

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERLEŞTİRME-ROTALAMA PROBLEMİNİN
KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ:
BİR GIDA FİRMASINDA UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve YAŞAR

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez DanıŐmanı : Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN

AĞustos 2020

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Merve YAŞAR

04.08.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri konusunda desteğini esirgemeyen, her sıkıntıda yanımda bulunup beni başaracağıma inandıran çok değerli hocam Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Matematiksel model ve algoritmada takıldığım zaman yardımlarını hiç esirgemeyen Arş. Gör. Serap ERCAN CÖMERT hocama çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca kararlarımın arkasında duran her zaman beni destekleyen günlere gelmemde en büyük katkı sağlayan canım aileme çok teşekkür ederim.

Verileri bulmamda kolaylık sağlayan ve her zaman beni destekleyen biricik abim Uğur YAŞAR'a ve desteğini esirgemeyen biricik yengeme de ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
YERLEŞTİRME-ROTALAMA PROBLEMİ.....	3
2.1. Yerleştirme-Rotalama Problemi	3
2.1.1. Yerleştirme-rotalama probleminin sınıflandırması.....	4
2.1.2. Yerleştirme-rotalama problemlerinde çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması.....	6
2.1.2.1. Kesin çözüm yöntemleri	6
2.1.2.2. Metasezgisel çözüm yöntemleri.....	9
BÖLÜM 3.	
KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME-ROTALAMA PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ.....	16
3.1. Problemin Tanımlanması	16
3.2. Varsayımlar.....	16
3.3. Matematiksel Model.....	17
3.4. Literatürden Farklılıklar.....	19

BÖLÜM 4.

KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI.....	20
4.1. Gerçek Karıncalar.....	20
4.2. Yapay Karıncalar.....	22
4.3. Karınca Kolonisi Algoritması.....	22
4.3.1. Geçiş kuralı.....	23
4.3.2. Feromon güncellemesi.....	24
4.3.2.1. Lokal feromon güncellemesi.....	24
4.3.2.2. Global feromon güncellemesi.....	25
4.4. Karınca Kolonisi Algoritmasında Uygulamalar.....	25

BÖLÜM 5.

KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME-ROTALAMA PROBLEMİNİN	27
ÇÖZÜLMESİ: BİR GIDA FİRMASINDA UYGULAMA	
5.1. Problemin Tanımı.....	27
5.2. Kullanılan Veri Setleri.....	28
5.2.1. Bir depo kurulum ve yıllık işletme maliyetlerinin	
hesaplanması.....	28
5.2.2. Depo kurulum maliyeti.....	28
5.2.2.1. Depo arsa maliyeti.....	30
5.2.2.2. Depo işletme maliyeti.....	31
5.2.3. Şubelerin talepleri ve koordinatları.....	34
5.3. Yerleştirme-Rotalama Probleminin Çözümü.....	35
5.3.1. Senaryo 1: Matematiksel model ile çözümü.....	35
5.3.2. Senaryo 2: Karınca kolonisi algoritması ile çözümü.....	37
5.3.2.1. Firmanın mevcut fabrika deposu ile önerilen 5	
deponun maliyetlerinin karşılaştırılması.....	51
5.3.3. Senaryo 3: Belirli illerde talep artırımını.....	52
5.3.4. Senaryo 4: Mevcut şubelere 10 yeni ilave.....	54

BÖLÜM 6.	
SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ARP	: Araç rotalama problemi
CLRP	: Kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi (Capacitated location-routing problem)
ÇP	: Çizelgeleme problemi
DKA	: Değişken komşu arama
EYA	: Evrimsel yerel arama
GA	: Genetik algoritma
GİB	: Gelir idaresi başkanlığı
GRASP	: Açgözlü randomize adaptif arama prosedürü (Greedy randomized adaptive search procedure)
GSP	: Gezgin satıcı problemi
KAP	: Karesel atama problemi
KKA	: Karınca kolonisi algoritması
LRP	: Yerleştirme-rotalama problemi (Location-routing problem)
MA	: Memetik algoritma
MIP	: Karma tam sayılı programlama
PSA	: Parçacık sürü algoritması
TA	: Tabu arama
TB	: Tavlama benzetimi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Gerçek karıncaların en kısa yolu süreci	21
Şekil 5.1. Şubelerin bulunduğu konumlar.....	28
Şekil 5.2. Tasarlanan soğuk hava deposu.....	29
Şekil 5.3. Açılan deponun gösterimi.....	36
Şekil 5.4. Şubelerin atandığı depolar.....	42
Şekil 5.5. Firmanın mevcut durum maliyetlerinin yüzdeler dilimleri.....	51
Şekil 5.6. Belirli illerde artırılan talepler sonucunda açılan depolar ve depolara atanan şubeler.....	54
Şekil 5.7. Açılan depo yerleri ve depolara atanan şubeler.....	56

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Min ve ark. (1998) yapmış oldukları sınıflandırma.....	5
Tablo 2.2. Lopes ve ark. (2008) yapmış oldukları sınıflandırma.....	5
Tablo 2.3. Yerleştirme-rotalama probleminde kesin çözüm yöntemleri kullanılan bazı çalışmalar.....	8
Tablo 2.4. Yerleştirme-rotalama probleminde metasezgisel yöntem kullanılan bazı çalışmalar.....	15
Tablo 4.1. Karınca kolonisi algoritmasının adımları	25
Tablo 4.2. KKA uygulama alanları ve yapılan çalışmalar	26
Tablo 5.1. Soğuk hava deposunun kurulum maliyetinin hesaplanması.....	30
Tablo 5.2. Depo arsalarının yıllık maliyetleri (şehirlerin m ² maliyeti*500 m ²) TL.....	31
Tablo 5.3. Yıllık toplam personel maliyeti hesaplaması.....	31
Tablo 5.4. Soğuk odanın yaklaşık soğutma kapasitesi (W).....	32
Tablo 5.5. İstanbul ili yıllık depo maliyetleri.....	33
Tablo 5.6. Toplam depo maliyetleri (TL).....	34
Tablo 5.7. Şubelerin yıllık palet talepleri ve koordinatları.....	34
Tablo 5.8. Senaryo ve özellikleri.....	35
Tablo 5.9. Şubelere ait bilgiler.....	35
Tablo 5.10. Matematiksel modelin LINGO sonucu.....	36
Tablo 5.11. Depo yer seçimi için parametre değerleri.....	38
Tablo 5.12. Depo açılması önerilen şehirler.....	39
Tablo 5.13. Kümeleme için parametre değerleri.....	40
Tablo 5.14. Şubelerin atandığı depolar.....	41
Tablo 5.15. Araç rotalama için parametre değerleri.....	42
Tablo 5.16. Kocaeli deposuna atanan şubelerin aylık talepleri (palet).....	43
Tablo 5.17. Yalova deposuna atanan şubelerin aylık talepleri (palet) ve rotaların maliyetleri (TL).....	44

Tablo 5.18. Eskişehir deposuna ait şubelerin aylık talepleri (palet).....	45
Tablo 5.19. Eskişehir deposunun araç rotaları ve maliyetleri (TL).....	46
Tablo 5.20. İstanbul Avrupa ve Anadolu yakasına ait şubeler hakkında bilgiler.....	47
Tablo 5.21. İstanbul Avrupa ve Anadolu yakası deposuna atanan şubelerin 15 günlük talepleri (palet).....	47
Tablo 5.22. İstanbul Anadolu yakası deposunun araç rotaları ve maliyetleri (TL).....	48
Tablo 5.23. İstanbul Avrupa yakası deposuna atanan şubelerin 15 günlük talepleri (palet).....	49
Tablo 5.24. İstanbul Avrupa yakası deposunun araç rotaları ve maliyetleri (TL).....	50
Tablo 5.25. Firmanın mevcut yıllık maliyetleri (TL).....	51
Tablo 5.26. Önerilen 5 deponun maliyetleri (TL).....	52
Tablo 5.27. Belirli illerde artırılan talepler sonucunda açılan depolar ve depolarına atanan şubeler.....	53
Tablo 5.28. Belirli illerde artırılan talepler sonucunda oluşan rota maliyetleri (TL).....	54
Tablo 5.29. Açılacak şubeler hakkında veriler.....	55
Tablo 5.30. Açılacak şubelerin tahmini aylık talepleri (palet).....	55
Tablo 5.31. İlave edilen 10 şube sonucunda açılan depolar ve depolarına atanan şubeler.....	55
Tablo 5.32. İlave edilen 10 şube ile ortaya çıkan rotaların maliyeti (TL).....	56

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi (CLRP), Karınca kolonisi algoritması (KKA), Karma tam sayılı programlama (MIP)

Son yıllarda giderek artan rekabet, firmaların ürünlerini daha hızlı üretmeye ve dağıtmaya sevk etmiştir. Günümüzde firmaların dağıtım ağının iyi tasarlanmış olması rakipleri ile rekabetinde önemli bir fark sağlamaktadır. Firmaların operasyonel maliyetlerinin önemli bir kısmını lojistik maliyetler oluşturduğu, bunda da depolama ve dağıtımın önemli bir yer tuttuğu bilinmektedir. Bu maliyetlerin azaltılmasında en önemli karar problemleri olarak karşımıza uygun depo yerlerinin belirlenmesi, her depoya belirli sayıda şubenin atanması ve şube taleplerinin atanan depodan en kısa rota izlenerek en uygun dağıtım politikasının bulunması olduğu açıktır. Bu problemlerin bir arada ele alındığı problem tiplerine literatürde yerleştirme-rotalama problemi adı verilmektedir. Doğası gereği yerleştirme-rotalama problemi NP-zor sınıfına girmektedir.

Bu çalışmada, gıda sektöründeki firmanın gerçek verileri kullanılarak kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi çözülmüştür. Literatürde var olan karma tam sayılı programlama tabanlı bir yerleştirme-rotalama problemine farklı kısıtlar (depo kapasite kısıtı, yalnızca depo ve rota maliyetini içeren yeni bir amaç fonksiyonu) eklenerek yeni bir model geliştirilmiştir. Büyük boyutlu kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için ise metasezgisel algoritmalarından olan karınca kolonisi algoritması ile çözüm elde edilmiştir. Gıda sektöründe faaliyet yapan bir firmanın gerçek verileri de dikkate alınarak problem dört farklı senaryo olarak incelenmiştir. İlk senaryoda geliştirilen karma tam sayılı programlama tabanlı model kullanılarak küçük boyutlu bir problemin optimum sonucu elde edilmiştir. İkinci senaryoda ise geliştirilen karınca kolonisi algoritması ile problemin büyük boyutlu hali çözülmüştür. Firmanın mevcut durumu (tek depo) bu çalışmada önerilen (5 depo) lojistik maliyetleri açısından karşılaştırıldığında, önerilen sistemin maliyetinin %49 oranında daha az olduğu gösterilmiştir. Üçüncü senaryoda ise geliştirilen algoritmanın yeni depo yerleri ve yeni rotaların belirlenmesindeki etkinliğini göstermek için, belirli illerde talep artışları dikkate alınarak bu olay gözlenmiştir. Son senaryoda ise, firmanın gelecek 5 yıl planlaması içerisinde 10 yeni ilde şube açılması durumu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu çalışmada geliştirilen karma tam sayılı programlama ve karınca kolonisi algoritması etkin ve verimli sonuçlar ürettiği sonucuna varılmaktadır.

THE SOLUTION OF LOCATION-ROUTING PROBLEM WITH ANT COLONY ALGORITHM: APPLICATION IN A FOOD COMPANY

SUMMARY

Keywords: Capacitated location-routing problem (CLRP), Ant colony algorithm (ACA), Mixed integer programming (MIP)

Increasing competition in recent years, companies' products have been impelled to produce faster and distribute. Nowadays, the distribution network of the company is to be well designed to provide a significant difference in its competition with its competitors. Operational costs of companies constitute a significant part of the logistic costs, it is known that herein too storage and distribution occupy an important place. As the most important decision problems in reducing these costs, it is clear that appropriate warehouse location, assigning a certain number of branches to each warehouse, and assigning branch requests are the most appropriate distribution policy following the shortest route from the warehouse. The types of problems in which these problems are handled together are called location-routing problems in the literature. By its nature, the location- routing problem falls into the NP-hard category.

In this study, the capacitated location-routing problem was solved by using the real data of the company in the food industry. A new mixed integer programming model was developed by adding different constraints (warehouse capacity constraint and new objective function that includes only warehouse and route cost) to a mixed integer programming based location-routing problem in the literature. For large-scale problems, an ant colony of an algorithm, which is one of the meta-heuristic algorithms, was developed. To illustrate the effectiveness of the proposed algorithms, four scenarios were generated. By considering the MIP based model developed in the first scenario, the optimum result of the small size of the problem was found. In the second scenario, the large size of the problem is solved using the developed ant colony algorithm. Comparing the annual total cost of the company with the existing factory warehouse and the 5 proposed warehouses, it was observed that the logistics cost decreased by 49%. In the third scenario, the problem is solved by increasing the demands of certain provinces to show the effectiveness of the developed algorithm in determining new warehouse locations and new route. In the last scenario, the situation of opening branches in 10 new provinces within the next 5 years of the company was examined. In this study, it is seen that the algorithm works effectively and efficiently under the four different scenarios.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Küreselleşmenin etkisi ve yaşanan hızlı değişimler sonucunda firmalar, daha rekabetçi bir ortamda hem ulusal hem de uluslararası pazarda rakiplerinden bir adım daha önde olmak için iyi tasarlanmış bir dağıtım ağına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu dağıtım ağı tasarımı, depo yer seçimi ve araç rotalamasından oluşmaktadır. Literatürde bu iki konuyu bir arada içeren probleme yerleştirme-rotalama problemi (LRP) adı verilmektedir. Depo yer seçimi ve araç rotalama problemlerinin her ikisi de NP-zor sınıfına ait olduğundan yerleştirme-rotalama problemi de bu sınıfta yer almaktadır.

LRP, aday depo yerleri arasından uygun olan yerlere depo açıp bu depoların hangi şubelere hizmet vereceği ve şubelere hizmet götüreceği araç rotaları belirlenir. Bu problemde amaç, depo ve araç rota maliyetinin toplamını en az olmasını sağlamaktır. Problem depo ve araçların kapasite kısıtlı olup olmaması, araçların zamanında ulaşma kısıtının olup olmamasına göre çeşitlenebilmektedir.

Tezin ikinci bölümünde yerleştirme-rotalama problemi tanımlanmıştır. Yerleştirme-rotalama problemi için yapılan sınıflandırmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Literatürde yer alan bu çalışmaya yakın çalışmalar incelenip detaylı bir şekilde anlatılmıştır. İncelenen bu çalışmalar kesin ve metasezgisel çözüm yöntemlerine göre sınıflandırılıp anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama probleminin matematiksel modeli sunulmuştur. Problemin tanımı, varsayımları, kullanılan parametreler, değişkenler açıklandıktan sonra matematiksel modelin amacı ve kısıtları detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Matematiksel modele eklenen yeni kısıtlar hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde metasezgisel çözüm yöntemlerinden karınca kolonisi algoritması (KKA) hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölümde öncelikle gerçek karıncaların davranışlarını benzeştiren algoritmanın temel kriterleri verilmiştir. Devamında algoritmanın modeli tanıtılıp ardından karınca kolonisi algoritmasının uygulandığı bazı çalışmalardan bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde ise İstanbul Anadolu yakasında unlu mamul üretimi yapan bir gıda firmasının 41 aday depo yerinden 5 deponun nerelerde açılmasının en uygun olduğu ve açılan depolardan hangi şubelerin hizmet alacağını içeren bir kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi ele alınmıştır. Bu bölümde dört farklı senaryo uygulanmıştır. İlk senaryoda geliştirilen karma tam sayılı programlama (MIP) tabanlı model firmanın küçük boyutlu bir örneği ile çözülmüştür. İkinci senaryoda geliştirilen KKA kullanılarak kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi çözülmüştür. Algoritma ile çözülen problemin firmanın bir yıllık toplam depo ve araç rota maliyetleri karşılaştırılmıştır. Üçüncü senaryoda ise Doğu Anadolu bölgesinde taleplerin %40 oranında artırılmıştır. Son senaryoda ise, firma gelecek 5 yıl planlaması içerisinde yer alan 10 ilde şube açma hedefi ele alınmıştır.

