Tasan, A. S. (2022). Genetic algorithm based approaches to solve the order batching problem and a case study in a distribution center. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33(1), 137–149. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01653-3>
- Chen, M. C., ve Wu, H. P. (2005). An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *Omega*, 33(4), 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.05.003>
- Chen, T. L., Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., ve Chan, L. K. (2015). An efficient hybrid algorithm for integrated order batching, sequencing and routing problem. *International Journal of Production Economics*, 159, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.029>
- Chen, W., Zhang, Y., & Zhou, Y. (2022). Integrated scheduling of zone picking and vehicle routing problem with time windows in the front warehouse mode. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107823.
- Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., Chen, T. L., ve Jung-Woon Yoo, J. (2015). Using a hybrid approach based on the particle swarm optimization and ant colony optimization to solve a joint order batching and picker routing problem. *International Journal of Production Economics*, 170, 805–814. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.021>
- Christofides, N. (1976). The Vehicle Routing Problem. *Revue Française d'automatique, Informatique, Recherche Opérationnelle. Recherche Opérationnelle*, 10, 55–70.

- Claeys, D., Adan, I., ve Boxma, O. (2016). Stochastic bounds for order flow times in parts-to-picker warehouses with remotely located order-picking workstations. *European Journal of Operational Research*, 254(3), 895–906.
- Clarke, G., ve Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
- Coene, S., Arnout, A., ve Spieksma, F. C. (2010). On a periodic vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 61(12), 1719–1728.
- Cormier, G. (2005). Operational research methods for efficient warehousing. In *Logistics systems: design and optimization* (pp. 93--122). Springer.
- Çayır, B. (2016). Zaman Kısıtı Altında Depo Yükleme Noktalarına Araçların Atanması Problemi (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey))
- Dantzig G.B., ve Ramser J.H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91.
- de Jong, K. A. (1985). Genetic algorithms: A 10 year perspective. *Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, 9–177.
- Denli, Z. (2008). Sipariş Toplama Operasyonlarında Çekirdek Gruplama Algoritmasına Dayalı Sezgisel Rota Belirleme Stratejilerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama.
- Eiben, A. E., ve Smith, J. E. (2004). Introduction to Evolutionary Computing. In *Kybernetes* (Vol. 33). <https://doi.org/10.1108/03684920410699216>
- Ekşioğlu, B., Vura, A. V., ve Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers ve Industrial Engineering*, 57(4), 1472–1483.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., ve Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers ve Industrial Engineering*, 57(4), 1472–1483.
- Elsayed, E. A. (1981). Algorithms for optimal material handling in automatic warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 19(5), 525–535. <https://doi.org/10.1080/00207548108956683>

- Elsayed, E. A., Lee, M. K., Kim, S., ve Scherer, E. (1993). Sequencing and batching procedures for minimizing earliness and tardiness penalty of order retrievals. *International Journal of Production Research*, 31(3), 727–738. <https://doi.org/10.1080/00207549308956753>
- Elsayed, E. A., ve Stern, R. G. (1983). Computerized algorithms for order processing in automated warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 21(4), 579–586. <https://doi.org/10.1080/00207548308942392>
- Elsayed, E. A., ve Unal, O. I. (1989). Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 27(7), 1097–1114. <https://doi.org/10.1080/00207548908942610>
- Erdem Demirtaş, Y., ve Özdemir, E. (2017). Dinamik Araç Rotalama Problemleri İçin Yeni Bir Çözüm Önerisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(3), 807–823.
- Erdoğan, S., ve Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100–114.
- Faulin, J., Gilibert, M., Juan, A. A., Vilajosana, X., ve Ruiz, R. (2008). SR-1: A simulation-based algorithm for the capacitated vehicle routing problem. 2008 Winter Simulation Conference, 2708–2716.
- Franzke, T., Grosse, E. H., Glock, C. H., ve Elbert, R. (2017). An investigation of the effects of storage assignment and picker routing on the occurrence of picker blocking in manual picker-to-parts warehouses. *The International Journal of Logistics Management*, 841–863.
- Frazelle, E., ve Frazelle, E. (2002). *World-class warehousing and material handling* (New York:).
- Gademann, A., Berg, V. den, ve H, H. (2001). An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 33(5), 385–398.

- Gademann, N., ve van de Velde, S. (2005). Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 37(1), 63–75. <https://doi.org/10.1080/07408170590516917>
- Gelareh, S., Monemi, R. N., Semet, F., ve Goncalves, G. (2016). A branch-and-cut algorithm for the truck dock assignment problem with operational time constraints. *European Journal of Operational Research*, 249, 1144--1152.
- Gen, M., ve Cheng, R. (1999). *Genetic algorithms and engineering optimization*. John Wiley ve Sons.
- Ghoseiri, K., ve Ghannadpour, S. F. (2010). Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm. *Ghannadpour, Seyed Farid*, 10(4), 1096–1107.
- Gibson, D. R., ve Sharp, G. P. (1992a). North-Holland Order batching procedures. In *European Journal of Operational Research (Vol. 58)*.
- Gibson, D. R., ve Sharp, G. P. (1992b). Order batching procedures. *European Journal of Operational Research*, 58, 57-67.
- Gil-Borrás, S., Pardo, E. G., Alonso-Ayuso, A., ve Duarte, A. (2019). Basic VNS for a variant of the Online Order Batching Problem. *International Conference on Variable Neighborhood Search*, 17–36.
- Glize, E., Jozefowicz, N., ve Nguveu, S. U. (2022). An ε -constraint column generation-and-enumeration algorithm for Bi-Objective Vehicle Routing Problems. *Computers ve Operations Research*, 138, 105570.
- Goetschalckx, M., ve Donald Ratliff, H. (1988). Order picking in an aisle. *IIE Transactions*, 20, 53-62.
- Gökçe, B., ve Taşgetiren, S. (2009). Kalite için Deney Tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 71–83.
- Goksal, F. P., Karaoglan, I., ve Altiparmak, F. (2013). A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers ve Industrial Engineering*, 65(1), 39–53.

- Goldberg, D. E., ve Holland, J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. Addison-Wesley.
- Golden, B. L., Magnanti, T. L., ve NguyenH.Q. (1977). Implementing vehicle routing algorithms. Networks, 7, 113–148.
- Golden, B. L., Raghavan, S., ve Wasil, E. A. (2008). The vehicle routing problem: latest advances and new challenges. Springer Science \ve Business Media.
- Görçün, Ö. F. (2013). Depo ve envanter yönetimi (Beta Basım Yayım).
- Görçün, Ö. F. (2017). Depo ve envanter yönetimi: tedarik zinciri ve lojistik yönetimi boyutlarıyla. Beta.
- Görener, A. (2012). Depolama Sistemlerinde Sipariş Toplama İşlemlerinin Optimizasyonu.
- Gu, J., Goetschalckx, M., ve McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. European Journal of Operational Research, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>
- Gupta, R. K. (2006). Genetic Algorithms-An Overview. Impulse.
- Gutiérrez-Jarpa, G., Desaulniers, G., Laporte, G., ve Marianov, V. (2010). A branch-and-price algorithm for the vehicle routing problem with deliveries, selective pickups and time windows. European Journal of Operational Research, 206(2), 341–349.
- Hall, R. W. (1993). Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers), 25(4), 76–87. <https://doi.org/10.1080/07408179308964306>
- Hart, Peter E and Nilsson, Nils J and Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 4, 100–107.
- Henn, S. (2012). Algorithms for on-line order batching in an order picking warehouse. Computers and Operations Research, 39(11), 2549–2563. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.12.019>

- Henn, S. (2015). Order batching and sequencing for the minimization of the total tardiness in picker-to-part warehouses. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27(1), 86–114. <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9164-1>
- Henn, S., ve Wäscher, G. (2012). Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *European Journal of Operational Research*, 222(3), 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.05.049>
- Henn, S., Koch, S., Doerner, K. F., Strauss, C., ve Wäscher, G. (2010). Metaheuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *Business Research*, 3, 82–105.
- Henn, S., Koch, S., ve Wäscher, G. (2012). Order batching in order picking warehouses: A survey of solution approaches. In Springer 4 (Vol. 9781447122, pp. 105–137). TUT Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6_6
- Henn, S., ve Schmid, V. (2013). Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems. *Computers and Industrial Engineering*, 66(2), 338–351. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.07.003>
- Ho, Y. C., Su, T. S., ve Shi, Z. bin. (2008). Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles. *Computers and Industrial Engineering*, 55(2), 321–347. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.018>
- Ho, Y. C., ve Tseng, Y. Y. (2006). A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre with two cross-aisles. *International Journal of Production Research*, 44(17), 3391–3417. <https://doi.org/10.1080/00207540600558015>
- Hojaghani, L., Nematian, J., Abbas Shojaie, A., ve Javadi, M. (2019a). Metaheuristics for A New MINLP Model with reduced response time for On-line Order Batching. *Scientia Iranica*.
- Hojaghani, L., Nematian, J., Shojaie, A. A., ve Javadi, M. (2019b). Development of an online order batching algorithm in blocked warehouse. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 37(2), 2215–2229. <https://doi.org/10.3233/JIFS-182527>
- Holland, J. C. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*.