Son bölümde ise yapılan çalışmalar ve sonuçlar özetlenmiştir.

BÖLÜM 2. YERLEŞTİRME-ROTALAMA PROBLEMİ

2.1. Yerleştirme-Rotalama Problemi

Yerleştirme-rotalama problemi (location-routing problem-LRP), verilen kısıtlamalar dikkate alınarak bir veya çoklu amaç değeri bakımından tesisler için en uygun yerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir. En uygun tesis yeri, işletme ve nakliye maliyetlerinin en az olduğu yerdir. En yaygın amaç, tesisler ve müşteriler arasındaki ulaşım yollarının ve buna bağlı olarak ilgili maliyetlerin en aza indirilmesidir. Kısıtlamalar; açılacak depo sayısını, depo ve araç kapasitelerinin sınırlandırılmasını içerebilir (Bruns, 1998).

LRP iki alt problemden oluşur. Bunlar; tesis yer seçimi ve araç rotalama problemidir. Bu iki alt problem NP-zor problem sınıfına aittir. Bu durumda yerleştirme-rotalama problemi de NP-zor problem sınıfına dâhil olmaktadır (Ferdı ve Layeb, 2018).

Yerleştirme-rotalama probleminde öncelikle hangi deponun açılacağını belirledikten sonra müşteriler ve depolar arasında en az mesafeyi sağlayacak araç rotalama yapılmasını amaçlayan bir problem tipidir. Perl ve Daskin'in 1985 yılında yayımladığı çalışmada açıkladığı gibi yerleştirme-rotalama problemleri birbiriyle ilişkili 3 esas kararı içermektedir:

- Tesislerin nereye yerleőtirileceęi,
- Müşterilerin tesislere nasıl tahsis edileceği,
- Müşterilere hizmet için nasıl yönlendirileceği

Bu kararlar dışında problemin çözümünü zorlaŐtıran başka kararlarda alınması gereklidir. Gerekli olan bu kararlar aşağıda belirtilmiŐtir (Marikanis, 2009):

- Açılacak olan tesis sayısı,
- Tesislerin nerede olması gerektiği,
- Hangi depoların hangi müşterileri kapsayacağını,
- Hangi müşterilere hangi rotadan hizmet alacağını,
- Her rotada hangi sırayla müşterilere hizmet verilmesi gerektiğidir.

2.1.1. Yerleştirme-rotalama problemi sınıflandırma

Yerleştirme-rotalama problemleri literatürde hem problemin yapısına hem de çözüm yöntemlerine göre çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle çalışmaları incelemek için sınıflandırma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu konuda temel alınan üç çalışma olmuştur: Min ve ark. (1998) problemin yapısı ve çözüm yöntemine göre ayrıntılı bir şekilde yaptıkları sınıflandırma, Nagy ve Salhi (2007) temel kriterleri ele alarak yaptıkları sınıflandırma ve Lopes ve ark. (2008) önce yapısal sonra çözüm yaklaşımlarına göre yaptıkları sınıflandırmadır.

Min ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada yerleştirme-rotalama probleminin yapısı ve çeşitliliği göz önüne alarak bir sınıflandırma oluşturmuşlardır. Bu çalışma 1976'dan itibaren 17 farklı dergi ve kitapta yayınlanmış olan 33 yayının incelenmesiyle oluşturulmuştur. Min ve ark.'nın (1998) yapmış oldukları sınıflandırma Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Nagy ve Salhi (2007) yayınlamış oldukları çalışmalarında 4 temel kritere bakarak sınıflandırma yapmışlardır. Tek ve çift aşamalı olmak üzere iki sınıfa ayrılan hiyerarşik yapı, deterministik ve stokastik olarak iki türü olan girdi verileri, tek ve çoklu periyot türleri olan planlama dönemi, kesin ve sezgisel olarak ikiye ayrılan çözüm metotları olarak sınıflandırmışlardır. Nagy ve Salhi (2007), Min ve ark. (1998) gibi ayrıntılı bir sınıflandırma tercih etmemelerinin nedeni ise grup sayıları arttıkça gruplarda yer alan çalışma sayısı azalacağından faydalı olmayacağını düşünmüşlerdir.

Tablo 2.1. Min ve ark. (1998) yapmış oldukları sınıflandırma

Problemin Yapısına Göre		Çözüm Yöntemine Göre
Hiyerarşik Seviye	Planlama Ufku	Kesin Çözüm Yöntemleri
- Tek Seviyeli	- Tek periyot (Statik)	- Dal sınır algoritması
- İki Seviyeli	- Çoklu periyot (Dinamik)	- Dinamik
Talep/Tedarik Yapısı	Zaman Kısıtı	programlama
- Deterministik	- Zaman kısıtı olmayan	- Tam sayılı
- Stokastik	- Yumuşak zaman	programlama
Tesis Sayısı	penceresi	- Doğrusal olmayan
- Tek tesis	- Sıkı zaman penceresi	programlama
- Çok tesis	Tesis Seviyesi	Sezgisel Algoritmalar
Araç Filosu Büyüklüğü	- Birinci seviye	- Yerleştirme atama
- Tek araç	- İkinci seviye	önce, rotalama sonra
- Çok araç	Amaç Fonksiyonu	- Rotalama önce,
Araç Kapasite Kısıtı	- Tek amaçlı	yerleştirme sonra
- Kapasite kısıtlı	- Çok amaçlı	- Kazanç/ ekleme
- Kapasite kısıtsız	Model Verileri	yöntemi
Tesis Kapasite Kısıtı	- Hipotetik veri	- Geliştirme/
- Kapasite kısıtlı	- Gerçek veri	değiştirme yöntemi
- Kapasite kısıtsız		

Lopes ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada yerleştirme-rotalama problemini yapısal açıdan sınıflandırmışlardır. Bu yapısal sınıflandırmanın ardından her grup önce kesin ve sezgisel olan çözüm yöntemlerine göre sonrasında tek veya çoklu amaç fonksiyonuna göre ayırmışlardır. Bu sınıflandırma genel olarak benzer problemlerin bir grup altında değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Tablo 2.2.'de Lopes ve ark.'nın (2008) yapmış oldukları sınıflandırma gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Lopes ve ark. (2008) yapmış oldukları sınıflandırma

Standart Hiyerarşik Modeller	Standart Olmayan Hiyerarşik Modeller
Deterministik Model	Taşıma yerleştirme
- Tam tur LRP	Çoktan çoğa LRP
- Kapasite kısıtlı LRP	Çok seviyeli LRP
- Arka tabanlı LRP	Araç rotalama ve tahsis etme problemleri
- Planer LRP	
- Yerleştirme çemberi LRP	
- Hamilton LRP	
- Genel LRP	
Deterministik Olmayan Model	
- Gezgin Satıcı LRP	
- Stokastik LRP	
- Dinamik LRP	

Bu tez kapsamında sunulan çalışma Min ve ark. (1998) yapmış oldukları sınıflandırmaya göre tek seviyeli, talebi deterministik olan, birden çok depo ve her deponun ihtiyacı kadar araç bulundurması şeklinde tanımlanmıştır. Araçlar ve depolar

kapasite kısıtlıdır, zaman kısıtı dikkate alınmamıştır. Problem tek amaç fonksiyonludur ve gerçek veriler kullanılmıştır.

Bu çalışma Lopes ve ark. (2008)'nın yapmış oldukları sınıflandırmada ise deterministik model grubunda olan kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi (capacitated location routing–CLRP) olarak tanımlanmaktadır.

2.1.2. Yerleştirme-rotalama problemlerinde çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması

Nagy ve Salhi (2007) yaptığı çalışmada problem yapısına ve çözüm yöntemlerine göre sınıflandırmıştır. Çözüm yöntemleri de kendi içerisinde kesin ve metasezgisel olmak üzere iki kategoride değerlendirilmektedir.

2.1.2.1. Kesin çözüm yöntemleri

Yerleştirme-rotalama probleminde kesin çözüm yöntemleri matematiksel model temeline dayanmaktadır. Bu modellerde;

- Her araç rotasında bir depo olmalıdır.
- Rotalarda bir deponun diğer depoya bağlanmasına izin verilmemelidir.
- Bazı değişkenler tam sayılı (genellikle 0-1 tamsayısı) olmalıdır (Nagy ve Salhi, 2007).

Bu şartlar altında matematiksel modelde kısıtların gevşetilmesiyle problemin çözümü sağlanmaktadır.

Laporte ve Nobert (1981) tarafından yapılan ilk çalışmada tur uzunluğu kısıtlamaları olmaksızın tek tesisli sabit filo büyüklüğü olan yerleştirme-rotalama problemi için kesin algoritmalar sunulmuştur. Problem önce kısıtlamaları gevşeterek tam sayılı programlama ile sonrasında dal-sınır tekniği kullanarak çözülmüştür.

Laporte ve ark. (1983) yaptıkları çalışmada kapasite kısıtsız çok tesisli yerleştirme-rotalama problemini tam sayılı programlama kullanılarak kesin çözüm bulmuşlardır. 7 tesis yeri ve 40 müşteriye kadar çözüm elde edilmiştir.

Laporte ve ark. (1986) tarafından uygulanan yerleştirme-rotalama probleminde araçların kapasite kısıtları da dâhil edilmiştir. Bunun yanı sıra tanımlanan problem tam sayılı programlama ile modellenmiş olup kısıt gevşetmesiyle kesin çözüme ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada 8 depo ve 20 müşteriye kadar kesin sonuçlar elde edilebilmiştir.

Bookbinder ve Reece (1988) çok ürünlü, kapasite kısıtlı bir dağıtım sistemini doğrusal olmayan MIP ile formüle etmişlerdir. Problem büyüklüğünde üssel büyüme nedeniyle yerleştirme-rotalama için kesin yöntem algoritmaları 20-50 müşteri arasında örneklerle sınırlandırılmıştır.

Berger (1997) tarafından yapılan çalışmada ise genel yerleştirme-rotalama probleminden farklı olarak en son müşterinin ait olduğu depoya geri dönmesi modelde kısıt olarak katılmamıştır. Çalışmada modelin çözümü için dal-sınır algoritması kullanılmış olup dal-sınır ağacının her düğümü için kolon üretme metodu kullanılmıştır. Sınır kısmı için ise kaynak kısıtlı en kısa yol probleminden yararlanılmıştır.

Baretto (2004) CLRP için yaptığı çalışmada bir kesme düzlemi yöntemine dayanan bir alt sınır önermiştir.

Belenguer ve ark. (2011) eşitsizlik kümeleri tarafından güçlendirilen 0-1 tam sayılı doğrusal modeli temel alan bir dal-kesme algoritması geliştirmiştir.

Baldacci ve ark. (2011) LRP için kesin çözüm metodu olan dal-sınır algoritmasını kullanmıştır.

Contardo ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada yerleştirme-rotalama problemi için dal-kesme-fiyat algoritması kullanılmıştır. Çalışmada 50 müşteri ve 5-10 depo örneği çözülmüştür.

Farham ve ark. (2018)'nin yaptıkları çalışmada zaman kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için kesin çözüm metodu olan dal-fiyat algoritması kullanılmıştır. Problemin fiyat kısmı için dinamik bir program oluşturulmuştur. Küçük-orta boyuttaki örnekler için bu model yeterli olurken büyük boyuttaki örnekler için kolon üretme metodu önermişlerdir.

Zhou ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada çoklu kapasiteli hiyerarşik yerleştirme-rotalama problemini ele almışlardır. Karbon emisyonlarını hesaba katarak enerji tasarrufu ve emisyon azaltımını amaçlamışlardır. Model karma tam sayılı programlama olarak tanımlanmıştır. Sonrasında güçlü dualite teorisine dayanarak doğrusal olmayan model, sağlam ve doğrusal bir eşdeğer modele dönüştürmüşlerdir. 15 talep noktası ve 8 aday depo merkezli bir örnek çözmüşlerdir.

Bahsedilen bu çalışmalar Tablo 2.3.'te çözüm yöntemlerine göre özet halinde sunulmuştur.

Tablo 2.3. Yerleştirme-rotalama probleminde kesin çözüm yöntemleri kullanılan bazı çalışmalar

Yazar (Yıl)	Çözüm Yöntemleri
Laporte ve Nobert (1981)	Dal-Sınır Algoritması
Laporte ve ark. (1983)	Tam sayılı Programlama
Laporte ve ark. (1986)	Tam sayılı Programlama
Bookbinder ve Reece (1988)	Karma Tam sayılı Programlama
Berger (1997)	Dal-Sınır Algoritması
Baretto (2004)	Kesme Düzlemi Algoritması
Belenguer ve ark. (2011)	Dal-Kesme Algoritması
Baldacci ve ark. (2011)	Dal-Sınır Algoritması
Contardo ve ark. (2013)	Dal-Kesme Fiyat Algoritması
Farham ve ark. (2018)	Dal-Fiyat Algoritması
Zhou ve ark. (2020)	Karma Tam sayılı Programlama

Kesin çözüm yöntemleri LRP için en uygun sonuçları vermektedir. Fakat bu problem literatürde NP-zor problem sınıfına ait olup problemin boyutu büyüdükçe

çözümlemesi uzun zaman almaktadır. Bu nedenle kesin çözüm yöntemleri küçük örneklerde kullanılmaktadır.

2.1.2.2. Metasezgisel çözüm yöntemleri

LRP NP-zor problemlerinde olduğu gibi geniş bir çözüm uzayına sahiptir. Kesin çözüm yöntemleri kullanılarak problemin çözümü çok zaman almaktadır. Metasezgisel yöntemler problemin daha kısa sürede ve en iyi çözüm vermesinde yardımcı olmaktadır.

Metasezgisel çözüm yöntemleri başlıca şöyledir:

- Tabu arama (TA)
- Tavlama benzetimi (TB)
- Karınca kolonisi algoritması (KKA)
- Genetik algoritma (GA)
- Memetik algoritma (MA)
- Açgözlü randomize adaptif arama prosedürü (GRASP)
- Parçacık sürü algoritması (PSA)
- Değişken komşuluk arama (DKA)
- Evrimsel yerel arama (EYA)

Tuzun ve Burke (1999) yerleştirme-rotalama problemi için iki aşamalı TA algoritmasını geliştirmiştir. Bu algoritma çözümü elde edene kadar mevcut çözüme bir depo eklenmiştir. Önerilen metotla 100, 150 ve 200 müşteri içeren örnekler çözülmüştür.

Wu ve ark. (2002) çok depolu, homojen ve heterojen filo tipine sahip, sınırlı sayıda araç içeren, kapasite kısıtlı depolar ve rotalardan oluşan yerleştirme-rotalama problemini ele almışlardır. Bu problemin çözümü için TB önerilmiştir ve iki aşamada çözülmüştür.

Albareda-Sambola ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada kapasite sınırı olan ve tesisten tek bir rota ile servis yapıldığını kabul eden bir yerleştirme-rotalama problemini TA algoritması ile çözmüşlerdir. Önerilen metodu 30 müşterili bir örnek üzerinde uygulamışlardır.

Bouhafs ve ark. (2006) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemini çözmek için TB ve KKA birleştirerek hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmayı kıyas problemleri üzerinde uygulamışlardır.

Özgönenç (2006) tarafından yapılan çalışmada zaman kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi ele alınmıştır. Bu problemin çözümünde genetik algoritma kullanılmıştır. Kıyas problemleri üzerinde algoritma test edilmiştir.

Prins ve ark. (2006a) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için memetik algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritmanın verimliliğini test etmek için kıyas problemlerinden yararlanmışlardır.

Prins ve ark. (2006b) kapasite kısıtlı depo ve araçların yerleştirme-rotalama problemi için GRASP algoritmasını kullanmışlardır. Bu algoritmayı test etmek için kıyas problemlerinden faydalanılmıştır.

Prins ve ark. (2007) yerleştirme-rotalama problemi çözmek için tabu arama ve langrange gevşeme tekniğini birleştirmişler ve kıyas problemleri ile test etmişlerdir.

Marinakis ve Marinaki (2008) yerleştirme-rotalama problemi için parçacık sürü algoritması (PSA) geliştirmişlerdir. Kıyas problemleri üzerinde geliştirdikleri bu algoritmayı uygulamışlardır.

Duhamel ve ark. (2008) yerleştirme-rotalama problemi için bir yer arama prosedürü ile genetik algoritma (GA) hibritleştirilmesi sonucu bir memetik algoritma (MA) geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri MA ile kıyas problemleri üzerinde iyi sonuçlar elde ettiklerini iddia etmişlerdir.

Yıldız (2008) bir gönüllünün yemek dağıtımını uygulaması için yerleştirme-rotalama problemi çözmüştür. İhtiyaç sahibi olan herkese hizmet verilmektedir. Problemin çözümü için GA kullanılmıştır. Literatürde yer alan kıyas problemleriyle çözüm yöntemi test edilmiş olup ayrıca gerçek verilerle de problem çözümlenmiştir.

Yu ve ark. (2009) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama probleminin çözümü için bir TB kullanmışlardır. Algoritma kıyas problemleri ile çözümlenmiştir.

Akpınar (2009) tarafından yapılan çalışmada yerleştirme-rotalama probleminin çözümü için ilk olarak karma tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. NP- zor sınıfına ait olan yerleştirme-rotalama probleminin verileri büyüdükçe çözülmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle Akpınar çalışmasının devamında GA kullanmıştır. Problemi genetik algoritma ile iki aşamada çözmüştür. İlk aşamada aday tesis yeri belirlerken ikinci aşama da rota oluşturmuştur. Geliştirdiği bu algoritmayı kıyas problemleri üzerinde uygulamıştır.

Duhamel ve ark. (2010) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için açgözlü randomize adaptif arama prosedürü (GRASP) kullanmışlardır. Baretto (2004) ve Prodhon (2006) veri setleri kullanılarak test edilen metasezgisel algoritmadan iyi sonuçlar elde ettiklerini iddia etmişlerdir.

Ting ve Chen (2013) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemini çözmek için karınca kolonisi algoritmasını geliştirmişlerdir. Problem üç aşamada çözümlenmiştir: Açılan tesisleri belirlemek, müşterileri tesislere atamak ve her bir tesisin müşterisine kapasite kısıtlı araçlarla hizmet vermektir. Geliştirilen bu algoritmayı test etmek için kıyas problemleri kullanılmıştır.

Escobar ve ark. (2014) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama probleminin çözümü için değişken komşu arama (DKA) ve TA algoritmalarını hibritleştirerek yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Literatürdeki kıyas problemleri kullanılarak geliştirilen algoritmanın iyi sonuç verdiğini iddia etmişlerdir.

Kechmane ve ark. (2016) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için MA geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma kıyas problemleri ile çözülmüştür. Performansını ölçmek için GRASP algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda geliştirilen algoritmanın iyi sonuç verdiği iddia edilmiştir.

Rybickova ve ark. (2016) yerleştirme-rotalama problemi için GA kullanmışlardır. 30 müşterili bir problemde uygulanmıştır. Genetik algoritmanın çeşitli parametreleri bu problemde test edildiğinde sonuçların verimlilik konusunda uygun bir algoritma olduğunu iddia etmişlerdir.

Hiassat ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada bozulabilir ürünlerde yerleştirme-rotalama problemini ele almışlardır. Önerilen matematiksel modelde gerekli depo sayısı ve yeri, her perakendecideki stok seviyesini ve her bir aracın rotasını belirlemişlerdir. Fakat bu model 50 müşterili 5 depolu örneğin çözümünde yetersiz kaldığı için metasezgisel olarak GA kullanılmıştır.

Peng ve ark. (2017) kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi çözümünde PSA geliştirmişlerdir. Bu algoritmanın test edilmesi için kıyas problemleri kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde algoritmanın basit ve verimli sonuç verdiği iddia edilmiştir.

Yaşar (2017) yaptığı çalışmada yerleştirme-rotalama problemini iki aşamada çözmüştür. Öncelikle önerilen 7 deponun hangisinin açılıp açılmayacağını matematiksel model ile çözümlenmiştir. Model sonucunda 4 depo açılmıştır. Açılan depodan müşterilere araçları rotalamak için TB kullanmıştır.

Chao ve ark. (2017) zaman kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi üzerinde çalışmıştır. Bu problemin çözümünde kümeleme yaklaşımı ile geliştirilmiş KKA kullanılmıştır. Geliştirilen bu algoritma kıyas problemleri üzerinde uygulanmıştır.

Wang ve ark. (2018) soğuk lojistik zincirinde karbon ayak izi ile yerleştirme-rotalama problemi çalışmışlardır. Bu problemin çözümünde GA kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma kıyas problemleri ile çözülmüştür.

Ferdi ve Layeb (2018) yaptıkları çalışmada kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemini çözmek için GRASP kullanmışlardır. Algoritmanın uygulamasında kıyas problemlerinden faydalanılmıştır.

Pekel (2018) çalışmasında talep belirsizliği altında kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için DKA ve EYA birleştiren hibrit algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen bu algoritma kıyas problemleri üzerinde uygulanmıştır.

Oudouar ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemini çözmüşlerdir. Birinci aşama, depoların yerini bulmak ve müşterileri her depoya atamak için kendi kendini organize eden bir harita (SOM) kullanmışlardır. İkinci aşamada, süpürme algoritması kullanılarak her bir küme için bir araç rotalama problemi çözmüşlerdir. Kıyas problemleri üzerinde uygulamışlardır.

Vincent ve ark. (2019) talep aralığı ile yerleştirme-rotalama problemi çalışmışlardır. Çözmek için tavlama benzetimi ve parçacık sürü algoritmasını birleştiren yeni bir hibrit algoritma geliştirmişlerdir. 10 müşteri, 2 depo ve kıyas problemleri üzerinde uygulamışlardır.

Oudouar ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemini ele almışlardır. Yer belirleme probleminde, depoları belirlemek ve müşterileri depolara atamak için kendi kendini organize eden bir harita (SOM), rotalar için ise çalışmada Clarke ve Wright algoritmasını kullanmışlardır. Kıyas problemleri üzerinde uygulamışlardır.

Wei ve ark. (2020) afet sonrası yardım dağıtımıyla entegre bir yerleştirme-rotalama problemini ele almışlardır. Amaç fonksiyonunda; zaman aralığı ihlali cezası, depo açılış, araç sabit ve rota maliyetinin en az olmasını hedeflemişlerdir. Geliştirdikleri

hibrit karınca kolonisi algoritması kullanmışlardır. İlk olarak kıyas problemleri üzerinde, sonrasında 15-150 alan, 2-20 depo örnekleri üzerinde uygulanmışlardır. Çözüm kalitesi açısından etkin olduğunu iddia etmişlerdir.

Leng ve ark. (2020) toplam lojistik maliyetlerini, müşteri ve araç bekleme süresini en aza indirmek için kapsamlı bir soğuk zincir tabanlı düşük karbonlu LRP optimizasyon modeli önermişlerdir. Önerilen modeli verimli bir şekilde çözmeyi amaçlayarak altı adet iyi bilinen çok amaçlı EYA kullanmışlardır. 20-60 müşterili, 5 depolu bir örnek çözmüşlerdir.

Yu ve ark. (2020) çalışmalarında birçok gerçekçi atık toplama uygulamasının doğasında olan benzerlikleri göz önünde bulundurarak daha genel iki kademeli çok amaçlı LRP geliştirmişlerdir. Modeli çözmek için yönlendirilmiş yerel arama yaklaşımı ile geliştirilmiş baskın olmayan genetik algoritma önermişlerdir. Kıyas problemleri üzerinde uygulamışlardır. GA ile karşılaştırmışlardır.

Zhang ve ark. (2020) araç emisyonlarından kaynaklanan çevre kirliliğini ve lojistik üzerindeki maliyeti azaltmak için zaman pencerelerinde zamana bağlı yerleştirme-rotalama problemi adlı yeni bir model geliştirmişlerdir. Amaç fonksiyonunda; açılan depo, etkinleştirilmiş araç ve yakıt tüketimi maliyetleri dahil olmak üzere maliyetleri en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. TA ve GRASP ile kıyas problemleri çözmüşlerdir.

Pitakasu ve ark. (2020) iki aşamalı LRP çözmüşlerdir. Amaçları; her iki kademede de mesafe ve yol koşullarına bağlı olarak toplam yakıt tüketimini en aza indirmektir. Bir müşteriye birden fazla hizmet verilebilmesi yeni bir kısıt kabul etmişlerdir. Problemi çözmek için değişken komşu arama algoritması kullanmışlardır. 116 tarım alanı ve 7 faktör kullanılarak bir örnek çözmüşlerdir.

Yerleştirme-rotalama problemine ait yukarıda bahsedilen çalışmaların özet hali aşağıdaki Tablo 2.4.'te gösterilmektedir.

Tablo 2.4. Yerleştirme-rotalama probleminde metasezgisel yöntem kullanılan bazı çalışmalar

Yazarlar ve Yıl	Problem Tipi	Algoritma	Problem Boyutu
Tuzun ve Burke (1999)	Genel LRP	TA	100-200 müşteri
Wu ve ark. (2002)	Çok depolu LRP	TB	Kıyas problemleri
Albareda-Sambola ve ark. (2005)	Kapasite kısıtlı LRP	TA	30 müşteri
Bouhafs ve ark. (2006)	Kapasite kısıtlı LRP	TB ve KKA	Kıyas problemleri
Özgönenç (2006)	Zaman kısıtlı LRP	GA	Kıyas problemleri
Prins ve ark. (2006a)	Kapasite kısıtlı LRP	MA	Kıyas problemleri
Prins ve ark. (2006b)	Kapasite kısıtlı LRP	GRASP	Kıyas problemleri
Prins ve ark. (2007)	Kapasite kısıtlı LRP	TA	Kıyas problemleri
Marinakis ve Marinaki (2008)	Genel LRP	PSA	Kıyas problemleri
Duhamel ve ark. (2008)	Kapasite kısıtlı LRP	MA	Kıyas problemleri
Yıldız (2008)	Genel LRP	GA	Kıyas problemleri
Akpınar (2009)	Genel LRP	GA	Kıyas problemleri
Yu ve ark. (2010)	Kapasite kısıtlı LRP	TB	Kıyas problemleri
Duhamel ve ark. (2010)	Kapasite kısıtlı LRP	GRASP	Kıyas problemleri
Ting ve Chen (2013)	Kapasite kısıtlı LRP	KKA	Kıyas problemleri
Escobar ve ark. (2014)	Kapasite kısıtlı LRP	DKA ve TA	Kıyas problemleri
Kechmane ve ark. (2016)	Kapasite kısıtlı LRP	MA	Kıyas problemleri
Rybickova ve ark. (2016)	Genel LRP	GA	30 müşteri
Hiassat ve ark. (2017)	Genel LRP	GA	50 müşteri, 5 depo
Peng ve ark. (2017)	Kapasite kısıtlı LRP	PSA	Kıyas problemleri
Yaşar (2017)	Genel LRP	TB	77 müşteri, 7 depo
Chao ve ark. (2017)	Zaman kısıtlı LRP	KKA	Kıyas problemleri
Wang ve ark. (2018)	Genel LRP	GA	Kıyas problemleri
Ferdi ve Layeb (2018)	Kapasite kısıtlı LRP	GRASP	Kıyas problemleri
Pekel (2018)	Kapasite kısıtlı LRP	DKA ve EYA	Kıyas problemleri
Oudouar ve ark. (2019)	Kapasite kısıtlı LRP	Süpürme algoritması	Kıyas problemleri
Vincent ve ark. (2019)	Genel LRP	TB ve PSA	Kıyas problemleri
Oudouar ve ark. (2020)	Kapasite kısıtlı LRP	Clarke ve Wright	Kıyas problemleri
Wei ve ark. (2020)	Genel LRP	Hibrit KKA	15-150 alan, 2-20 depo
Leng ve ark. (2020)	Genel LRP	EYA	20-60 müşteri, 5 depo
Yu ve ark. (2020)	Çok amaçlı LRP	GA	Kıyas problemleri
Zhang ve ark. (2020)	Zaman kısıtlı LRP	TA ve GRASP	Kıyas problemleri
Pitakasu ve ark. (2020)	Genel LRP	DKA	116 alan, 7 faktör

BÖLÜM 3. KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME-ROTALAMA PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Bu bölümde CLRP için matematiksel model sunulacaktır. Sunulan modelin probleminin tanımı, varsayımları, amacı ve kısıtları hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada CLRP çözülerek öngörülen depo yerlerinden hangi depoların açılacağını, bu açılan depolardan hangi şubelerin hizmet alacağı ve araç rotaları belirlenecektir. Problemden öngörülen depo yerleri, şube konumları, şube talepleri, araçların ve depoların kapasiteleri bilinmektedir.

3.2. Varsayımlar

CLRP için modelde belirli varsayımlar kullanılmıştır. Bu modeldeki varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Problem bu tezde tek seviyeli olarak ele alınmıştır.
- Modelin amaç fonksiyonu depo açılma ve araç rotalama maliyetini en küçüklemeye çalışmaktadır.
- Şubelerin tamamına hizmet verilmek zorundadır.
- Şubelerin talepleri bilinmektedir.
- Açılan depo sayısında bir sınırlama bulunmamaktadır.
- Depoların kapasiteleri bilinmektedir.
- Araçların kapasitesi bilinmektedir.
- Dağıtım çıkan araç başladığı depoya dağıtım yaptıktan sonra geri dönmelidir.
- Bir şubenin talebi sadece bir depodan karşılanmalıdır.

- Tek bir çeşit ürünün dağıtımının yapıldığı kabul edilmektedir.

3.3. Matematiksel Model

CLRP için önerilen matematiksel model Akpınar (2009)'dan temel alınmıştır.

Kümeler:

I: Şube setleri

J: Aday depo setleri

P: Tüm setler (IUJ)

K: Araçlar seti

Parametreler:

c_{ij} =i den j ye mesafe $i \in P, j \in P$

d_i = i şubesinin talebi, $i \in I$

f_j =j deposunun kurulum maliyeti, $j \in J$

w_j =j deposunun kapasitesi, $j \in J$

r_k =k aracının kapasitesi $k \in K$

t_k = k aracı için bir birim yolun maliyeti

Değişkenler:

$$x_j = \begin{cases} 1, j. depo açılırsa, j \in J \\ 0, j. depo açılmaz \end{cases} \quad (3.1)$$

$$z_{ijk} = \begin{cases} 1, i. Şubesi j şubesinden k rotası ile hizmet alırsa, i, j \in P \\ 0, i. Şubesi j şubesinden k rotası ile hizmet almaz \end{cases} \quad (3.2)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, i. şube j deposundan hizmet alırsa, j \in J, i \in I \\ 0, i. Şube j deposundan hizmet almaz \end{cases} \quad (3.3)$$

Model:

$$\min \sum_{j \in J} f_j x_j + \sum_{k \in K} t_k \left\{ \sum_{j \in P} \sum_{i \in P} c_{ij} z_{ijk} \right\} \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in P} z_{ijk} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in I} d_i \sum_{j \in P} z_{ijk} \leq r_k \quad \forall k \in K \quad (3.6)$$

$$\sum_{j \in P} z_{ijk} - \sum_{j \in P} z_{jik} = 0 \quad \forall i \in P, \forall k \in K \quad (3.7)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} z_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in v} \sum_{j \in v} \sum_{k \in K} z_{ijk} \geq 1 \quad \forall v \subset P, J \subset V \quad (3.9)$$

$$\sum_{m \in P} z_{imk} + \sum_{h \in P} z_{jhk} - y_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J; \forall i \in I; \forall k \in K \quad (3.10)$$

$$\sum_{j \in J} w_j x_j \geq \sum_{j \in J} y_{ij} d_i \quad \forall j \in J \quad (3.11)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (3.12)$$

$$z_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall j \in J \quad (3.13)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.14)$$

(3.4) ifade edilen amaç fonksiyonunda toplam depo ve araç rotalama maliyetini en küçüklemektedir.