- Holland, W., ve Sodhi, M. S. (2004). Quantifying the effect of batch size and order errors on the bullwhip effect using simulation. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 7, 251–261.
- Hong, S., ve Kim, Y. (2017). A route-selecting order batching model with the S-shape routes in a parallel-aisle order picking system. *European Journal of Operational Research*, 257(1), 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.07.017>
- Hsu, C. M., Chen, K. Y., ve Chen, M. C. (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 56(2), 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2004.06.001>
- Huang, Y., Zhao, L., van Woensel, T., ve Gross, J.-P. (2017). Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, 169–195.
- Hussain, M., ve Drake, P. R. (2011). Analysis of the bullwhip effect with order batching in multi-echelon supply chains. *International Journal of Physical Distribution \ve Logistics Management*.
- Hwang, H., Baek, W. J., ve Lee, M. K. (1988). Clustering algorithms for order picking in an automated storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 26(2), 189–201. <https://doi.org/10.1080/00207548808947853>
- Hwang, H., ve Kim, D. G. (2005). Order-batching heuristics based on cluster analysis in a low-level picker-to-part warehousing system. *International Journal of Production Research*, 43(17), 3657–3670. <https://doi.org/10.1080/00207540500151325>
- Hwang, H., ve Lee, M.-K. (1988). Order batching algorithms for a man-on-board automated storage and retrieval system. *Engineering Costs and Production Economics*, 13, 285–294.
- Gil-Borras, S., Pardo, E. G., Alonso-Ayuso, A., ve Duarte, A. (2021). A heuristic approach for the online order batching problem with multiple pickersA heuristic approach for the online order batching problem with multiple pickers. *Computers ve Industrial Engineering*, 160, 107517.

- Jane, C. C. (2000). Storage location assignment in a distribution center. *International Journal of Physical Distribution \ve Logistics Management*.
- Juan, A., Faulin, J., Grasman, S., Riera, D., Marull, J., ve Mendez, C. (2011). Using safety stocks and simulation to solve the vehicle routing problem with stochastic demands. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(5), 751–765.
- Karaboğa, D. (2014). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*. Nobel Yayıncılık.
- Kłodawski, M., Jacyna, M., Lewczuk, K., ve Wasiak, M. (2017). The Issues of Selection Warehouse Process Strategies. *Procedia Engineering*, 187, 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.399>
- Koch, S., ve Wäscher, G. (2016). A grouping genetic algorithm for the Order Batching Problem in distribution warehouses. *Journal of Business Economics*, 86(1–2), 131–153. <https://doi.org/10.1007/s11573-015-0789-x>
- Konstantakopoulos, G. D., Gayialis, S. P., ve Kechagias, E. P. (2020). Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: A literature review and classification. *Operational Research*, 1–30.
- Koster, M. B. M., van der Poort, E. S., ve Wolters, M. (1999). Efficient Order Batching Methods in Warehouses. *International Journal of Production Research*, 37(7), 1479–1504. <https://doi.org/10.1080/002075499191094>
- Koster, R., Le-Duc, T., ve Roodbergen, K. J. (2007). Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Kuhn, H., Schubert, D., ve Holzapfel, A. (2020). Integrated Order Batching and Vehicle Routing Operations in Grocery Retail – A General Adaptive Large Neighborhood Search Algorithm. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.03.075>
- Kulak, O., Sahin, Y., ve Taner, M. E. (2012). Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search

- algorithms. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24(1), 52–80.
<https://doi.org/10.1007/s10696-011-9101-8>
- Kumar, Suresh Nanda Panneerselvam, R. (2012). A survey on the vehicle routing problem and its variants. Scientific Research Publishing.
- Kurul, F. C. (2013). Araç Rotalama Problemi.
- Kuşçu, Ö., ve Küçüksille, E. U. (2009). Araç Rotalama Sistemlerinde Sezgisel Yöntemler.
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43(4), 408–416.
- Le-Duc, T., ve de Koster, R. M. B. M. (2007). Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse. *European Journal of Operational Research*, 176(1), 374–388. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.052>
- Li, F., Golden, B., ve Wasil, E. (2007). The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results. *Computers ve Operations Research*, 34(10), 2918–2930.
- Li, J., Huang, R., ve Dai, J. B. (2017). Joint optimisation of order batching and picker routing in the online retailer’s warehouse in China. *International Journal of Production Research*, 55(2), 447–461.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1187313>
- Lin, C. C., Kang, J. R., Hou, C. C., ve Cheng, C. Y. (2016). Joint order batching and picker Manhattan routing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 95, 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.009>
- Lipowski, A., ve Lipowska, D. (2012). Roulette-wheel selection via stochastic acceptance. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 391(6), 2193–2196.
- Luo, C., ve Ting, C. (2017). An Ant Colony Optimization for the Multi-Dock Truck Scheduling Problem with Cross-Docking. *Int. J. Oper. Res*, 14, 77–87.
- Lysgaard, J. (1997). Clarke ve Wright’s savings algorithm. Department of Management Science and Logistics, The Aarhus School of Business, 44, 1–7.

- Ma, T., ve Zhao, P. (2014). A Review of Algorithms for Order Batching Problem in Distribution Center. International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science (LEMCS 2014), 172–175.
- Malandraki, C., ve Daskin, M. S. (1992). Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms. *Transportation Science*, 26(3), 185–200.
- Markovic, H., Cavar, I., ve Caric, T. (2005). Using data mining to forecast uncertain demands in stochastic vehicle routing problem. 13th International Symposium on Electronics in Transport (ISEP), Slovenia, 1–6.
- Matusiak, M., de Koster, R., Kroon, L., ve Saarinen, J. (2014). A fast simulated annealing method for batching precedence-constrained customer orders in a warehouse. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 968–977. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.001>
- Matusiak, M., de Koster, R., ve Saarinen, J. (2017). Utilizing individual picker skills to improve order batching in a warehouse. *European Journal of Operational Research*, 263(3), 888–899. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.05.002>
- Menéndez, B., Bustillo, M., Pardo, E. G., ve Duarte, A. (2017a). General variable neighborhood search for the order batching and sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 263, 82--93.
- Menéndez, B., Pardo, E. G., Sánchez-Oro, J., ve Duarte, A. (2017b). Parallel variable neighborhood search for the min–max order batching problem. *International Transactions in Operational Research*, 24(3), 635–662. <https://doi.org/10.1111/itor.12309>
- Miao, Z., Lim, A., ve Ma, H. (2006). Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems*, 262--271.
- Miao, Z., Zhang, J., Lan, Y., ve Su, R. (2019). A two-stage genetic algorithm for the truck-door assignment problem with limited capacity vehicles and storage area. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 28, 285--298.