(3.5) kısıtında her şube bir rotadan hizmet alır.

(3.6) kısıtında aracın kapasitesi dikkate alınarak bir araç rotası oluşturulmalıdır.

(3.7)'de bir araç rotasının tanımlanabilmesi için aracın geldiği bir noktadan ayrılmalıdır.

(3.8) kısıtında bir rotanın sadece bir depodan geçmesini sağlar.

(3.9)'da sadece şubelerden oluşan bir rotanın engellemesini ve bu durumda her rotanın mutlaka bir depodan geçmesini sağlar.

(3.10) kısıtında bir yol hem i şubesinden hem de j deposundan geçiyorsa i şubesi j deposunun hizmet alıyor olmalıdır.

(3.11) kısıtında ise deponun hizmet verdiği şube taleplerinin toplamı depo kapasitesini aşmamalıdır.

(3.12), (3.13), (3.14) kısıtları ise x , z , y değişkenlerinin 0-1 tam sayılı olduğunu göstermektedir.

3.4. Literatürden Farklılıklar

Geliştirilen modele yapılan katkılar aşağıdaki gibidir:

- Modele yalnızca depo ve rota maliyetini içeren yeni bir amaç fonksiyonu eklenmiştir.
- Akpınar (2009)'ın modelinde depo kapasitesi kısıtsız varsayılmıştır. Geliştirilen bu modelde depo kapasitesi kısıtı (3.11) eklenmiştir.
- Her bir deponun kapasitesi (w_j) farklı olabilmektedir.

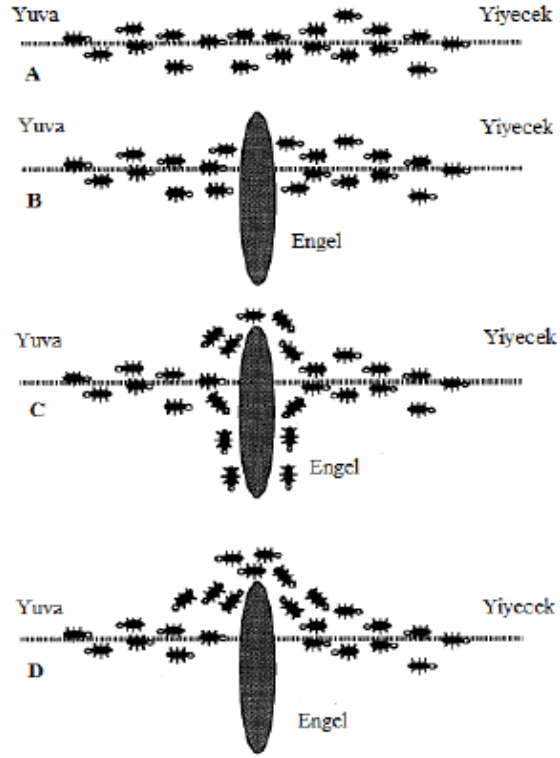
BÖLÜM 4. KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI

4.1. Gerçek Karıncalar

Gerçek karıncalar yuvaları ile yiyecek kaynakları arasındaki en kısa yolu bulabilme özelliğine sahiptirler. Yiyecek kaynaklarına ulaştıkları yola herhangi bir engel konulması durumunda ya da çevresindeki değişimler nedeniyle yuvaları ve yiyecek kaynakları arasında yeni bir yol bulurlar ve bu duruma adapte olurlar (Çayıröglü, 2014).

Görme yetileri çok iyi olmamasına rağmen en kısa yolu bulma başarısını salgıladıkları feromon denilen uçucu madde ile sağlamaktadırlar. Yiyecek kaynağına giden karıncanın salgıladığı feromon ile arkasından gelen karıncaların antenlerindeki hassas alıcılar ile izini sürmektedirler. Bir karınca yiyecek kaynağına ulaşmak için yol seçenekleri arasında feromon yoğunluğunun daha fazla olduğu yolu seçer ve bu durumda kısa yolun feromon yoğunluğu artar. Böylece karıncaların çoğunluğu kısa yolu tercih eder (Çiftçioğlu ve Doğan, 2017).

Karıncaların davranışları ilk olarak 1996 yılında Dorigo ve Gambardella tarafından yapılan deneyde gözlemlenmiştir. Şekil 4.1.'de tasarladıkları deney gösterilmiştir (Ercan, 2014).



Şekil 4.1. Gerçek karıncaların en kısa yolu süreci

Dorigo ve Gambardella (1996) yaptıkları deneyin ayrıntıları aşağıda anlatılmaktadır:

- A'da görüldüğü gibi karıncalar başlangıçta engel konulmayan düz bir yolu takip etmekte ve bıraktıkları feromon maddesi sayesinde kendilerinden sonra gelen karıncaların yolu bulmalarını kolaylaştırmaktadırlar.
- B şeklinde ise yola engel konulduğunda karıncaların feromon maddesini takip edemedikleri gözlemlenmiştir.
- C'de ise feromon maddesini takip edemeyen ve iki yol seçeneğini olan karıncaların rastgele yol tercih ettikleri görülmüştür.
- D şeklinde ise birim zamanda kısa yolda bırakılacak feromon maddesi yoğunluğunun fazla olması sayesinde karıncalar kısa yolu tercih etmişlerdir (Ercan, 2014).

4.2. Yapay Karıncalar

Problemlerin çözümünde kullanılabilmesi için gerçek karıncaların yol seçim özelliğinin bazıları aynen kalırken bazılarına ise bir takım eklemeler yapılmıştır. Gerçek karıncalara yapılan bu eklemelerle yapay karıncaların oluşturulması sağlanmıştır. Yapay karıncaların gerçek karıncalardan aynen aldığı özellikler şöyledir:

- Feromon miktarının yoğun olduğu yolların seçilmesi,
- Karıncalar ile feromon arasında kurulan iletişim,
- Feromon miktarının kısa yollar üzerinde daha hızlı artması

Problemlerin çözümünde daha iyi bir sonuç alabilmek için yeni özellikler eklenmiştir. Bu özellikler şöyledir:

- Yapay karıncalar sürekli olmayan ayrık zamanda yaşarlar. Problem tanımına göre hareket ederler.
- Tamamen kör olmayan yapay karıncalar problem ya da amaç fonksiyonu ile ilgili detaya erişebilirler.
- Yapay karıncalar bir miktar hafızaya sahiptirler (Yakhno ve Ekin, 2002; Dodurgalı, 2010).

Çözüm kalitesini belirleyen feromon miktarı yapay karıncalar tarafından biriktirilir. Yapay karıncalar gerçek karınca davranışlarını yansıtmazlar, çünkü feromon yaymadaki zamanı problemle bağlantılıdır.

4.3. Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca kolonisi algoritması (KKA), gerçek karıncaların yiyecek arama davranışlarından esinlenerek problemlere çözüm bulmak amacıyla ortaya çıkan bir optimizasyon algoritmasıdır (Şirin, 2018). Algoritma ilk olarak 1996 yılında Dorigo ve Gambardella tarafından gezgin satıcı probleminin (GSP) çözümünde kullanılmıştır (Dorigo ve Gambardella, 1997).

Yapay karıncalardan oluşan KKA, yapay feromon izlerinin güncelleştirilmesiyle yinelenen bir yapıya sahiptir. Karınca kolonisi algoritmasında yapılan temel işlemler; yapay karıncaların geçtikleri yolların tur sonunda feromon miktarının artırılması, belirli oranda buharlaşmanın gerçekleştirilmesi, en iyi çözümün bulunması, global feromon güncellenmesinin yapılması ve karıncaların güncellenen bu feromon miktarlarına bağlı olarak yeni yol tercihlerinin gerçekleştirilmesidir (Akşehir, 2019).

4.3.1. Geçiş kuralı

Karıncı kolonisi algoritmasında bir tur esnasında bir noktada bulunan karıncanın diğer noktayı tercih ederken iki seçeneği vardır. İlk seçenek, q_0 olasılıkla feromon miktarının en yoğun olduğu yolun tercih edilmesidir. q_0 genellikle %90 olarak belirlenir. Bu geçiş kuralının formülü Denklem 4.1'de görülmektedir.

$$j = \max_{u \in j_k(i)} \{ [\tau(i, u)]^\alpha \times [\eta(i, u)]^\beta \} \quad u \in j_k(i) \text{ eğer } q < q_0 \quad (4.1)$$

Denklemden $\tau(i, u)$ i ile u arasındaki feromon izini, $\eta(i, u)$ i noktasının u noktasına uzaklığının tersini ve $j_k(i)$ ise i noktasında bulunan k karıncasının henüz gitmediği noktaları temsil etmektedir. α ve β ise ayarlanabilir parametrelerdir.

Diğer seçenekte ise gidilmesi mümkün olan yollardan birini, yollardaki feromon miktarıyla orantılı olarak seçmektir. Feromon miktarının yoğun olduğu yolların seçilme olasılığı daha yüksektir. Bu formül Denklem 4.2'de belirtilmektedir (Dodurgalı, 2010).

$$p_k(i, j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i, j)]^\alpha \times [\eta(i, j)]^\beta}{\sum_{u \in j_k(i)} [\tau(i, u)]^\alpha \times [\eta(i, u)]^\beta} & \text{eğer } j \in j_k(i) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.2)$$

4.3.2. Feromon güncellemesi

Feromon miktarı güncellemesi karıncalar turlarını tamamladıktan sonra yapılmaktadır. İlk aşamada tüm yollardaki feromonlar, belirlenen buharlaşma oranında buharlaştırılmaktadır. Sonraki aşamada karıncaların geçtikleri yollardaki feromon miktarları, o yolu kullanan karıncanın toplam yol uzunluğuyla ters orantılı olarak arttırılmaktadır. Böylelikle daha kısa yola sahip karıncaların kullandıkları yollardaki feromon miktarlarında daha fazla artış göstermektedir (Stützle, 2000; Eripek, 2015).

Feromon güncellemesi lokal ve global olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.

4.3.2.1. Lokal feromon güncellemesi

$\tau_{ij}(t)$, t iterasyonuna kadar biriken feromon miktarı, $\Delta\tau_{ij}^k(t+1)$ t iterasyonundaki feromon miktarı ve $\rho(0 \leq \rho \leq 1)$ buharlaşma parametresi olmak üzere lokal feromon miktarı aşağıdaki Denklem 4.3'te hesaplanmaktadır.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (4.3)$$

$\Delta\tau_{ij}^k(t+1)$ aşağıdaki formülle (Denklem 4.4) hesaplanır:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L^k(t+1)} & k \text{ karıncası } (i, j) \text{ yolunu kullanmışsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.4)$$

Karıncanın toplam yol uzunluğunu $L^k(t+1)$ ile ifade edilmektedir. Her iterasyonda feromon miktarına bağlı olarak karıncalar turlarını da değiştirmektedirler. Böylelikle iterasyon boyunca en kısa turu bulmayı hedeflenmektedir (Keskintürk ve Söyler, 2006).

4.3.2.2. Global feromon güncellemesi

Global feromon güncellemesi, her bir iterasyon adımıdaki en iyi sonuca sahip karıncanın takip ettiği yolun feromon miktarının artırılmasından oluşmaktadır. Bu iterasyonlarda bulunan en iyi sonuçların belirli oranda bir sonraki iterasyonlara iletilmesini sağlamaktadır.

Lokal feromon güncellemesine benzeyen global feromon güncellemesinin denklemleri aşağıda Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'da gösterilmektedir.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (4.5)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L_{best}(t+1)} & (i,j) \text{ en iyi tura ait ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.6)$$

$L_{best}(t+1)$ her bir iterasyondaki en iyi turun uzunluğudur (Keskintürk ve Söyler, 2006).

Karıncı kolonisi algoritması adımları Tablo 4.1.'de görülmektedir (Akşehir, 2019):

Tablo 4.1. Karıncı kolonisi algoritmasının adımları

Adım	
1	Gerekli parametreler için başlangıç değerleri belirlenir.
2	Bütün karıncaları şehirlere rastgele olarak yerleştirilir.
3	Karıncaları buldukları şehirden olasılık formülüne göre bir sonraki şehir belirlenir.
4	Her karınca turunu tamamladıktan sonra yolların uzunluğu hesaplanır ve lokal feromon güncellemesi yapılır.
5	En iyi çözüm hesaplanarak global feromon güncellemesi yapılır.
6	İterasyon sayısı veya başka bir kriter sağlanıncaya kadar Adım.2'ye geri dönlür.

4.4. Karıncı Kolonisi Algoritmasında Uygulamalar

KKA farklı birçok alanda uygulanmıştır. Her bir farklı uygulamada algoritma için problemin yapısına uygun değişiklikler ve eklemeler yapılmıştır. Gezgin satıcı problemi (GSP), araç rotalama problemi (ARP), karesel atama problemi (KAP),

çizelgeleme problemi (ÇP), tesis yer seçimi, iş akış problemleri, yerleştirme-rotalama problemi (LRP), kümeleme gibi birçok alanda algoritma kullanılmıştır.

Bu uygulanan alanlara göre incelediğim bazı çalışmalar Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. KKA uygulama alanları ve yapılan çalışmalar

Yazar (Yıl)	Uygulama Alanı	Problem Boyutu
Maniezzo ve Colorni (1999)	KAP	Kıyas problemleri
Shelokar ve ark. (2004)	Kümeleme	3, 6 küme ve 50- 215 nesne
Levanova ve Loresh (2006)	Tesis yer seçimi	Kıyas problemleri
Yılmaz (2008)	ARP	50- 360 müşteri, 2-9 depo, kapasite kısıtlı araç
Çatal (2009)	İş akış problemi	20-500 iş ve 5, 10, 20 adet makine
Urgan (2011)	GSP	Kıyas problemlerinde parametre etkisi
Altıntaş (2011)	ÇP	169 öğretim elemanı, 24 bölüm, 400 şube
Ting ve Chen (2013)	LRP	Kıyas problemleri
Ercan (2014)	ARP	78 mağaza
Montero ve Lopez (2015)	KAP	Kıyas problemleri
Şeneras (2017)	GSP	20 il, 50 iterasyon
Şirin (2018)	GSP	3 fabrika, 16 büfe, araç kapasitesi 246 kasa
Aslan (2018)	ÇP	9 bölüm, 105 öğretim üyesi, 189 zorunlu ders, 27 ortak ders

BÖLÜM 5. KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME-ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ: BİR GIDA FİRMASINDA UYGULAMA

5.1. Problemin Tanımı

Çalışma kapsamında unlu mamul üretimi yapan bir gıda firmasında kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi ele alınmıştır.

Unlu mamul üretimi yapan bir gıda firmasının İstanbul Anadolu yakasında bir adet üretim fabrikası ve yurt içinde 184 adet şubesi bulunmaktadır. Ürünlerin dağıtımı fabrika deposundan şubelere şeklindedir. Firma, talep yoğunluğuna bakarak ürün dağıtımını illerde ayda bir ve İstanbul ilçelerinde 15 günde bir yapmaktadır. Ürünler dondurulmuş olarak frigorifik araçlar ile dağıtılmaktadır. Firma, ürünlerin fabrikadan şubelere direkt dağıtılmasının maliyetli olduğunu düşünmektedir ve bu maliyetlerin azaltılmasını istemektedir. 5 yıllık bütçe planlaması doğrultusunda 5 deponun açılmasına karar verilmiştir. Bundan sonraki süreçte ise, bu 5 deponun nerelerde açılmasının en uygun olduğu, her açılan depodan da hangi şubelerin taleplerinin karşılanmasının gerektiği problemin çözülmesi bu çalışmanın temel hedefleri arasındadır. Şube talepleri ise önceki yılların ortalamaları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Çalışmada 184 şubenin şehirlerini gruplandırarak 41 şube elde edilmiştir. Böylece çözülmesi gereken yerleştirme-rotalama problemi 5 depo 41 şube ve tek ürün haline dönüşmüştür. Depo kapasitesi 715 palet olarak hesaplanmıştır. Ayrıca araç kapasitesi 10 palet varsayılmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.1.'de 41 şubenin yerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Şubelerin bulunduğu konumlar

5.2. Kullanılan Veri Setleri

Bu bölümde çalışmada kullanılan depo alanının ve depo maliyetlerinin nasıl hesaplandığı bu bölümde açıklanacaktır. Ayrıca problemde gerekli olan talep miktarları (palet) ve şubelerin coğrafik koordinatları da detaylı olarak verilecektir.

5.2.1. Bir depo kurulum ve yıllık işletme maliyetinin hesaplanması

Toplam depo maliyeti, depo kurulumu ve bir yıllık işletme maliyetinden oluşmaktadır. Bu bölümde toplam maliyetin detayları verilecektir.

5.2.2. Depo kurulum maliyeti

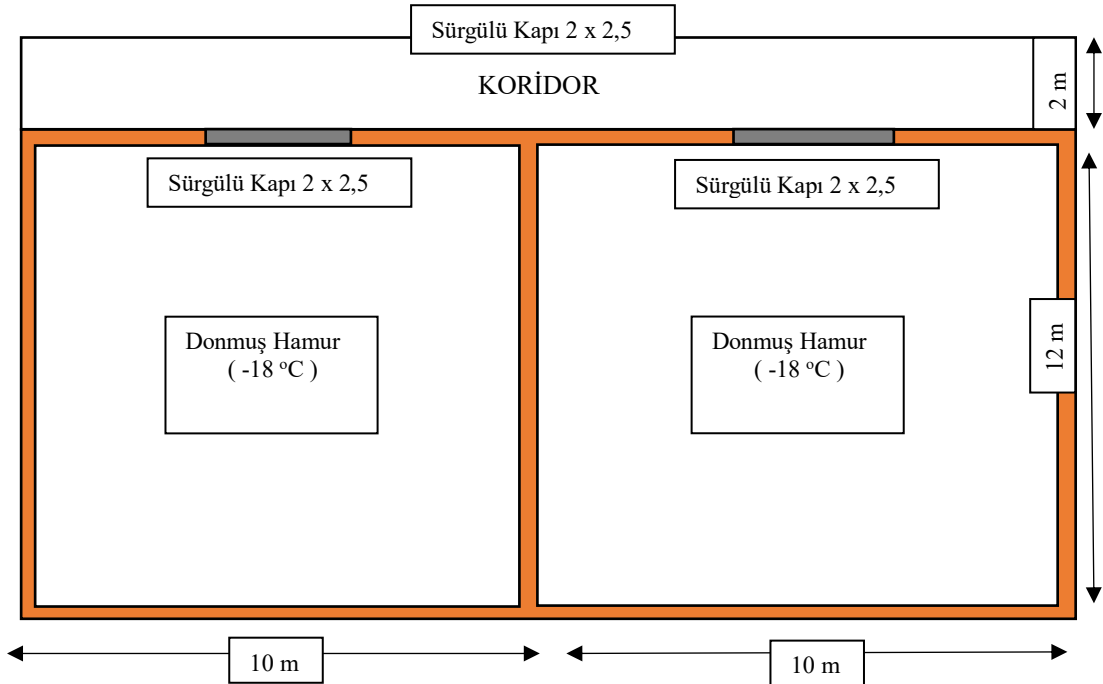
Öncelikle depo için ihtiyaç duyduğumuz alanın hesaplanmasından başlayalım.

Standart bir palet 56 koli, 1 koli ise 100 adet ürün kapasitesine sahiptir. Standart bir palet 1 m^3 varsayılmaktadır. Bu durumda 4 milyon adet ürün için sadece ürün paletlerini tek tek koyma halinde gerekli olan koridor ve dış alan harici yaklaşık olarak 715 m^3 'lük bir hacimdir. Bu durumda deponun alabileceği palet 715 olarak belirlenmiştir. Oda yüksekliği 5 m, ürün yüksekliği ise 4 m kabul edilmektedir. Ürünün kapladığı alan paletler üst üste konulduğunda yaklaşık olarak koridor ve dış alan hariç 180 m^2 'dir. Ürün alanı= $10 \cdot 18=180 \text{ m}^2$ 'dir.

Fakat depo içerisinde forkliftin, işçilerin ve soğutma sisteminin iyi çalışması için belirli bir alan bırakılmalıdır. Bu alan 2*2 metre olarak sağlanmaktadır. Bu eklemelerin sonucunda 12*20 ölçülerinde bir depo alanına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu alanın daha iyi soğutulması ve elektrik maliyetinin azaltılması için soğutma firmasının önerisi olarak soğuk hava odalarının iki alana ayrılmasına karar verilmiştir. Her bir oda 12*10 şeklinde hesaplanmıştır. Odaların dışında bu soğuk hava deposunun daha iyi verim alınabilmesi ve forkliftin bu giriş alanında daha rahat hareket edebilmesi için 2*20'lik bir alan da koridor bırakılmıştır. Sonuç olarak giriş koridoru dâhil tüm alan 14*20 m'den oluşmaktadır.

Bu hesaplamalar sonucunda 280 m²'lik bir depo kurulması, kamyonet ve forkliftlerin rahat hareket edip sevkiyat yapabilmesi için 220 m²'lik bir alanda ayrılması düşünülmüştür. Tüm bu alanlar hesaplandığında toplam olarak 500 m²'lik bir arsaya ihtiyaç olduğu görülmektedir. Tasarlanan soğuk hava deposu aşağıdaki Şekil 5.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Tasarlanan soğuk hava deposu

Soğutma firmasıyla yapılan görüşmeler sonucunda bu soğuk hava deposunun kurulum, işçilik vb. tüm maliyetlerinin hesaplanması ile birlikte anahtar teslim fiyatı

64000 € olarak hesaplanmıştır. Bu maliyetin hesaplanması detaylı bir şekilde Tablo 5.1.'de gösterilmektedir. € ortalama kur 7 TL'den olduğu dikkate alınır ise, 448000 TL 'lik bir kurulum maliyeti ortaya çıkacaktır. Gelir İdaresi Başkanlığı (GİB) verilerine göre bir soğuk hava deposunun faydalı ömrü 10 olduğu dikkate alındığında, çalışmada yıllık maliyetler üzerinden gidileceği için $448000 / 10 = 44800$ TL'lik yıllık bir kurulum maliyeti elde edilecektir.

Tablo 5.1. Soğuk hava deposunun kurulum maliyetinin hesaplanması

	Miktar	Birim Fiyat (€)	Maliyet (€)
Soğuk depo cihazları			
- PC25NH model split tip (0/+4 °C)	1 adet	8790	8790
- PC12DH model split tip (-18 °C)	2 adet	8300	16600
Prefabrik panel depo			
- 15 cm kalınlıkta soğuk depo paneli	320 m ²	36	11520
- 10 cm kalınlıkta soğuk depo paneli	160 m ²	29	4640
Taban izolasyon malzemesi	280 m ²	9	2520
Depo kapıları (2x2,5 m)	3 adet	1300	3900
PVC perde (2x2,5 m)	2 adet	265	530
LED etanj aydınlatma armatürü	10 adet	50	500
Nakliye maliyeti			3800
Montaj maliyeti			11200
Toplam			64000

5.2.2.1. Depo arsa maliyeti

Soğuk hava depolarının kurulması için satın alınacak arsanın bedeli il bazında değişmektedir. Arsaların fiyatı il bazında arsa rayiç bedelinden hesaplanarak bulunmuştur. İllerin ortalama arsa rayiç değerleri e-devlet belediye hizmetleri sayfasından alınmıştır.

Tasarımı yapılan depo için 500 m²'lik bir arsaya ihtiyaç vardır. Bu durumda *arsa rayiç bedeli* **arsa alanı* ile aşağıdaki tabloda şehirlerin arsa maliyetleri verilmiştir. Deponun faydalı ömrü 10 yıl olduğundan ortalama arsa maliyetlerinin de yıllık maliyeti 10'a bölünerek hesaplanmaktadır. Tablo 5.2.'de depo arsalarının yıllık maliyetleri verilmektedir.

Tablo 5.2. Depo arsalarının yıllık maliyetleri (şehirlerin m² maliyeti* 500 m²) TL

Şehir	m ² maliyeti	500m ² maliyeti	Şehir	m ² maliyeti	500m ² maliyeti	Şehir	m ² maliyeti	500m ² maliyeti
Adana	132	6600	Erzincan	150	7500	Manisa	120	6000
Adıyaman	150	7500	Erzurum	90	4500	Mersin	100	5000
Afyon	160	8000	Eskişehir	100	5000	Muğla	95	4750
Ağrı	80	4000	Gaziantep	100	5000	Nevşehir	75	3750
Ankara	260	13000	Giresun	150	7500	Sakarya	85	4250
Antalya	400	20000	Hatay	85	4250	Samsun	90	4500
Aydın	110	5500	Isparta	80	4000	Sivas	70	3500
Balıkesir	150	7500	İzmir	210	10500	Tekirdağ	110	5500
Bursa	270	13500	Karabük	90	4500	Van	100	5000
Çanakkale	160	8000	Kayseri	70	3500	Yalova	200	10000
Çorum	100	5000	Kırklareli	75	3750	Zonguldak	100	5000
Diyarbakır	100	5000	Kocaeli	180	9000	İstanbul	400	20000
Edirne	120	6000	Konya	90	4500	Avrupa		
Elazığ	90	4500	Malatya	80	4000	İstanbul	680	34000
						Anadolu		

5.2.2.2. Depo işletme maliyetleri

- Personel maliyetleri:

Tasarlanan bu soğuk hava deposunda 6 işçi, 1 şef ve 1 müdür olmak üzere 8 kişi çalışacaktır.

Soğuk hava depolarında çalışan işçileri “soğuk alanda çalışma parası” adı altında maaşına ek olarak 200 TL ödenmektedir. Tablo 5.3.’te yıllık toplam işçi maliyeti hesaplaması verilmektedir.

Tablo 5.3. Yıllık toplam personel maliyeti hesaplaması

	Kişi başı maliyet (TL) (Brüt + Soğuk alanda çalışma)	Kişi sayısı	Yıllık toplam maliyet (TL)
İşçi	3200	6	230400
Şef	4200	1	50400
Müdür	5000	1	60000
Toplam		8	340800

Yukarıda görüldüğü gibi 6 işçi, 1 şef ve 1 müdürün bir yıllık maliyeti 340800 TL’dir.

- Elektrik maliyeti:

Bir klima 1 kW gücünde olduğu düşünülür ise 1 kW elektrik 0,46 TL olduğu varsayılmaktadır. Tasarlanan depo -18 derecede donmuş ürünleri muhafaza edecektir ve dış ortam sıcaklığı +35 derece olacaktır. Odaların her birinin iç hacmi $12 \times 10 \times 5 = 600 \text{ m}^3$ 'tür. Bu bilgiler ışığında aşağıdaki Tablo 5.4.'te soğuk odanın yaklaşık soğutma kapasitesi verilerine ulaşarak elektrik gideri hesaplanacaktır.

Tablo 5.4. Soğuk odanın yaklaşık soğutma kapasitesi (W) (www.sogutmarehberi.com, 2009)

Hacim (m^3)	0/+2°C Soğuk muhafaza 10 cm yalıtım (*)		-10°C Donmuş muhafaza 15cm Yalıtım (*)		-20°C Donmuş muhafaza 15cm Yalıtım (*)	
	Normal Kullanım	Aşırı Kullanım	Normal Kullanım	Aşırı Kullanım	Normal Kullanım	Aşırı Kullanım
5	550	840	700	1045	850	1280
7,5	690	1045	870	1335	1070	1600
10	870	1305	1100	1680	1350	2030
15	1200	1800	1510	2320	1860	2780
20	1570	2350	2030	3020	2495	3740
25	1960	2935	2550	3830	3110	4640
30	2230	3365	2840	4180	3480	5220
40	2550	3830	3190	4870	3900	5860
50	2970	4470	3710	5570	4525	6790
60	3410	5100	4290	6380	5220	7830
70	3780	5685	4500	6960	8350	8350
80	4000	6030	4640	7540	6090	9165
90	4500	6750	5685	8585	6960	10440
100	4760	7190	5920	8820	7190	10800
125	5740	8610	7200	10800	8700	13050
150	6680	10035	8350	12530	10210	15310
175	7190	10790	8990	13460	11020	16530
200	7250	10900	9050	13570	11140	16820
250	8470	12760	10670	16010	13050	19720
300	10150	15200	12760	19140	15660	25120
400	11890	17870	15080	22620	18400	26680
500	14210	21460	17400	26100	21230	31900
750	19140	29000	23200	34800	28420	41760
1000	25520	38280	31900	46400	38860	58000
1500	38280	55680	48720	69600	59450	87000
2000	48720	69600	60900	87000	74240	10440
3000	73080	104400	92800	133400	113100	141160
5000	121800	174000	150800	220400	183200	216000

Günlük çalışma süresi 16 saat, dış ortam sıcaklığı 35 °C kabul edilmiştir.

Tablodan yaklaşık olarak 500 m^3 'lük bir soğuk hava deposunun -20 derecede normal kullanımdaki değeri dikkate alınarak 21230 W olarak kabul edildiğinde bir saatlik elektrik sarfiyat maliyeti 9,76 TL'dir. Bir soğuk odanın günlük çalışma süresi 16 saat olmalıdır. Bu veriler doğrultusunda bir soğuk odanın yıllık elektrik tüketim maliyeti 56251 TL olmaktadır. Toplamda ise, iki depo olduğu için toplam elektrik maliyeti 112502 TL olarak bulunacaktır.

- Forklift maliyeti:

Soğuk hava deposuna gelen frigorifik araçlardan alınan ürün paletleri forklifler yardımıyla alınıp soğuk hava odalarına taşınacak ve raflara yerleştirilmesine yardımcı olacaktır. 3,5 tonluk bir forklift soğuk hava deposu için yeterli olacaktır. GİB yayımladığı verilere göre bir forkliftin faydalı ömrü 4 yıldır. Bu forkliftin maliyeti 60000 TL'dir. $60000/4=15000$ TL yıllık maliyeti olacaktır.

- Frigorifik araçların maliyeti:

Soğuk hava depolarında muhafaza edilen donmuş ürünlerin şubelere aktarımı sırasında bir bozulma meydana gelmemesi için -18 derecede soğutuculu araçlarla sevkiyat yapılması gerekmektedir. Bu soğutuculu araçlara frigorifik araçlar denmektedir. Bu araçlar kamyonetlere ek olarak frigorifik kasalar eklenerek oluşturulmaktadır. GİB yayımladığı verilere göre bir frigorifik aracın faydalı ömür yılı 4'tür.