- Mingozi, A., Roberti, R., ve Toth, P. (2013). An exact algorithm for the multitrip vehicle routing problem. *Inform Journal on Computing*, 25(2), 193–207.
- MirHassani, S., ve Abolghasemi, N. (2011). A particle swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11547–11551.
- Moons, S., Braekers, K., Ramaekers, K., Caris, A., ve Arda, Y. (2019). The value of integrating order picking and vehicle routing decisions in a B2C e-commerce environment. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6405–6423. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566668>
- Moons, S., Ramaekers, K., Caris, A., ve Arda, Y. (2018). Integration of order picking and vehicle routing in a B2C e-commerce context. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30(4), 813–843. <https://doi.org/10.1007/s10696-017-9287-5>
- Mulcahy, D. E. (1994). *Warehouse distribution and operations handbook*. McGraw-Hill Professional.
- Muter, I., ve Öncan, T. (2015). An exact solution approach for the order batching problem. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 47(7), 728–738. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.991478>
- Mutingi, M., ve Mbohwa, C. (2017). Optimizing order batching in order picking systems: Hybrid grouping genetic algorithm. In *Studies in Computational Intelligence* (Vol. 666, pp. 121–140). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44394-2_7
- Nalepa, J., ve Blocho, M. (2016). Adaptive memetic algorithm for minimizing distance in the vehicle routing problem with time windows. *Soft Computing*, 20(6), 2309–2327.
- Nicolas, L., Yannick, F., ve Ramzi, H. (2018). Order batching in an automated warehouse with several vertical lift modules: Optimization and experiments with real data. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 958–976. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.037>

- Ong, J. O., ve Joseph, D. T. (2014). A Review of Order Picking Improvement Methods. *J@Ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 9(3), 135–138. <https://doi.org/10.12777/jati.9.3.135-138>
- Ostermeier, M., Holzapfel, A., Kuhn, H., ve Schubert, D. (2020). Integrated Zone Picking and Vehicle Routing Operations with Restricted Intermediate Storage. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3663157>
- Öncan, T. (2013). A Genetic Algorithm for the order batching problem in low-level picker-to-part warehouse systems. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*.
- Öncan, T. (2015). MILP formulations and an Iterated Local Search Algorithm with Tabu Thresholding for the Order Batching Problem. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.11.025>
- Öztürk, A., & Duman, S. (2009). Genetik Algoritma Kullanılarak Güç Sistemlerinde Optimal Çalışma Şartlarının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(3).
- Pan, C. H., ve Liu, S. (1995). A comparative study of order batching algorithms. *Omega*, 23, 691–700.
- Pan, J. C. H., Shih, P. H., Wu, M. H., ve Lin, J. H. (2015). A storage assignment heuristic method based on genetic algorithm for a pick-and-pass warehousing system. *Computers ve Industrial Engineering*, 81, 1--13.
- Pan, J. C.-Hsien., Shih, P.-Hsun., ve Wu, M.-Hung. (2015). Order batching in a pick-and-pass warehousing system with group genetic algorithm. *Omega*, 57, 238–248.
- Pan, Li and Huang, Joshua Zhexue and Chu, S. C. (2011). Order batching and picking in a synchronized zone order picking system. *2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 156–160.
- Paradiso, R., Roberti, R., Laganá, D., ve Dullaert, W. (2020). An exact solution framework for multitrip vehicle-routing problems with time windows. *Operations Research*, 68(1), 180–198.

- Pei, Z., Wang, Z., ve Yang, Y. (2019). Research of Order Batching Variable Neighborhood Search Algorithm based on Saving Mileage.
- Petering, M. E. (2015). Real-time container storage location assignment at an RTG-based seaport container transshipment terminal: problem description, control system, simulation model, and penalty scheme experimentation. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27, 351--381.
- Pferschy, U., ve Schauer, J. (2018). Order Batching and Routing in a Non-Standard Warehouse. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 69, 125--132. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.07.017>
- Pinto, A. R. F., ve Nagano, M. S. (2019). An approach for the solution to order batching and sequencing in picking systems. *Production Engineering*, 13(3--4), 325--341. <https://doi.org/10.1007/s11740-019-00904-4>
- Pisinger, D., ve Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers ve Operations Research*, 34(8), 2403--2435.
- Poonthalir, G., ve Nadarajan, R. (2018). A fuel efficient green vehicle routing problem with varying speed constraint (F-GVRP). *Expert Systems with Applications*, 100, 131--144.
- Pop, P. C., Zelina, I., Lupșe, V., Sitar, C. P., ve Chira, C. (2011). Heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem. *International Journal of Computers Communications ve Control*, 6(1), 158--165.
- Psaraftis, H. N. (1995). Dynamic vehicle routing: Status and prospects. *Annals of Operations Research*, 61(1), 143--164.
- Ramaekers, K., Caris, A., Moons, S., ve van Gils, T. (2018). Using an integrated order picking-vehicle routing problem to study the impact of delivery time windows in e-commerce. *European Transport Research Review*, 10(2). <https://doi.org/10.1186/s12544-018-0333-5>
- Rao, S. S., ve Adil, G. K. (2013). Class-based storage with exact S-shaped traversal routing in low-level picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 51, 4979--4996.

- Repoussis, P. P., Tarantilis, C. D., Bräysy, O., ve Ioannou, G. (2010). A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem. *Computers ve Operations Research*, 37(3), 443–455.
- Richards, G. (2017). *Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse* (Kogan Page).
- Roodbergen, K. J. (2001). Layout and routing methods for warehouses. ERIM, Erasmus Research Institute of Management].
- Roodbergen, K. J., ve de Koster, R. (2001). Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, 133, 32--43.
- Rosenwein, M. B. (1996). A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection. *International Journal of Production Research*, 34(3), 657–664. <https://doi.org/10.1080/00207549608904926>
- Rowley, J., ve Slack, F. (2004). Conducting a Literature Review. *Management Research News*, 27, 31–39.
- Ruben, R. A., ve Jacobs, F. R. (1999). Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and pick systems. *Management Science*, 45(4), 575–596. <https://doi.org/10.1287/mnsc.45.4.575>
- Sarma, N. (2012). Genetik algoritma yardımıyla güç akışı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Santos, H. G., Ochi, L. S., Marinho, E. H., ve Drummond, L. M. de A. (2006). Combining an evolutionary algorithm with data mining to solve a single-vehicle routing problem. *Neurocomputing*, 70(1–3), 70–77.
- Schmid, V., Doerner, K. F., ve Laporte, G. (2013). Rich routing problems arising in supply chain management. *European Journal of Operational Research*, 224(3), 435–448. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.08.014>
- Schneider, M., Stenger, A., ve Goeke, D. (2014). The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*, 48(4), 500–520.

- Scholz, A., Schubert, D., ve Wäscher, G. (2017). Order picking with multiple pickers and due dates – Simultaneous solution of Order Batching, Batch Assignment and Sequencing, and Picker Routing Problems. *European Journal of Operational Research*, 263(2), 461–478. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.038>
- Scholz, A., ve Wäscher, G. (2017). Order Batching and Picker Routing in manual order picking systems: the benefits of integrated routing. *Central European Journal of Operations Research*, 25(2), 491–520. <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0467-x>
- Schubert, D. (2020). Integrated Order Picking and Vehicle Routing Operations – Literature Review and Further Research Opportunities. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3631748>
- Schubert, D., Kuhn, H., ve Holzapfel, A. (2020). Same-day deliveries in omnichannel retail: Integrated order picking and vehicle routing with vehicle-site dependencies. *Naval Research Logistics*, November 2019, 1–24. <https://doi.org/10.1002/nav.21954>
- Schubert, D., Scholz, A., ve Wäscher, G. (2018). Integrated order picking and vehicle routing with due dates. *OR Spectrum*, 40(4), 1109–1139. <https://doi.org/10.1007/s00291-018-0517-3>
- Schulze, J., ve Fahle, T. (1999). A parallel algorithm for the vehicle routing problem with time window constraints. *Annals of Operations Research*, 86, 585–607.
- Seuring, S., Müller, M., Westhaus, M., ve Morana, R. (2005). Conducting a Literature Review-The Example of Sustainability in Supply Chains. In *Research methodologies in supply chain management* (pp. 91--106). Springer.
- Sharma, S. K., Routroy, S., ve Yadav, U. (2018). Vehicle routing problem: recent literature review of its variants. *International Journal of Operational Research*, 33(1), 1–31.
- Smith, J. D. (1998). *The warehouse management handbook* (Tompkins p).

- Song, M., Li, J., Han, Y., Han, Y., Liu, L., ve Sun, Q. (2020). Metaheuristics for solving the vehicle routing problem with the time windows and energy consumption in cold chain logistics. *Applied Soft Computing*, 95, 106561.
- Şahin, Y. (2009). Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Esaslı Bir Model.
- Şahin, Y. (2014). Depo Operasyonları Ve Sipariş Dağıtım Faaliyetlerinin Sezgisel Yöntemler Kullanarak Eş Zamanlı Optimizasyonu.
- Şen, T., Cömert, S. E., ve Yazgan, H. R. (2015). Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmesi: bir süpermarket zincirinde uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(1), 83–88.
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation* (John Wiley).
- Tan, C., ve Beasley, J. (1984). A heuristic algorithm for the period vehicle routing problem. *Omega*, 12(5), 497–504.
- Tang, L., Wang, G., Liu, J., ve Liu, J. (2011). A combination of Lagrangian relaxation and column generation for order batching in steelmaking and continuous-casting production. *Naval Research Logistics*, 58(4), 370–388. <https://doi.org/10.1002/nav.20452>
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., ve Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (John Wiley).
- Toth, P., ve Vigo, D. (1999). A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 113(3), 528–543.
- Toth, P., ve Vigo, D. (2002). An overview of vehicle routing problems. In *The vehicle routing problem* (pp. 1–26). SIAM.
- Tsai, C. Y., Liou, J. J. H., ve Huang, T. M. (2008). Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: Considering travel distance and order due time. *International Journal of Production Research*, 46(22), 6533–6555. <https://doi.org/10.1080/00207540701441947>

- Valle, C. A., Beasley, J. E., ve da Cunha, A. S. (2016). Modelling and solving the joint order batching and picker routing problem in inventories. *International Symposium on Combinatorial Optimization*, 81–97.
- Valle, C. A., Beasley, J. E., ve da Cunha, A. S. (2017). Optimally solving the joint order batching and picker routing problem. *European Journal of Operational Research*, 262(3), 817–834. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.069>
- van der Gaast, J. P., de Koster, R. B., Adan, I. J., ve Resing, J. A. (2020). Capacity Analysis of Sequential Zone Picking Systems. *Operations Research*, 68, 161--179.
- Villalba, A., ve Rotta, E. (2022). Clustering and heuristics algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13(2), 165–184.
- Vinod, H. D. (1969). Integer Programming and the Theory of Grouping. *Journal of the American Statistical Association*, 64(326), 506–519. <https://doi.org/10.1080/01621459.1969.10500990>
- Wagner, S., ve Mönch, L. (2022). A Variable Neighborhood Search Approach To Solve The Order Batching Problem With Heterogeneous Pick Devices. *European Journal of Operational Research*.
- Wang, G., ve Tang, L. (2008). A Lagrangian relaxation for flexible order batching problem in iron and steel industry. *2008 IEEE International Conference on Industrial Technology*, 1–5.
- Wang, R., Zang, L., ve Tan, X. (2013). An Optimal Routing Model of High-level Picker-to-part System. *Proceedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management*, 371--383.
- Wang, X., Ruan, J., Ruan, J., ve Ruan, J. (2017). On-line order batching and sequencing problem with multiple pickers: A hybrid rule-based algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 45, 271–284. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.12.012>

- Won, J., ve Olafsson, S. (2005). Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal of Production Research*, 43(7), 1427–1442. <https://doi.org/10.1080/00207540410001733896>
- Xiang, X., Liu, C., ve Miao, L. (2018). Storage assignment and order batching problem in Kiva mobile fulfilment system. *Engineering Optimization*, 50(11), 1941–1962. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2017.1419346>
- Yağmur, E., ve Kesen, S. E. (2021). Multi-trip heterogeneous vehicle routing problem coordinated with production scheduling: Memetic algorithm and simulated annealing approaches. *Computers ve Industrial Engineering*, 161, 107649.
- Yao, B., Hu, P., Zhang, M., ve Wang, S. (2013). Artificial bee colony algorithm with scanning strategy for the periodic vehicle routing problem. *Simulation*, 89(6), 762–770.
- Yıldız, K. (2019). Metasezgisel Algoritmalarla Araç Rotalama Probleminin Modellenmesi.
- Yu, M., ve de Koster, R. B. M. (2009). The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance. *European Journal of Operational Research*, 198(2), 480–490. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.09.011>
- Yuan, Y., Cattaruzza, D., Ogier, M., Semet, F., ve Vigo, D. (2021). A column generation based heuristic for the generalized vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102391.
- Zhang, J., Wang, X., ve Huang, K. (2016). Integrated on-line scheduling of order batching and delivery under B2C e-commerce. *Computers and Industrial Engineering*, 94, 280–289. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.02.001>
- Zhang, R. Q., Wang, M., ve Pan, X. (2019). New model of the storage location assignment problem considering demand correlation pattern. *Computers ve Industrial Engineering*, 129, 210–219.

- Zhao, P., Luo, W., ve Han, X. (2019). Time-dependent and bi-objective vehicle routing problem with time windows. *Advances in Production Engineering ve Management*, 14(2201–212).
- Zhao, Z., ve Yang, P. (2017). Improving order-picking performance by optimizing order batching in multiple-cross-aisle warehouse systems: A case study from e-commerce in China. *2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 158–162.
- Zhu, C., Liu, M., ve Wu, C. (2001). Review Of Vehicle Routing Problem in Supply Chain. *Computer Integrated Manufacturing Systems-Beijing-*, 7(11), 1–6.
- Zhu, J. (2015). Order Batching Optimization in Dual Zone Type Warehouse Based on Genetic Algorithms. *Science Journal of Business and Management*, 3(3), 77. <https://doi.org/10.11648/j.sjbm.20150303.13>
- Žulj, I., Kramer, S., ve Schneider, M. (2018). A hybrid of adaptive large neighborhood search and tabu search for the order-batching problem. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.06.056>
- Zuniga, C. A., Olivares-Benitez, E., Tenahua, A. M., ve Mujica, M. A. (2015). A methodology to solve the Order Batching Problem. *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), 1380–1386. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.279>

EKLER

EK 1. Mevcut kaynak analizi

Çalışma	Problem çeşidi	Çözüm yöntemi	Gerçek Veri	Depo Yapısı	En küçüklenen amaç
(Vinod, 1969)	SGP	Statik	Tamsayılı	Hayır	Toplam mesafe
(Armstrong vd., 1979)	SGP	Statik	Karma tamsayılı	Hayır	Toplam süre
(Hwang ve Lee, 1988)	SGP	Statik	Sezgisel	Hayır	Toplam mesafe
(Elsayed ve Unal, 1989)	SGP	Statik	Sezgisel	Hayır	Toplam süre
(Gibson ve Sharp, 1992a)	SGP	Statik	Sezgisel	Hayır	Tek blok
(Elsayed vd., 1993)	SGSP	Statik	Simülasyon	Hayır	Erken ve gecikme cezaları
(Pan ve Liu, 1995)	SGP	Statik	Sezgisel	Hayır	Toplam mesafe
(Rosenwein, 1996)	SGP	Statik	Sezgisel	Hayır	Tek blok
(Koster vd., 1999)	SGP	Statik	Sezgisel	Hayır	Tek blok
(Gademann ve Velde, 2005)	SGP	Statik	Dal ve fiyat algoritması, yinelenen azalan algoritması	Hayır	Tek blok
(Hsu vd., 2005)	SGP	Statik	Genetik algoritma	Hayır	Tek blok
(Hwang ve Kim, 2005)	SGP	Statik	Kümeleme analizine dayanan gruplama algoritması	Hayır	Toplam mesafe
(Ho ve Tseng, 2006)	SGP	Statik	Veri madenciliği	Hayır	Tek blok
(Le-Duc ve Koster, 2007)	SGP	Statik	Simülasyon	Hayır	Çoklu blok

(Bozer ve Kile, 2008)	SGP	Statik	Karma tamsayılı programlama ve sezgisel	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe
(Ho vd., 2008)	SGP	Statik	Veri madenciliği	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe
(Wang ve Tang, 2008)	SGP	Statik	Karma tamsayılı programlama-lagrange gevşetmesi	Evet		Toplam maliyet
(Albareda-Sambola vd., 2009)	SGP	Statik	Değişken komşuluk arama	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe
(Henn vd., 2010)	SGP	Statik	İterasyon yerel arama-Karınca kolonisi optimizasyon	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe
(Tang vd., 2011)	SGP	Statik	Karma tamsayılı programlama	Evet		Toplam maliyet
(Henn ve Wäscher, 2012)	SGP	Statik	Davranış temelli tepe tırmanışı-Tabu arama	Hayır	Çoklu blok	Toplam mesafe
(Kulak vd., 2012)	SGTRP	Statik	Kümelemeye dayanan çekirdek algoritma ve tabu arama	Hayır	Tek blok-çoklu blok	Toplam mesafe
(Öncan, 2013)	SGP	Statik	Genetik algoritma	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe
(Azadnia vd., 2013)	SGP	Statik	Genetik algoritma-veri madenciliği	Hayır	Çoklu blok	Toplam gecikme
(Henn ve Schmid, 2013)	SGSP	Statik	İterasyon yerel arama-Özellik esaslı tepe tırmanma algoritma	Hayır	Tek blok	Toplam gecikme
(Matusiak vd., 2014)	SGTRP	Statik	Tavlama benzetimi-A*	Evet	Çoklu blok	Toplam maliyet
(Muter ve Öncan, 2015)	SGP	Statik	Karma tamsayılı programlama-sütun oluşturma	Hayır	Tek blok	Toplam gecikme
(Chen vd., 2015)	SGSTRP	Statik	Karma genetik algoritma ve karınca	Hayır	Tek blok	Toplam gecikme