Bir frigorifik aracın maliyeti 210000 TL'dir. $210000/4=52500$ TL yıllık maliyeti olacaktır.

Frigorifik aracın yakıt deposu 127 litredir. Ortalama 100 km de 8,2 litre yakıt harcamaktadır. Yakıt türü dizel olup litre fiyatı 7 TL olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda araç km başına 0,574 TL yakmaktadır.

Yukarıda verilerden soğuk hava deposunun (kurulum, arsa, işçi, elektrik, forklift ve frigorifik araç maliyetleri) toplam maliyeti oluşmaktadır. Yıllık toplam maliyetlerinin nasıl elde edildiği ise Tablo 5.5.'te İstanbul ili örneği ile gösterilmektedir.

Tablo 5.5. İstanbul ili yıllık depo maliyetleri

Gider kalemleri (TL)	İstanbul Avrupa	İstanbul Anadolu
Depo kurulum	44800	44800
Depo arsası	20000	34000
Personel	340800	340800
Elektrik	112502	112502
Forklift	15000	15000
Frigorifik araç	52500	52500
Toplam	585602	599602

Tasarlanan soğuk hava deposunun açılacak illerde bir yıllık toplam maliyetleri aşağıdaki Tablo 5.6.'da yer verilmiştir.

Tablo 5.6. Toplam depo maliyetleri (TL)

İller	Maliyet (TL)	İller	Maliyet (TL)	İller	Maliyet (TL)
Adana	572202	Erzincan	573102	Manisa	571602
Adıyaman	573102	Erzurum	570102	Mersin	570602
Afyon	573602	Eskişehir	570602	Muğla	570352
Ağrı	569602	Gaziantep	570602	Nevşehir	569352
Ankara	578602	Giresun	573102	Sakarya	569852
Antalya	585602	Hatay	569852	Samsun	570102
Aydın	571102	Isparta	569602	Sivas	569102
Balıkesir	573102	İzmir	576102	Tekirdağ	571102
Bursa	579102	Karabük	570102	Van	570602
Çanakkale	573602	Kayseri	569102	Yalova	575602
Çorum	570602	Kırklareli	569352	Zonguldak	570602
Diyarbakır	570602	Kocaeli	574602	İstanbul Avrupa	585602
Edirne	571602	Konya	570102	İstanbul Anadolu	599602
Elazığ	570102	Malatya	569602		

5.2.3. Şubelerin talepleri ve koordinatları

Şubelerin yıllık talepleri (palet) ve koordinatları aşağıdaki Tablo 5.7.'de verilmektedir.

Tablo 5.7. Şubelerin yıllık palet talepleri ve koordinatları

No	Şube	X	Y	Yıllık Talep	No	Şube	X	Y	Yıllık Talep
1	Adana	37,0598	35,3555	15	21	Isparta	37,7811	30,5442	5
2	Adıyaman	37,7634	38,2757	5	22	İzmir	38,3080	27,1579	12
3	Afyon	38,7543	30,555	17	23	Karabük	41,2534	32,6790	8
4	Ağrı	39,7214	43,0519	7	24	Kayseri	38,7474	35,4014	19
5	Ankara	39,7831	32,8097	119	25	Kırklareli	41,7349	27,2190	2
6	Antalya	36,8863	30,7083	97	26	Kocaeli	40,7604	29,9349	28
7	Aydın	37,8552	27,8588	5	27	Konya	37,8708	32,4863	32
8	Balıkesir	39,5826	26,9259	24	28	Malatya	38,3483	38,2969	7
9	Bursa	40,1832	29,0629	85	29	Manisa	38,4854	28,1390	10
10	Çanakkale	40,1283	26,4108	7	30	Mersin	36,7872	34,5888	27
11	Çorum	40,5087	34,9566	15	31	Muğla	36,8363	28,7651	27
12	Diyarbakır	37,9582	40,1851	15	32	Nevşehir	38,6518	34,7326	13
13	Edirne	41,6631	26,5876	28	33	Sakarya	40,7780	30,3990	43
14	Elazığ	38,6750	39,2204	5	34	Samsun	41,2766	36,3539	16
15	Erzincan	39,7480	39,4668	13	35	Sivas	39,7056	37,0276	11
16	Erzurum	39,9116	41,2527	14	36	Tekirdağ	41,1571	27,8097	7
17	Eskişehir	39,7916	30,4971	2	37	Van	39,0236	43,3714	18
18	Gaziantep	37,0699	37,3806	34	38	Yalova	40,6599	29,2715	13
19	Giresun	40,9163	38,3827	13	39	Zonguldak	41,2716	31,4365	6
20	Hatay	36,5931	36,1593	5	40	İst. Avr	41,0323	28,8237	623
					41	İst. And	40,9843	29,0570	512

5.3. Yerleştirme-Rotalama Probleminin Çözümü

Bu tez çalışmasında LRP çözümünde MIP ve KKA kullanılmıştır. Problem dört farklı senaryo olarak incelenmiştir. Bu senaryolar Tablo 5.8.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.8. Senaryo ve özellikleri

Senaryo	1	2	3	4
Özellik	2 aday depo, 3 şube	41 aday depo arasından 5 depo, 41 şube	41 aday depo arasından 5 depo, 41 şube	51 aday depo arasından 5 depo, 51 şube
Algoritma	MIP	KKA	KKA	KKA

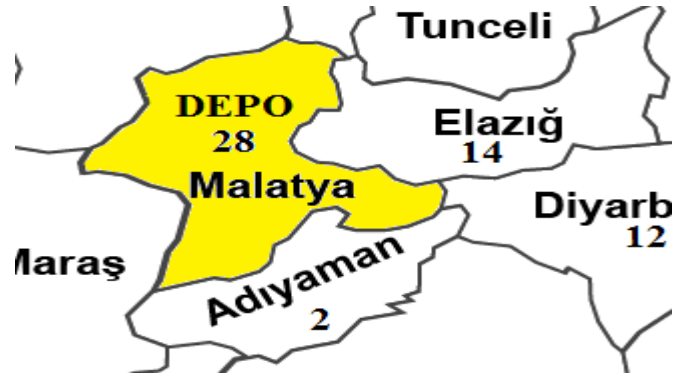
5.3.1. Senaryo 1: Matematiksel model ile çözümü (1 depo-3 şube)

Unlu mamul üretimi yapan firmanın 2 aday depo ve 3 şubeden oluşan örneği ele alınarak Bölüm 3'te sunulan matematiksel model LINGO 18.0 ile çözülmüştür. Depo kapasitesi 715 palet, araç kapasitesi 10 palet ve aday depo yerleri ise Adıyaman ve Malatya olarak kabul edilmiştir. Adıyaman ve Malatya illerine ait depo kurulum maliyetleri ise 573101 TL ve 569601 TL hesap edilmiştir. Şubelere ait bilgiler aşağıdaki Tablo 5.9.'da verilmektedir.

Tablo 5.9. Şubelere ait bilgiler

No	Şubeler	X	Y	Yıllık Talep (Palet)
2	Adıyaman	37,7634	38,2757	5
14	Elazığ	38,6750	39,2204	5
28	Malatya	38,3483	38,2969	7

Problemin çözümünden Malatya deposunun açılması uygun bulunmuştur. Şekil 5.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Açılan deponun gösterimi

Bu depodan şubelerin talepleri Tablo 5.10.'da belirtilen rotalar şeklinde dağıtılacaktır.

Tablo 5.10. Matematiksel modelin LINGO sonucu

Açılan Depo	Rota	Toplam Maliyet (TL)
Malatya	14-2	569756
	28	

CLRP NP-zor problemdir. Bu sınıfa ait problemlerin değişken sayısı arttıkça en iyi çözüme ulaşılması zorlaşmaktadır. Geliştirilen bu matematiksel modelin de kısıt sayısı incelendiğinde bu durum daha iyi anlaşılacaktır. Modelde geçen i şubeyi, j depoyu ve k aracı temsil etmektedir.

i_m : şube sayısı

j_m : depo sayısı

k_m : araç sayısı

i_p : şube + depo sayısı

j_p : depo+ şube sayısı

Modelin kısıtları incelendiğinde aşağıdaki kısıt denklemi ortaya çıkmaktadır.

1. i_m kadar kısıt
2. k_m kadar kısıt
3. $i_p * k_m$ kadar kısıt
4. k_m kadar kısıt
5. $2^{i_m} - 1$ kadar kısıt

6. $k_m * i_m * j_m$ kadar kısıt
7. j_m kadar kısıt
8. j_m kadar kısıt
9. $k_m * i_p * j_p$ kadar kısıt
10. $i_m * j_m$ kadar kısıtı

Yukarıdaki kısıt modeli incelendiğinde 2 aday depo ve 3 şube veri setinden oluşan modelin toplamda 58 değişken ve 96 kısıt olduğu görülmektedir.

41 şube ve 41 aday depo yerinin değişken ve kısıt sayısı oldukça büyük bir veri olacağından kesin çözüm elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu durumda metasezgisel çözüm yöntemlerinden biri olan karınca kolonisi algoritması kullanılacaktır.

5.3.2. Senaryo 2: Karınca kolonisi algoritması ile çözülmesi (5 depo-41 şube)

KKA'dan yararlanılarak CLRP üç aşamada Matlab R2018a'da çözümlenmiştir.

41 aday depo arasından açılacak olan 5 deponun uygun yerlerinin belirlenmesi için

- Depo açılacak yerler
- Her deponun hizmet vereceği şubeler
- Her depodan şubelere hizmette uyulacak rotalar

belirlenmektedir.

- Depo yer seçimi problemi (5 depo 41 aday depo arasından):

41 aday depo yerinden depo ve rota maliyetlerinin toplamı en az olacak şekilde uygun yerlere 5 deponun açılması hedeflenmiştir.

$$\min w(i, j) + t * a(i, j) * b(i, j) \quad (5.1)$$

Yukarıda görülen Denklem 5.1’de w depo maliyetini, a uzaklık matrisini, t birim km başına yakılan yakıt maliyetini ve b bir yılda şubeye kaç kere gidileceğini belirtmektedir.

Depo ile rota maliyeti karşılaştırıldığında depo maliyeti yaklaşık olarak 500000 TL iken rota maliyeti yaklaşık olarak 1000 TL görülmektedir. Bu iki maliyet eşdeğer oranda katkı sağlaması ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi için normalleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için normalizasyon yöntemlerinden olan min-max normalizasyonu kullanılmıştır. Min-max yöntemi, verileri doğrusal olarak normalize eder ve 0 ile 1 aralığına indirgemek için kullanılır.

Bu Denklem 5.2’de gösterilmektedir:

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte x' normalize edilmiş veriyi, x_i girdi değerini, x_{min} girdi setinde yer alan en küçük sayıyı ve x_{max} ise girdi setinde yer alan en büyük değeri ifade etmektedir (Yavuz ve Deveci, 2013).

Depo yer seçimi için aşağıdaki algoritma adımları uygulanmıştır:

Adım 1: Parametre değerleri belirlenir. Tablo 5.11.’de problemde uygulanan parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 5.11. Depo yer seçimi için parametre değerleri

Parametreler	Değerleri
Karınca sayısı	100
İterasyon sayısı	500
ρ (buharlaştırma oranı)	0,9
α	1
θ	0,03

Adım 2: Bu parametre değerleri belirlendikten sonra karıncalar rastsal olarak aday depo noktalarına yerleştirilir.

Adım 3: 41 aday depodan 5 depo yerinin seçilmesi kuralı Denklem 5.3 ve 5.4'te gösterilmektedir (Ting ve Chen, 2013).

$$j = \begin{cases} \max_{j \in O_s^h} \tau_j (\eta_j)^\alpha & \text{eğer } q \leq q_0 \\ J & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (5.3)$$

$$J = \frac{\tau_j (\eta_j)^\alpha}{\sum_{j \in O_s^h} \tau_j (\eta_j)^\alpha} \quad (5.4)$$

Adım 4: Her karınca turunu tamamladıktan sonra açılan depoların toplam normalizasyon değeri hesaplanır ve bu duruma göre lokal feromon güncellemesi Denklem 4.3 ve Denklem 4.4'e göre yapılır.

Adım 5: En iyi çözüm hesaplanır ve bu değerle global feromon güncellemesi Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'ya göre hesaplanır.

Adım 6: İterasyon sayısı ya da yeterli kriter sağlanana kadar Adım 2'den devam eder.

Tablo 5.11.'de belirtilen parametre değerleri ile problem çözüldüğünde aşağıdaki Tablo 5.12. elde edilmiştir.

Tablo 5.12. Depo açılması önerilen şehirler

No	Açılan Depo Yerleri
26	Kocaeli
38	Yalova
17	Eskişehir
41	İstanbul Anadolu
40	İstanbul Avrupa

- Depolara şubeleri atama problemi:

Depo yer seçiminde minimum normalize değerine göre uygun depo yerleri açılmıştır. Bu depolar açıldıktan sonra depoların hizmet vereceği şubelerin ataması gerçekleştirilecektir. Her bir şube ile ait olduğu deponun merkezi arasındaki öklid

mesafelerinin toplamı en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Şubelerin depolara uygun şekilde atanmasını sağlamak için KKA kullanılmıştır.

Şubelerin depolara atanması için uygulanan adımlar aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Parametre değerleri belirlenir. Bu değerler Tablo 5.13.'te gösterilmektedir.

Tablo 5.13. Kümeleme için parametre değerleri

Parametre	Değerler
Karınca sayısı	100
Depo sayısı	5
Şube Sayısı	41
İterasyon	1000
ρ (buharlaştırma oranı)	0,9

Adım 2: Her bir şubenin depo yerini belirlemesi için aşağıdaki yollardan birini seçer (Shelokar ve ark., 2004):

- q_0 olasılığını kullanarak en fazla feromon miktarına sahip küme seçilir. Genellikle 0,90 kullanılır.
- Diğer ρ_{ij} olarak belirtilen olasılıkla kümeleme yapılır. Denklem 5.5'te görülmektedir.

$$\rho_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{k=1}^K \tau_{ik}} \quad j = 1, \dots, K \quad (5.5)$$

Adım 3: Çözümün kalitesi, belirli bir veri kümeleme problemi için amaç fonksiyonunun değeri açısından ölçülür. Her bir şube ile ait olan deponun merkezi arasındaki öklid mesafesinin toplamı olarak tanımlanır. Amaç fonksiyonu Denklem 5.6'da belirtilmektedir:

$$\min F(w, m) = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{v=1}^n w_{ij} |x_{iv} - m_{jv}|^2 \quad (5.6)$$

Burada x_{iv} şubelerin v. özelliğinin değeridir. m bir depo ve Kxn boyutunda merkez matrisi; m_{jv} j deposundaki tüm v. özelliğinin değeri, w NxK boyutunda ağırlık matrisidir.

w_{ij} ağırlık matrisi de Denklem 5.7’de belirtilmektedir (Shelokar ve ark., 2004).

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i. \text{ şube ile } j. \text{ depo arasında ilişki varsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5.7)$$

Adım 4: Bu minimum değerler hesaplandıktan sonra Denklem 4.3 ve Denklem 4.4 kullanılarak lokal feromon güncellemesi yapılır.

Adım 5: En iyi çözüm hesaplanır ve Denklem 4.5 ve Denklem 4.6 kullanılarak global feromon güncellemesi yapılır.

Adım 6: İterasyon sayısı ve yeterli kriter sağlanana kadar Adım 2’den devam eder.

Problem çözüldüğünde elde edilen sonuçlar Tablo 5.14’te verilmektedir.