				kolonisi				
				optimizasyon				
				algoritması				
(Cheng vd., 2015)	SGTRP	Statik	Üruncık sürü	Evet	Tek blok	Toplam mesafe		
			optimizasyonu-Karınca kolonisi optimizasyonu					
(Öncan, 2015)	SGP	Statik	Yerel Arama Algoritması	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe		
(Henn, 2015)	SGSP	Statik	Değişken komşuluk azalan ve komşuluk arama algoritması	Hayır	Tek blok	Toplam gecikme		
(Zuniga vd., 2015)	SGP	Statik	Optimizasyon-Simülasyon	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe		
(Valle vd., 2016)	SGTRP	Statik	Tamsayılı programlama-Dal ve kesme algoritması	Hayır	Çoklu blok	Toplam mesafe		
(Lin vd., 2016)	SGTRP	Statik	Üruncık sürü optimizasyonu	Evet	Çoklu blok	Toplam mesafe		
(Koch ve Wäscher, 2016)	SGP	Statik	Genetik algoritma	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe		
(Valle vd., 2017)	SGTRP	Statik	Karma tamsayılı programlama	Evet	Çoklu blok	Toplam mesafe		
(Menéndez vd., 2017a)	SGP	Statik	Değişken komşuluk arama	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe		
(Li vd., 2017)	SGTRP	Statik	Yerel arama ile geliştirilmiş bir karınca kolonisi optimizasyonu algoritması	Evet	Çoklu blok	Toplam mesafe		
(Hong ve Kim, 2017)	SGP	Statik	Sezgisel	Hayır	Tek blok	Toplam mesafele		
(Scholz vd., 2017)	SGASTRP	Statik	Değişken komşuluk azalan algoritması	Hayır	Çoklu blok	Toplam gecikme		
(Matusiak vd., 2017)	SGGAP	Statik	Uyarlanabilir Geniş Komşuluk arama	Evet	Çoklu blok	Toplam süre		
(Mutingi ve Mbohwa, 2017)	SGP	Statik	Genetik Algoritma	Hayır	Tek blok	Toplam mesafe		

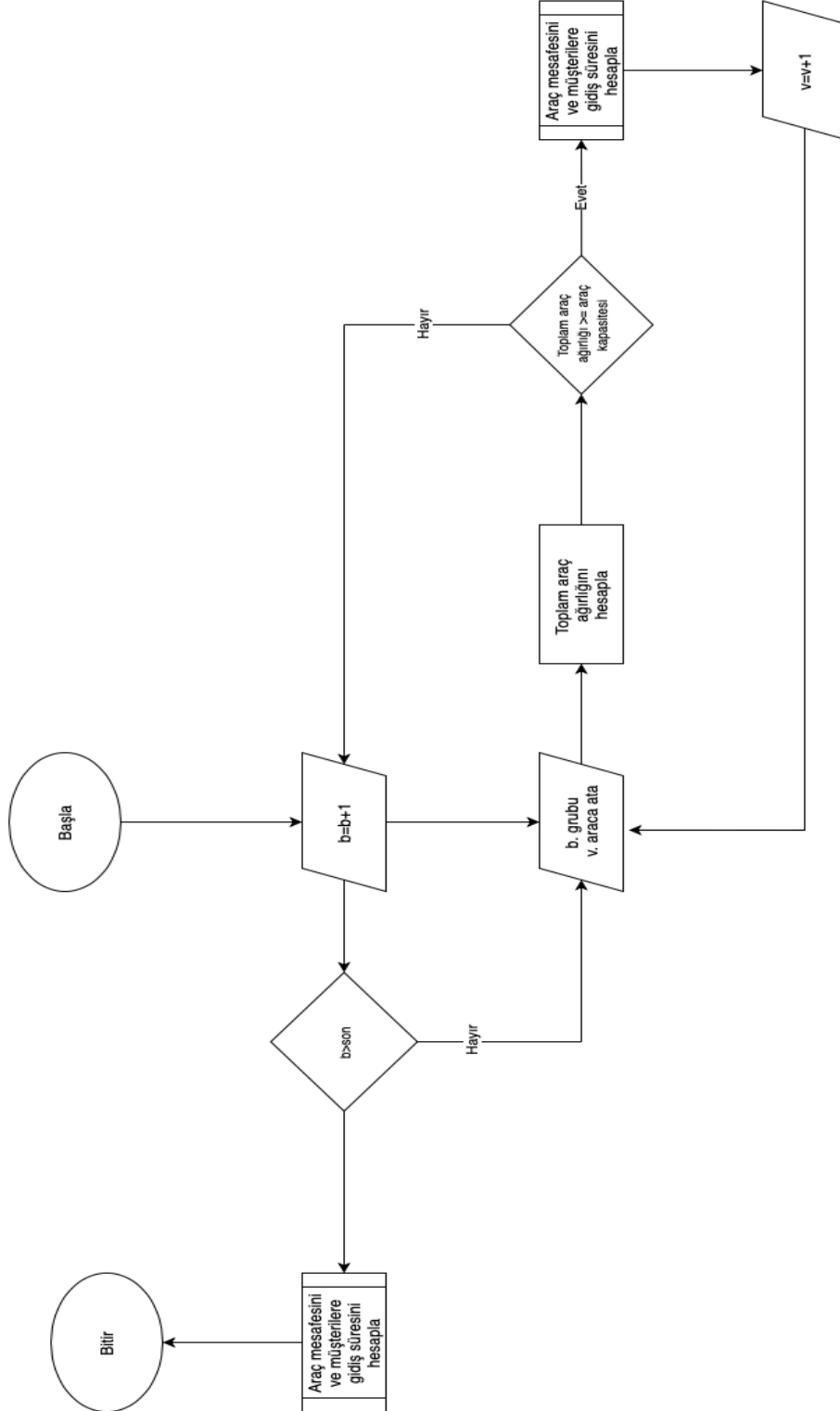
(Menéndez vd., 2017)	SGSP	Statik	Değişken komşuluk arama	Hayır			Toplam gecikme
(Scholz ve Wäscher, 2017)	SGTRP	Statik	İterasyon yerel arama	Hayır	Çoklu blok		Toplam mesafe
(Zhao ve Yang, 2017)	SGP	Statik	Tabu arama	Evet	Çoklu blok		Toplam mesafe
(Žulj vd., 2018)	SGP	Statik	Uyarlanabilir Geniş Komşuluk arama ve tabu arama	Hayır	Tek blok		Toplam mesafe
(Nicolas vd., 2018)	SGP	Statik	Tavlama benzetimi	Evet	Çoklu blok		Toplam mesafe
(Bué vd., 2019)	SGTRP	Statik	Sezgisel	Evet	Çoklu blok		Toplam mesafe
(Pferschky ve Schauer, 2018)	SSGTRP	Statik	Sezgisel	Evet			Toplam mesafe
(Cano, 2019)	SGP	Statik	Genetik algoritma	Hayır			Toplam mesafe
(Pinto ve Nagano, 2019)	SGSP	Statik	Genetik Algoritma	Hayır	Çoklu blok		Toplam mesafe
(Gil-Borrás vd., 2019)	SGP	Dinamik	Değişken komşuluk arama	Hayır	Tek blok		Toplam süre
(Ardjmand vd., 2019)	SGTRP	Statik	Genetik Algoritma-Tavlama benzetimi	Hayır			Toplam mesafe
(Aboelfotoh vd., 2019)	SGP	Statik	Sezgisel	Evet	Tek blok		Toplam mesafe
(Briant vd., 2020)	SGTRP	Statik	Doğrusal programlama-sütun oluşturma	Evet	Çoklu blok		Toplam mesafe
(Alipour vd., 2020)	SGP	Dinamik	Sezgisel	Hayır	Tek blok		Toplam süre
(Kuhn vd., 2020)	SGARP	Statik	Uyarlanabilir Geniş Komşuluk arama	Evet	Çoklu blok		Toplam gecikme süresi

Mevcut kaynak analiz-Devamı

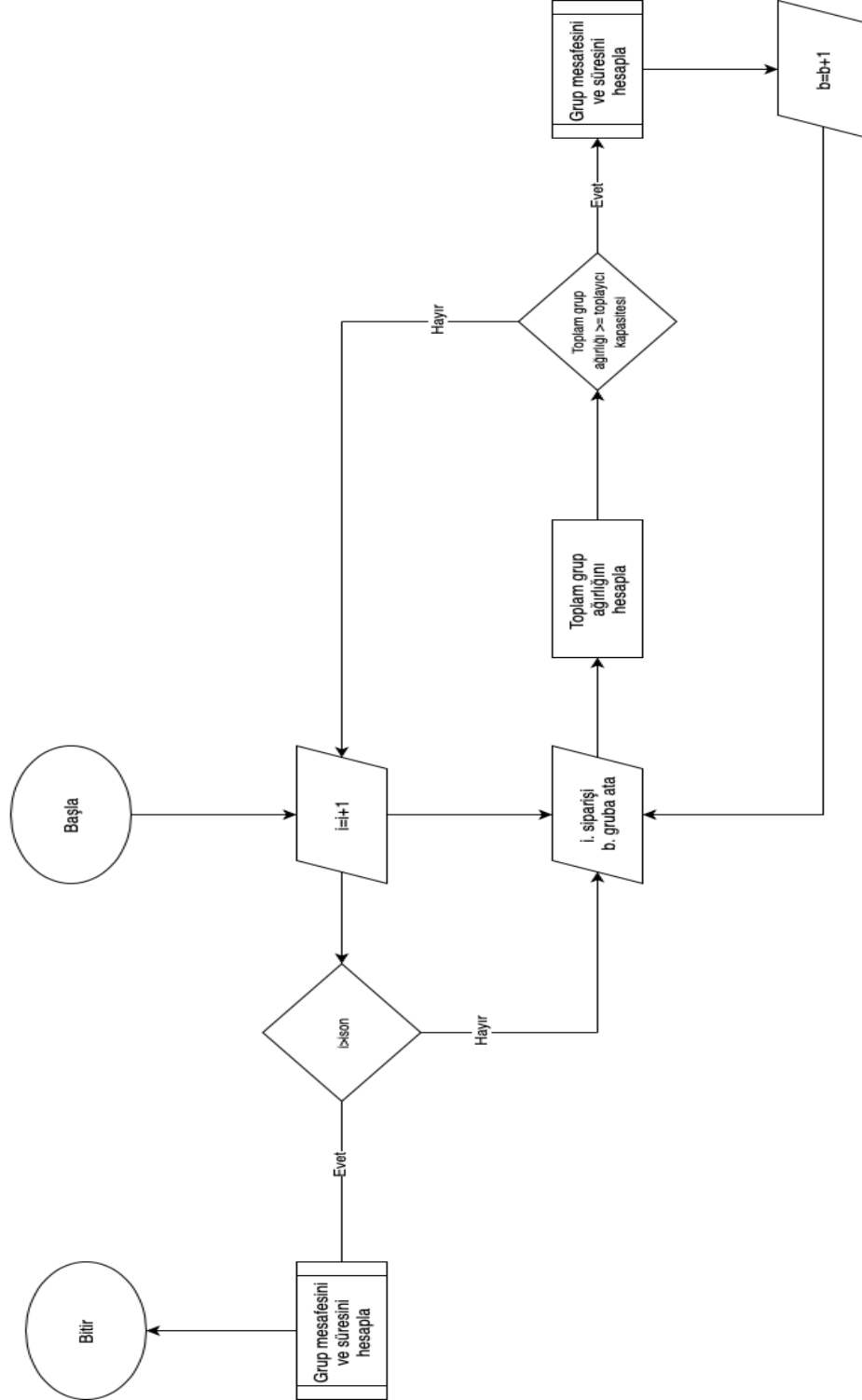
Çalışma	Problem çeşidi		Çözüm yöntemi	Gerçek Veri	Depo Yapısı	Diğer amaçlar
(Chen ve Wu, 2005)	SGP	Statik	Veri madenciliği	Hayır	Tek blok	Siparişler arasındaki bağlantıyı artırmak
(Won ve Olafsson, 2005)	SGSP	Statik	Sezgisel	Hayır		Grupların toplam toplama zamanının ağırlıklı ortalamasını ve siparişlerin gruptaki bekleme süresini enküçükleme
(Yu ve Koster, 2009)	SGP	Statik	Kuyruk modelleme	Evet	Çoklu blok	Rassal bir siparişin ortalama üretim süresine ulaşmak
(Gademann vd., 2001)	SGP	Statik	Dal ve sınır yöntemi	Hayır	Tek blok	Gruplardan herhangi birinin en fazla teslim süresini enküçükleme
(Henn, 2012)	SGP	Dinamik	İterasyon yerel arama-Clarke and Wright-FIFS	Hayır	Tek blok	Siparişlerin en yüksek tamamlanma sürelerini enküçükleme
(Pei vd., 2019)	SGP	Statik	Değişken komşuluk arama	Evet	Tek blok	Tasarruf mesafesini artırmak
(Hojaghani vd., 2019a)	SGP	Dinamik	Yapay arı kolonisi-Karınca kolonisi algoritmaları	Hayır	Çoklu blok	Toplama operatörünün blok başına boşta kalma sürelerinin

							toplam miktarı ile siparişlerin en yüksek dönüş süresi toplamını en aza indirmek
(Hojaghani vd., 2019b)	SGP	Dinamik	Öğretme- Öğrenme tabanlı en iyileme algoritması	Hayır	Tek blok- çoklu blok	Toplama operatörünün blok başına boşta kalma sürelerinin toplam miktarı ile siparişlerin en yüksek dönüş süresi toplamını en aza indirmek	
(Xiang vd., 2018)	SASGP	Statik	Değişken komşuluk arama	Hayır	Çoklu blok	Tüm bölmelerdeki ürün benzerliğini artırmak ve bölmeleri ziyaret sayısının enküçükleme	
(Zhang vd., 2016)	SGÇP	Dinamik	Sezgisel	Hayır	Tek blok	Servis süresini enküçükleme ve teslim edilen sipariş sayısını enbüyüklemek	
(Pan vd., 2015)	SGP	Statik	Genetik algoritma	Hayır		Grup sayısını en aza indirmek ve iş gücünü dengelemek	

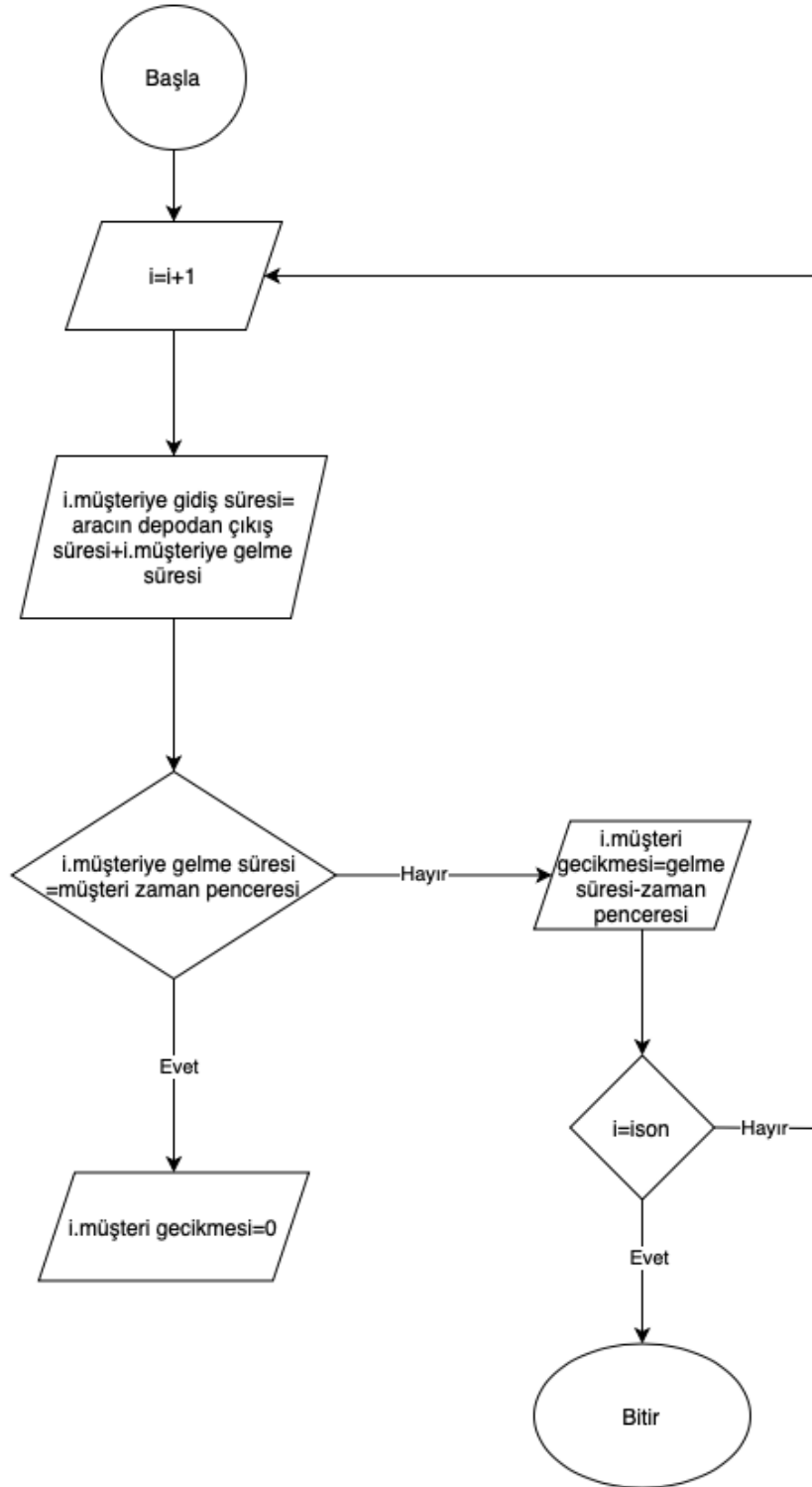
EK 2. Zaman pencereli araç rotalama problemi akış şeması