Tablo 5.14. Şubelerin atandığı depolar

Depolar	Atanan Şehirler
Kocaeli	Karabük, Kocaeli, Sakarya, Zonguldak
Eskişehir	Adana, Adıyaman, Afyon, Ağrı, Ankara, Antalya, Çorum, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Gaziantep, Giresun, Hatay, Isparta, Kayseri, Konya, Malatya, Mersin, Muğla, Nevşehir, Samsun, Sivas, Van
Yalova	Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne, İzmir, Kırklareli, Manisa, Tekirdağ, Yalova
İstanbul Avrupa	Bağcılar, Gaziosmanpaşa, Şişli, Bakırköy, Esenyurt, Sarıyer, Küçükçekmece, Fatih, Başakşehir, Eyüp, Bayrampaşa, Beylikdüzü, Beşiktaş, Zeytinburnu, Sultangazi, Bahçelievler, Beyoğlu, Büyükçekmece
İstanbul Anadolu	Üsküdar, Kadıköy, Ümraniye, Pendik, Çekmeköy, Kartal, Maltepe, Sultanbeyli, Ataşehir, Tuzla

Şekil 5.4.’te şubelerin atandığı depolar gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Şubelerin atandığı depolar

- Araç rotalama problemi:

Şubelerin aylık taleplerini karşılamak için frigorifik araçlar kullanılmaktadır. Her depo için aylık talepler ele alınarak rotalama yapılmıştır. Parametre değerleri Tablo 5.15.'te gösterilmektedir.

Tablo 5.15. Araç rotalama için parametre değerleri

Parametre	Değerler
Karınca sayısı	100
İterasyon	500
α	1
β	5
θ	0,065
ρ (buharlaştırma oranı)	0,9

Tablo 5.15.'te belirtilen parametre değerleri ile her deponun aldığı aylık talepler çözümlendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kocaeli deposuna ait aylık talepleri (palet) ve bu aylık taleplere göre belirlenen rotaların sonuçları Tablo 5.16.'da verilmiştir.

Tablo 5.16. Kocaeli deposuna atanan şubelerin aylık talepleri (palet)

Aylar	Şube No				Rotalar	Maliyet (TL)
	26	23	33	39		
Ocak	1,8	0,6	3,5	0,5	[26-33-39-23]	361
Şubat	2,4	0,8	3,1	0,7	[26-33-39-23]	361
Mart	1,7	0,8	2,4	0,5	[26-33-39-23]	361
Nisan	2,6	1,0	4,9	0,5	[26-33-39-23]	361
Mayıs	1,8	0,6	3,1	0,5	[26-33-39-23]	361
Haziran	2,0	0,8	3,5	0,5	[26-33-39-23]	361
Temmuz	3,9	0,6	4,0	0,4	[26-33-39-23]	361
Ağustos	2,7	0,6	6,4	0,5	[26-39-23], [33]	428
Eylül	3,2	0,6	3,7	0,5	[26-33-39-23]	361
Ekim	2,6	0,5	2,0	0,4	[26-33-39-23]	361
Kasım	2,1	0,5	3,1	0,5	[26-33-39-23]	361
Aralık	1,8	0,6	3,4	0,5	[26-33-39-23]	361

Yalova deposuna ait şubelerin aylık talepleri (palet) Tablo 5.17.'de verilmektedir. Bu veriler ile problem çözüldüğünde Tablo 5.17.'deki rotalar elde edilmiştir. Araçlar 10 palet kapasitesindedir ve her bir rota Yalova deposundan başlayıp Yalova deposuna dönmektedir. Rotaların oluşturduğu maliyetler de Tablo 5.17.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.17. Yalova deposuna atanan şubelerin aylık talepleri (palet) ve rotaların maliyetleri (TL)

	Şube No										Rotalar	Maliyet
	38	7	8	9	10	13	22	25	29	36		
Ocak	0,9	0,5	0,9	8,3	0,5	2,3	1,7	0,1	0,9	0,7	[38-9-36]	349
											[25-13-10-8-29-7-22]	1002
Şubat	1,2	0,2	1,4	8,3	0,8	3,2	1,0	0,1	0,6	0,6	[38-9-7-25]	852
											[13-36-10-8-22-29]	821
Mart	0,9	0,7	1,6	6,3	1,0	2,1	1,8	0,1	0,6	0,6	[38-9-8-10-25]	584
											[13-36-29-7-22]	908
Nisan	1,2	0,4	1,4	11,4	0,4	3,5	0,7	0,1	1,3	0,9	[38-36-25-13-10-8-22-7-29]	1029
											[9]	79
											[9]	79
Mayıs	0,9	0,4	1,7	4,9	0,7	1,3	0,3	0,1	1,1	0,5	[38-9-29-22-7-8-36-25]	896
											[13-10]	509
Haziran	1,2	0,5	2,7	7,7	0,5	2,4	1,4	0,4	0,8	0,5	[38-9-36-25]	457
											[13-10-8-22-7-29]	975
Temmuz	1,2	0,3	2,0	5,9	0,6	3,6	1,8	0,1	0,5	0,5	[38-9-7-22-29-25]	861
											[36-13-10-8]	608
Ağustos	1,4	0,3	6,3	8,6	0,9	3,1	1,7	0,1	0,8	0,5	[38-22-29-7-36-25-13]	947
											[9]	79
											[9-8-10]	452
Eylül	1,1	0,3	2,1	5,3	0,5	2,5	0,3	0,2	0,5	0,4	[38-22-36-25-13-10]	363
											[8-22-7-29]	667
Ekim	1,0	0,6	1,6	5,4	0,6	1,1	0,4	0,4	1,0	0,5	[38-9-36-25-13-10-22]	850
											[7-29-8]	638
Kasım	0,9	0,5	1,1	5,7	0,5	1,3	0,5	0,1	0,8	0,6	[38-9-29-22-7-8-25]	887
											[13-36-10]	558
Aralık	0,9	0,4	0,9	7,4	0,5	1,3	0,6	0,1	0,7	0,7	[38-9-36-25-10]	609
											[8-22-7-29-13]	931

Eskişehir deposuna ait şubelerin aylık palet cinsinden talepleri Tablo 5.18.'de verilmektedir. Problem çözüldüğünde oluşan rotalar ve maliyetler Tablo 5.19.'da gösterilmektedir.

Tablo 5.18. Eskişehir deposuna ait şubelerin aylık talepleri (palet)

Aylar	Şube No																									
	17	1	2	3	4	5	6	11	12	14	15	16	18	19	20	21	24	27	28	30	31	32	33	35	37	
Ocak	0,1	1,9	0,4	1,4	0,3	11,8	7,6	1,5	1,4	0,4	1,9	1,7	3,1	1,3	0,8	0,9	3,5	3,2	0,6	4,2	0,9	1,5	1,7	1,3	2,9	
Şubat	0,1	1,3	0,4	1,8	0,4	10,8	9,6	1,3	1,6	0,5	1,0	1,3	3,2	1,2	0,5	0,5	1,5	2,8	0,8	3,3	1,1	1,0	2,3	1,0	1,2	
Mart	0,2	1,8	0,9	1,7	0,4	11,3	7,8	1,4	2,6	0,8	1,4	1,5	5,3	1,3	0,5	0,5	1,5	4,5	1,0	1,8	1,2	1,2	1,7	1,4	4,4	
Nisan	0,1	2,8	0,4	3,0	0,9	12,8	20,7	1,6	1,5	0,5	1,9	1,0	3,3	2,1	1,1	0,5	1,6	4,0	0,5	4,5	2,6	1,5	2,0	3,5	0,6	
Mayıs	0,1	2,3	0,4	1,3	1,1	10,4	11,5	1,1	1,4	0,4	0,5	2,5	3,0	0,6	0,4	0,4	1,1	2,3	0,6	1,5	1,2	1,1	1,4	0,0	1,6	
Haziran	0,1	1,2	0,1	1,9	0,8	8,3	9,6	1,1	1,3	0,5	1,3	1,8	1,8	2,1	0,0	0,5	2,3	2,5	0,8	1,9	2,1	0,6	0,8	0,0	2,3	
Temmuz	0,1	1,3	0,7	1,6	0,1	12,3	12,6	2,5	0,7	0,6	1,4	0,0	2,5	0,8	0,3	0,2	0,0	3,2	0,7	3,4	5,6	1,3	1,9	1,4	0,5	
Ağustos	0,1	0,8	0,4	1,8	1,3	8,1	16,8	1,6	1,9	0,4	1,5	1,4	5,4	1,4	0,5	0,7	3,3	4,6	0,8	2,4	5,8	2,1	1,7	1,0	1,5	
Eylül	0,1	0,4	0,7	1,8	0,4	9,0	11,3	1,4	1,3	0,3	1,0	1,3	3,3	0,9	0,5	0,4	1,3	2,6	0,8	2,5	2,9	1,2	1,5	0,7	1,6	
Ekim	0,1	0,5	0,6	0,9	0,9	9,9	15,1	1,0	1,1	0,6	0,9	0,9	2,7	1,2	0,4	0,4	1,3	2,1	0,6	2,6	3,3	1,1	0,9	0,7	1,6	
Kasım	0,1	0,8	0,5	1,3	0,4	10,8	13,3	1,2	1,3	0,5	1,2	1,1	2,9	1,3	0,5	0,4	1,4	2,7	0,6	2,9	1,8	1,3	1,3	0,9	1,5	
Aralık	0,1	0,6	0,4	1,2	0,3	9,8	7,5	1,3	1,3	0,4	1,5	1,3	3,0	1,2	0,5	0,5	1,5	2,9	0,5	3,3	1,5	1,3	1,5	1,1	1,7	

Tablo 5.19. Eskişehir deposunun araç rotaları ve maliyetleri (TL)

Ay	Rotalar	Maliyet	Ay	Rotalar	Maliyet
Ocak	[17-3-21-6-31-27-2]	2915	Temmuz	[17-3-21-27-11-34-35-19]	2599
	[28-14-4-37-16-12-20-18]	3937		[15-2-28-14-12-4-37-16-32-24-20-18]	4995
	[19-15-34-35-24]	2652		[1-30-31-5]	2475
	[32-11-5-30-1]	2225		[6-5]	1131
	[5]	470		[5]	470
Şubat	[17-3-21-6-31-32]	1941	Ağustos	[17-3-21-27-30-1-20-28]	2364
	[24-1-30-20-2-28-15-19-35-14]	3820		[2-14-12-37-4-16-15-19-35]	3575
	[16-4-37-34-11-18-12]	4776		[24-32-11-34]	1737
	[27-5]	837		[18]	1738
	[5]	470		[5]	470
Mart	[17-3-21-6-31-11-24]	2425	Eylül	[6]	834
	[32-30-1-20-18-2]	2297		[6-31]	1220
	[28-14-12-16-4-37]	3297		[17-3-21-6-14-1]	2619
	[15-19-34-35-5-27]	2782		[30-32-24-11-34-15-16-37-4]	4006
	[5]	470		[35-19-28-2-12-18-20-27]	3107
Nisan	[17-3-21-31-27-20-2]	2878	Ekim	[5]	470
	[28-14-12-15-19-16-4-37-35]	4028		[31]	980
	[34-11-24-30-32]	2142		[17-3-21-31-30-1-20-18-2]	1736
	[1-18-5]	1811		[28-14-12-15-16-4-37-19-34-11-32-35]	2584
	[6]	834		[24-27-6]	901
Mayıs	[6]	834	Kasım	[5]	270
	[5]	470		[6]	479
	[17-3-21-6-30]	1571		[17-3-21-27-11-34-19-35-1-20-32]	1823
	[1-20-18-12-4-37-15-24]	3534		[24-18-2-28-14-12-4-37-16-15]	2042
	[32-31-27-35-34-11-19-28-14-2-16]	5528		[5]	270
[5]	470	[5-30-31]	1211		
Haziran	[5]	470	[6]	479	
	[17-3-21-6-31-20-2]	3051	Aralık	[17-3-21-6-27-24-35]	1097
	[28-14-12-16-37-4-15-19-1]	4155		[15-16-37-4-12-28-2-14-20-1-30]	2339
	[18-32-27-24-30-11-34-35]	3925		[18-19-34-11-32-31]	1979
[5]	470	[5]		270	

İstanbul Avrupa ve Anadolu yakası ise talep yoğunluğundan bir ülke gibi ele alınıp ilçeleri il gibi değerlendirilmiştir. Ayrıca talep yoğunluğu nedeniyle dağıtım 15 günde bir yapılmıştır. İstanbul ilçelerinin aylık talepleri depoya atanan şubeleri içerecek şekilde aşağıdaki tablolarda verilmektedir. İstanbul Avrupa ve Anadolu yakasına ait şubeler, şubelerin numaraları, x ve y koordinatları Tablo 5.20.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.20. İstanbul Avrupa ve Anadolu yakasına ait şubeler hakkında bilgiler

İstanbul Avrupa				İstanbul Anadolu			
No	İlçe Adı	X	Y	No	İlçe Adı	X	Y
A1	Bağcılar	41,0341	28,833	B1	Üsküdar	41,0327	29,0319
A2	Gaziosmanpaşa	41,0576	28,9153	B2	Kadıköy	40,9903	29,0205
A3	Şişli	41,0604	28,9878	B3	Ümraniye	41,0338	29,1013
A4	Bakırköy	40,9804	28,8724	B4	Pendik	40,8796	29,258
A5	Esenyurt	41,0412	28,6939	B5	Çekmeköy	41,0323	29,1695
A6	Sarıyer	41,1664	29,05	B6	Kartal	40,8999	29,1936
A7	Küçükçekmece	41,0092	28,7757	B7	Maltepe	40,9339	29,165
A8	Fatih	41,0203	28,9339	B8	Sultanbeyli	40,9684	29,262
A9	Başakşehir	41,0837	28,8169	B9	Ataşehir	40,9833	29,1278
A10	Eyüp	41,0551	28,9346	B10	Tuzla	40,8144	29,3094
A11	Bayrampaşa	41,0349	28,9122				
A12	Beylikdüzü	41,0133	28,6489				
A13	Beşiktaş	41,0441	29,0017				
A14	Zeytinburnu	40,991	28,8968				
A15	Sultangazi	41,1070	28,8714				
A16	Bahçelievler	40,9977	28,8506				
A17	Beyoğlu	41,0371	28,9774				
A18	Büyükçekmece	41,0248	28,5854				

Tablo 5.21. İstanbul Anadolu yakası deposuna atanan şubelerin 15 günlük talepleri (palet)

		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Ocak	1. 15 gün	2,6	2,5	2,4	1,5	0,8	1	1,4	1,1	0,7	2,8
	2. 15 gün	2,2	3,6	3,4	1,5	1,1	0,6	0,9	1,2	1,1	2,1
Şubat	1. 15 gün	2,3	3,1	2	2,1	0,8	0,9	1,4	0,5	0,8	1,5
	2. 15 gün	2,5	3,2	2	1,5	1,1	0,6	1,2	0,6	1,3	2,1
Mart	1. 15 gün	2,3	3,5	2,6	1,3	1,6	1	1,8	0,6	0,4	1,6
	2. 15 gün	2,5	3,7	2,3	2,1	1,5	1,1	1,4	0,9	1,2	0,7
Nisan	1. 15 gün	2,1	3,1	3,9	6,1	1,6	0,7	1,9	1,6	1,2	3,6
	2. 15 gün	2,7	2,6	2,6	6,1	1,7	0,6	1,2	1,6	1,1	3,9
Mayıs	1. 15 gün	2,6	3,2	5,9	4,8	1,4	0,6	3,1	0,5	0,8	7,6
	2. 15 gün	4,1	2,1	5,1	4,5	1,2	0,8	2,6	0,6	0,4	6,6
Haziran	1. 15 gün	2,4	2,6	1,4	4,6	1,2	0,4	1,9	0,6	0,8	0,6
	2. 15 gün	2,4	3,2	1,2	6,7	1,8	0,8	2,3	1	0,4	1
Temmuz	1. 15 gün	2,8	2,4	1,5	5,7	1,8	0,8	1,2	0,9	0,6	0,8
	2. 15 gün	2,4	2,4	1,5	6,7	0,8	0,4	1,9	0,4	0,8	0,6
Ağustos	1. 15 gün	3,2	1,8	2,3	6,2	1,2	0,4	2,1	0,9	0,4	3,4
	2. 15 gün	2,8	2,8	2,3	6,9	1,6	0,8	2,2	0,7	1,0	3,5
Eylül	1. 15 gün	2,2	3,4	2,6	7,6	2	0,5	2,2	0,4	1,2	5,4
	2. 15 gün	2,6	2,7	3,2	5,8	1,3	0,6	3,4	0,7	0,6	5,5
Ekim	1. 15 gün	2,4	3,2	2,6	3,4	1,1	0,6	1,3	0,6	0,6	3,4
	2. 15 gün	2,3	3,2	4,4	3,3	1,6	0,5	2,4	1,1	0,6	2,9
Kasım	1. 15 gün	3,4	3,1	3,6	5,2	1,2	0,8	0,9	0,6	0,5	2,2
	2. 15 gün	3,1	3,2	3,6	5,4	0,8	0,4	2,2	0,6	0,7	2,4
Aralık	1. 15 gün	2,6	2,1	3,4	3,6	1,6	0,6	2,1	0,8	0,4	2
	2. 15 gün	2,3	3,9	3,4	5,2	1,2	0,8	1,7	1,1	0,9	2,3