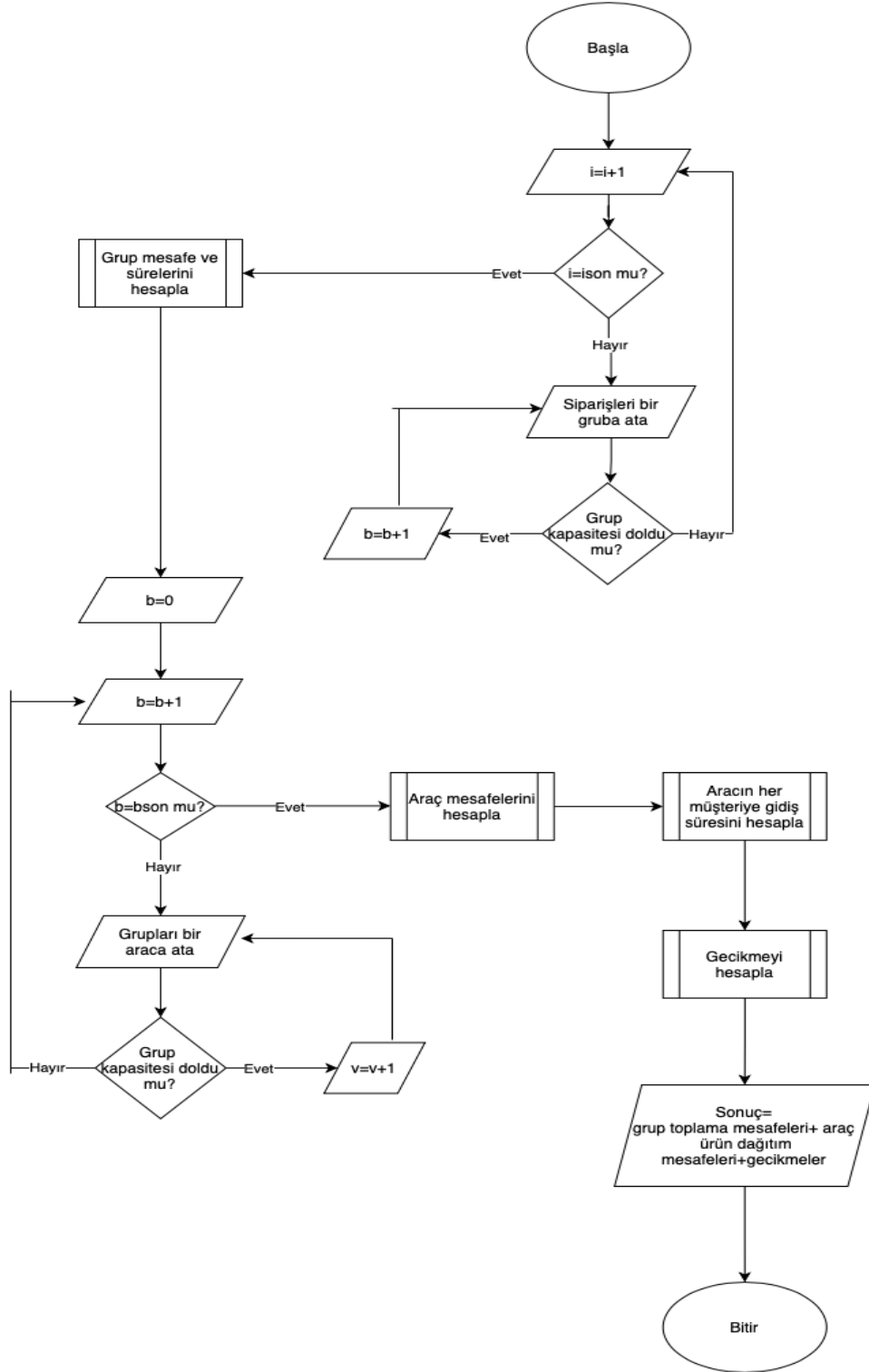
EK 3. Sipariş gruplama akış şeması



EK 4. Gecikme hesaplama akış şeması



EK 5. Genel süreç akış şeması



EK 6. Zaman pencereli araç rotalama problemi sözde kod gösterimi

```
Girdiler: İlgili parametreler, başlangıç çözüm değeri
Çıktılar: En iyi çözüm

başla
for b=1, to b=bson do
    while araç kapasitesi>araç toplam ağırlık
        grubu araca ata, araç ağırlık güncelle
        araç mesafesi ve müşterilere ulaşma süresini hesapla, araç=araç+1
    for i=1, to i=ison do
        Gecikme= Müşteriye gidilen süre- müşteri zaman penceresi
        Çözüm=grup mesafesi + gecikme+ araç mesafesi
    bitir
```

EK 7. Sipariş gruplama problemi sözde kod gösterimi

```
Girdiler: İlgili parametreler, başlangıç çözüm değeri
Çıktılar: En iyi çözüm

başla
for b=1, to b=bson do
    while grup kapasitesi > toplam ağırlık
        siparişi gruba ata, toplam ağırlık güncelle
        grup mesafesi ve süresini hesapla
        çözüm= toplam grup mesafeleri
    bitir
```

EK 8. Gecikme hesaplama sözde kod gösterimi

Girdiler: İlgili parametreler, başlangıç çözüm değeri

Çıktılar: En iyi çözüm

başla

for $i=1$, **to** $i=i_{\text{son}}$ **do**

 Müşteriye gidiş süresi= Müşterinin depo içerisinde geçirdiği zaman+ yüklenme süresi+ müşteriye ulaşma süresi+ müşteride ürün indirme süresi

 Gecikme= Müşteriye gidiş süresi- müşteri zaman penceresi

Çözüm=Toplam gecikme

bitir

EK 9. Ürünlerin bulunduğu koridorlardaki dikey mesafe

[illegible]

37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
41	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
45	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0
64	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
75	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0

[illegible]

119	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
123	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0
124	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19
127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0	0	0
128	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0
134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
135	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0
138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	0	0	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
143	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
146	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0
154	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	0	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19
157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0	0	0
158	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
161	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
165	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
172	0	0	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
173	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0
175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
176	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0
177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
179	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
181	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0
184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
185	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
186	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
187	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0
188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
191	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192	0	0	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
193	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0
195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
196	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0
197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
199	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

201	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0
204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
205	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
206	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0
208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
209	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	0	0	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0
215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
216	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0
217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
219	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
221	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
222	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0
223	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0
224	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
226	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19
227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0	0	0
228	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
231	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0
233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	0
234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
235	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
236	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0
238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

242	0	0	0	0	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
243	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0
245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
246	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0
247	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
249	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



EK 10. Siparişin içerisindeki ürünler

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
4	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
9	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
12	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
15	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
16	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
17	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
18	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
19	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
21	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
23	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
24	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
25	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
26	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
27	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
28	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
29	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
31	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
32	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
33	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
34	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
35	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0

36	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
37	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
39	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
40	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
54	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
60	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
61	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
63	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
72	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
73	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
74	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
75	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
76	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
77	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1

78	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
79	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
80	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
81	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
82	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
83	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
84	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
85	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
86	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
87	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
88	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
89	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
90	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
91	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
92	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
93	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
94	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
95	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
96	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
97	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
98	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
99	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
100	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
101	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
102	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
103	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
104	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
105	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
106	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
107	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
108	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
109	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
111	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
112	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
115	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
118	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

120	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
124	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
127	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
128	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
129	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
130	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
131	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
133	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
134	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
138	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
142	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
143	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
144	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
145	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
146	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
147	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
148	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
149	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0</							

162	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
164	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
169	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
172	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
173	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
174	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
175	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
176	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
177	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
178	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
179	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
180	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
181	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
182	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
183	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
184	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
185	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
186	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
187	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
188	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
189	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
190	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
191	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
192	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
193	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
194	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
195	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
196	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
197	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
198	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
199	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
200	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0

2	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
3	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
5	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
9	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
11	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1
13	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
14	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
15	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
16	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
17	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
18	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
19	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
20	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
21	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
23	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
24	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
26	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
27	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
28	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
29	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
30	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1							

44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
50	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
55	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
58	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
61	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
64	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
69	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
70	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
71	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0
72	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
73	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
74	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
75	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
76	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
77	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
78	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
79	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
81	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
82	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1
83	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
84	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
85	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0

86	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
87	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
88	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
89	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
90	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
91	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
92	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
93	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
94	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
96	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
97	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
98	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
99	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
100	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
101	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
102	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
103	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
104	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
105	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
106	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
108	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
109	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
112	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
116	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
120	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
123	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
125	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0

128	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
131	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
134	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
139	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
140	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
141	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0
142	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
143	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
144	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
145	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
146	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
147	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
148	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
149	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
151	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
156	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
159	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
162	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
165	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

170	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
171	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	
172	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	
173	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	
174	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	
175	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	
176	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
177	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	
178	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	
179	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	
180	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	
181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	
182	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	
183	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	
184	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	
185	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
186	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
187	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	
188	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	
189	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	
190	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	
191	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
192	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	
193	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
194	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	
195	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	
196	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	
197	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	
198	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	
199	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	
200	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
2	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
3	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
7	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
9	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0

11	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
13	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
15	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
16	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
17	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
18	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
19	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
21	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
22	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
23	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
24	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
25	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
26	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
27	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
28	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
29	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
30	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
31	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
32	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
33	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
34	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
35	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
36	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
37	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
38	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
39	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0								

53	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
54	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
57	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
58	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
59	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
62	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
64	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
65	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
66	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
68	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
71	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
72	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
73	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
74	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
76	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
77	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
78	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
79	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
80	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
81	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
82	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
83	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
84	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
85	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
86	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
87	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
88	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
89	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
90	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
91	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
92	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
93	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
94	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0

[illegible]

137	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
138	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
141	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
142	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
143	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
144	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
145	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
146	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
147	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
148	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
149	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
150	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
153	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
154	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
155	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
159	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
160	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
161	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
163	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
165	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
166	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
167	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
172	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
173	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
174	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
175	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
176	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
177	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
178	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

179	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
180	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
181	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
182	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
183	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
184	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
185	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
186	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
187	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
188	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
189	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
190	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
191	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
192	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
193	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
194	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
195	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
196	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
197	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
198	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
199	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
5	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
7	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
11	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
13	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1
14	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
15	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
16	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
17	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
18	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1

[illegible]

62	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
64	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
65	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
72	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
73	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
74	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
75	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
76	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
77	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
78	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
79	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
80	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
81	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
83	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
84	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
85	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
86	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
87	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
88	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
89	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
90	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
91	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
92	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
93	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
94	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
95	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
96	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
97	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
98	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
99	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
100	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
101	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
102	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1
103	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0

104	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
105	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
106	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
108	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
109	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
110	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
115	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
116	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
123	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
124	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
125	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
127	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
128	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
129	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
132	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
134	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
135	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
141	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
142	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
143	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
144	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
145	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0

146	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
147	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
148	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
149	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
150	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
151	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
154	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
156	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
158	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
159	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
160	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
161	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
162	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
163	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
165	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
166	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
172	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
173	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
174	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
175	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
176	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
177	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
178	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
179	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
180	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
181	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
182	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
184	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
185	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
186	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
187	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1

188	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
189	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
190	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	
191	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
192	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	
193	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
194	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
195	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	
196	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
197	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	
198	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
199	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
200	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	



EK 11. Müşteri talepleri

1	20	41	44	81	6	121	9	161	3
2	10	42	34	82	26	122	11	162	13
3	70	43	50	83	16	123	18	163	19
4	13	44	2	84	11	124	29	164	10
5	19	45	22	85	7	125	3	165	9
6	26	46	24	86	41	126	6	166	20
7	30	47	49	87	35	127	17	167	25
8	50	48	62	88	26	128	16	168	25
9	90	49	66	89	9	129	16	169	36
10	16	50	44	90	15	130	9	170	6
11	16	51	84	91	3	131	21	171	5
12	12	52	45	92	1	132	27	172	15
13	19	53	85	93	2	133	23	173	25
14	23	54	18	94	22	134	11	174	9
15	20	55	37	95	27	135	14	175	8
16	10	56	54	96	20	136	8	176	18
17	24	57	86	97	11	137	5	177	13
18	19	58	27	98	12	138	8	178	14
19	42	59	79	99	10	139	16	179	3
20	17	60	6	100	9	140	31	180	23
21	29	61	38	101	17	141	9	181	6
22	18	62	91	102	10	142	5	182	26
23	60	63	79	103	7	143	5	183	16
24	7	64	42	104	13	144	7	184	11
25	40	65	56	105	19	145	18	185	7
26	80	66	33	106	26	146	16	186	41
27	47	67	18	107	3	147	1	187	35
28	6	68	28	108	5	148	27	188	26
29	30	69	47	109	9	149	36	189	9
30	82	70	40	110	16	150	30	190	15
31	65	71	5	111	16	151	13	191	3
32	56	72	15	112	12	152	10	192	1
33	73	73	25	113	19	153	9	193	2
34	16	74	9	114	23	154	14	194	22
35	2	75	8	115	20	155	18	195	27
36	41	76	18	116	8	156	2	196	20
37	10	77	13	117	19	157	6	197	11
38	26	78	14	118	2	158	7	198	12
39	64	79	3	119	12	159	18	199	10
40	42	80	23	120	17	160	28	200	9

EK 11. CPLEX Sonucu Gösterimi

```

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL    deneme
TYPE     MIP
SOLVER   CPLEX

OBJECTIVE opt
DIRECTION MINIMIZE
FROM LINE 287

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      8 Integer Solution
**** OBJECTIVE VALUE    379.8927

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.037 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    130   2147483647
--- GAMS/Cplex Link licensed for continuous and discrete problems.
--- GMP setup time: 0.00s
--- Space for names approximately 0.02 Mb
--- Use option 'names no' to turn use of names off
--- GMP memory 0.63 Mb (peak 0.63 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 20.1.0.1 link memory 0.02 Mb (peak 0.07 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (102): integer optimal, tolerance.
--- Cplex Time: 0.03sec (det. 17.01 ticks)

--- Fixing integer variables and solving final LP...

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 0.65 ticks)

Solution satisfies tolerances
MIP Solution:      379.892712      (130 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      379.892712      (3 iterations)

Best possible:     379.882790
Absolute gap:      0.009922
Relative gap:      0.000026
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Esra BOZ

Yabancı Dil: İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı:

E-Posta:

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2007-2012, Lisans, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- 2014-2017, Yüksek Lisans, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
- 2017-2022, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
- 2016, Araştırma Görevlisi, KTO Karatay Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü

Yayınları:

- Boz Esra, Aras Nil (2022). The Order Batching Problem: A State-Of-The-Art Review. Sigma Journal Of Engineering And Natural Sciences, Doi: 10.14744/Sigma.2022.00018 (Yayın No: 7688913)
- Çubukcu Ahmet, Ulusoy Tuba, Yaşar Boz Esra (2021). Crowdfunding And Open Innovation Together: A Conceptual Framework Of A Hybrid Crowd Innovation Model. International Journal Of Innovation And Technology Management, Doi: 10.1142/S0219877021500036
- Yaşar Boz Esra, Aras Nil (2021). A New Model Proposal For Integrated Order Picking And Vehicle Routing Problem. Euro 2021 31st European Conference On Operational Research For Operational Research