Tablo 5.22. İstanbul Anadolu yakası deposunun araç rotaları ve maliyetleri (TL)

Aylar	1. 15 gün rotaları	Maliyet	2. 15 gün rotaları	Maliyet
Ocak	[B1-B2-B3-B9-B7]	39	[B1-B2-B3-B6]	42
	[B6-B4-B10-B8-B5]	68	[B4-B10-B8-B7-B9-B5]	86
Şubat	[B1-B2-B3-B9-B7]	39	[B1-B2-B3-B9-B6]	46
	[B6-B4-B10-B8-B5]	68	[B7-B4-B10-B8-B5]	71
Mart	[B1-B2-B3-B9-B6]	46	[B1-B2-B3-B9]	29
	[B7-B4-B10-B8-B5]	71	[B7-B6-B4-B8-B5-B10]	93
Nisan	[B1-B2-B3-B6]	42	[B1-B2-B3-B5]	49
	[B7-B9-B8-B10-B5]	72	[B8-B6-B4-B9]	44
	[B4]	32	[B7-B10]	48
Mayıs	[B1-B2-B9-B7]	29	[B1-B2-B9-B5-B6-B8]	69
	[B5-B8-B6-B4]	56	[B7-B3]	29
	[B10]	40	[B4]	32
	[B3]	6		
Haziran	[B1-B2-B3-B9-B7-B6]	55	[B1-B2-B3-B9-B5-B6]	75
	[B4-B8-B5-B10]	78	[B7-B4-B10]	51
			[B8]	27
Temmuz	[B1-B2-B3-B9-B7-B6]	55	[B1-B2-B3-B5-B9-B7]	70
	[B4-B8-B5-B10]	78	[B6-B4-B10-B8]	51
Ağustos	[B1-B3-B7-B9-B2]	32	[B1-B2-B3-B9-B8]	41
	[B8-B5-B6-B4]	63	[B7-B4-B6]	40
	[B10]	40	[B10-B5]	58
Eylül	[B1-B3-B9-B7-B6-B8-B5]	46	[B1-B2-B9-B7-B6]	46
	[B2-B4-B10]	50	[B4-B8-B5]	50
			[B3-B10]	32
Ekim	[B1-B3-B9-B7-B6-B8-B5]	67	[B1-B2-B5-B6-B8-B9]	65
	[B2-B4-B10]	48	[B7-B4-B10]	51
			[B3]	6
Kasım	[B1-B2-B9-B5-B7-B6]	77	[B1-B2-B9-B5-B7]	61
	[B4-B10-B8]	48	[B6-B8-B4-B10]	61
	[B3]	6	[B3]	6
Aralık	[B1-B2-B3-B5]	49	[B1-B2-B9-B7-B6]	45
	[B7-B4-B6-B8-B10-B9]	64	[B4-B10-B8-B5]	65
			[B3]	6

İstanbul Anadolu yakası deposuna ait 15 günlük palet cinsinden talepler Tablo 5.21.'de belirtilmektedir. 15 günlük talepler ele alınarak çözümlenen problem sonucunda Tablo 5.22.'de gösterilen rotalar ve maliyetlere ulaşılmıştır. İstanbul Avrupa yakasına ait 15 günlük talep (palet) verileri ise Tablo 5.23.'te gösterilmektedir. Problem çözüldüğünde elde edilen rota ve maliyet sonuçları Tablo 5.24.'te gösterilmektedir.

Tablo 5.23. İstanbul Avrupa yakası deposuna atanan şubelerin 15 günlük talepleri (palet)

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Ocak	1. 15 gün	3,2	2,8	3,7	0,6	0,5	0,7	0,5	2,7	0,3	2,6	1,4	2,1	0,8	0,5	0,6	2,3	3,4	0,8
	2. 15 gün	2,2	3,2	2,5	0,8	0,5	0,6	0,6	2,8	0,3	2,7	0,7	2,4	1,1	0,5	0,5	2,4	3,3	1,6
Şubat	1. 15 gün	2,6	2,2	3,4	0,4	0,4	0,7	0,6	2,1	0,3	2,1	1,4	2,5	0,6	0,4	0,6	2,1	3,1	1
	2. 15 gün	2,5	2,3	3,5	0,6	0,5	0,7	0,6	3,2	0,2	3,1	0,8	3,4	1,1	0,7	0,8	2,4	3,3	0,4
Mart	1. 15 gün	2,7	2,6	3,4	1,1	0,4	0,9	0,6	2,7	0,6	2,3	1,2	2,4	0,8	1,1	0,6	2,3	3,1	1,3
	2. 15 gün	3	2,1	3,3	0,6	0,5	0,4	1,1	2,4	0,9	2,4	1,1	3,2	0,8	0,6	1	2,4	3,6	0,6
Nisan	1. 15 gün	2,3	2	3,2	0,9	0,4	0,8	0,6	3,8	0,6	2,8	0,6	2,6	0,7	0,6	0,6	2,3	2,4	1,6
	2. 15 gün	2,7	3,2	3,3	0,6	0,5	0,6	0,7	3,2	0,9	3,2	1	3,2	1	1,1	1,2	2	3,4	1
Mayıs	1. 15 gün	2,4	2,3	2,4	0,7	0,4	0,4	0,9	1,4	0,3	2,4	0,6	2,2	0,6	1,1	0,6	1,7	2,1	1
	2. 15 gün	1,4	2,3	1,9	0,6	0,4	0,6	0,9	2,1	0,3	2,1	0,9	2,4	0,7	0,7	0,8	1,2	2,4	0,4
Haziran	1. 15 gün	2,1	2	1,6	0,6	0,4	0,8	0,4	1,2	0,6	2	0,6	1,4	0,6	0,4	0,6	1,7	1,9	0,9
	2. 15 gün	2,2	2,1	1,3	0,7	0,6	0,5	1	1,2	0,5	2,6	1,2	1,4	1	0,5	0,4	1,6	2	0,6
Temmuz	1. 15 gün	2,3	3,4	2,1	0,8	0,6	0,5	0,4	2,1	0,4	1,6	0,7	2,4	0,6	0,7	0,7	2	2,1	0,8
	2. 15 gün	1,9	1,3	2,1	0,7	0,5	0,6	0,7	1,6	1,0	2,2	0,4	2,1	0,7	1,0	0,8	2,0	2,0	0,6
Ağustos	1. 15 gün	1,6	2,1	3,2	0,6	0,4	0,6	0,7	2,1	0,7	2,5	0,6	2,4	0,5	0,6	0,8	2,1	2,7	1
	2. 15 gün	2,3	2,2	2,3	0,6	0,8	0,8	1,0	1,7	0,6	2,4	1,3	1,4	0,5	1,0	0,7	1,8	2,0	1,0
Eylül	1. 15 gün	1,4	2,1	3,1	1,1	0,4	1,1	0,6	2,6	0,6	2,2	1,6	2,1	0,9	1,1	0,8	1,8	2,6	1,2
	2. 15 gün	1,3	2,4	2,2	0,9	0,6	0,7	1,1	1,3	0,6	2,2	1,2	2,1	1,2	0,6	1	2,1	1,8	0,6
Ekim	1. 15 gün	2,6	2,3	3,1	1	0,6	1,1	0,9	2,1	0,5	1,5	1,6	1,6	0,9	0,9	0,6	1,8	2,4	0,9
	2. 15 gün	2,4	2,1	2,4	1,3	0,4	0,7	0,9	2,3	0,5	2,6	0,8	2,1	1,3	0,9	1	1,3	2,1	1,3
Kasım	1. 15 gün	1,4	2,1	3,2	0,8	0,4	0,6	0,7	2,3	0,4	1,3	0,8	2,1	0,9	0,8	0,9	2,4	2,7	0,9
	2. 15 gün	2,4	1,6	2,3	0,8	0,8	0,9	0,6	1,8	0,7	2,1	0,9	1,2	1,2	1,0	0,6	1,7	1,6	0,7
Aralık	1. 15 gün	1,6	2,4	3,7	0,8	0,6	0,9	0,5	2,4	0,6	1,9	1,1	1,9	0,8	0,8	0,6	1,9	2,4	0,9
	2. 15 gün	2,1	1,8	2,7	0,9	0,6	0,4	0,6	1,7	1,1	2,0	0,8	1,2	1,1	1,0	1,2	1,5	1,5	0,9

Tablo 5.24. İstanbul Avrupa yakası deposunun araç rotaları ve maliyetleri (TL)

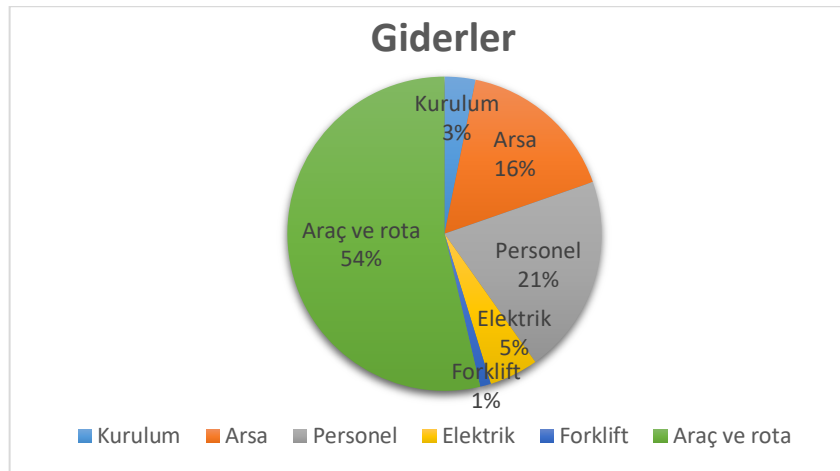
	1. 15 gün rotaları	Maliyet	2. 15 gün rotaları	Maliyet
Ocak	[A1-A16-A7-A5-A18-A12-A4]	59	[A1-A16-A4-A14-A8-A11-A15]	39
	[A14-A15-A9-A2-A11-A13-A6-A8]	84	[A12-A18-A7-A5-A9-A2-A13]	87
Şubat	[A10-A17-A3]	29	[A3-A17-A10-A6]	51
	[A1-A16-A4-A14-A11-A8-A13-A5]	61	[A1-A16-A11-A2-A13-A6]	52
	[A12-A18-A7-A9-A15-A2-A10-A6]	88	[A18-A9-A4-A14-A7-A5-A12-A15]	97
Mart	[A17-A3]	30	[A10-A8-A17]	28
	[A1-A16-A4-A14-A11-A15-A5]	55	[A3]	27
	[A18-A12-A2-A10-A9-A7]	72	[A1-A16-A4-A14-A8-A13]	40
	[A8-A17-A13-A6]	42	[A3-A17-A10-A5]	47
Nisan	[A3]	27	[A12-A18-A7-A9-A15-A2-A6]	81
	[A1-A16-A4-A14-A8]	28	[A11]	17
	[A17-A7-A18-A5-A12-A9-A15-A11]	94	[A1-A16-A4-A14-A11-A13-A9-A7]	59
Mayıs	[A3-A13-A2-A10-A6]	60	[A5-A12-A18-A15-A6-A3]	81
	[A1-A16-A4-A14-A8-A11-A13-A6-A15-A9]	67	[A17-A10-A2]	31
	[A5-A12-A7-A2-A10-A18]	89	[A8]	17
Haziran	[A3-A17]	30	[A1-A16-A4-A14-A8-A11-A2-A13]	50
	[A1-A16-A4-A14-A11-A2-A10-A13]	54	[A3-A17-A6-A15-A9-A5-A18-A12]	93
Temmuz	[A3-A17-A6-A15-A9-A7-A5-A12-A18-A8]	111	[A7-A10]	25
	[A1-A7-A5-A18-A12-A15-A11-A10-A6]	91	[A1-A16-A4-A14-A11-A2-A3]	45
	[A3-A8-A2-A14-A4-A9]	50	[A17-A8-A9-A7-A5-A18-A12-A15-A13-A6]	119
Ağustos	[A16-A13-A17]	28	[A10]	16
	[A1-A16-A12-A18-A6-A14-A4-A7-A5]	108	[A1-A9-A7-A5-A18-A12-A17-A13-A11]	80
	[A13-A3-A17-A10-A9]	40	[A3-A2-A15-A16-A4-A14-A8]	59
Eylül	[A15-A2-A11-A8]	28	[A10-A6]	38
	[A1-A9-A15-A16-A4-A14-A8-A7]	53	[A1-A9-A7-A5-A12-A18-A14-A11-A13]	81
Ekim	[A12-A5-A18-A11-A2-A10]	69	[A6-A8-A17-A3-A10-A4]	57
	[A3-A13-A17-A6]	48	[A16-A2-A15]	30
	[A1-A16-A4-A14-A8-A11]	30	[A1-A7-A5-A12-A18-A14-A16-A15-A9]	71
Kasım	[A12-A5-A9-A10-A17-A13-A15-A7-A18]	104	[A4-A8-A11-A10-A2-A17]	47
	[A2-A3-A6]	41	[A13-A6-A3]	48
Aralık	[A1-A16-A4-A14-A11-A10-A2]	38	[A1-A16-A4-A6-A3-A14-A7]	63
	[A17-A13-A3-A6-A9-A15-A7-A5]	84	[A15-A2-A10-A17-A13-A9-A5]	63
	[A12-A18-A8]	51	[A12-A18-A11-A8]	54
Aralık	[A1-A9-A7-A5-A12-A18-A3]	173	[A1-A16-A4-A14-A11-A2-A9-A7]	48
	[A6-A2-A13-A15-A10-A17-A14]	84	[A18-A12-A5-A10-A8-A17-A13-A15]	74
	[A11-A8-A16-A4]	28	[A3-A6]	40
			[A1-A15-A9-A6-A13-A17-A2-A7]	72
			[A5-A12-A18-A11-A11-A16-A3-A10]	71
			[A8-A4-A14]	26

5.3.2.1. Firmanın mevcut fabrika deposu ile önerilen 5 deponun maliyetlerinin karşılaştırılması

Gıda firmasının mevcut fabrika deposunun gider kalemleri; depo kirası, personel, elektrik, forklift, frigorifik araç ve rota maliyeti olarak ele alınmaktadır. Mevcut fabrika deposunun bahsedilen gider kalemlerine ait maliyetlerin yıllık ortalama toplam maliyeti 5877038 TL'dir. Firmanın çalışma içerisinde bulunan gider kalemlerinin (kurulum, arsa, personel, elektrik, forklift, frigorifik araç ve rota) aylık maliyetleri aşağıdaki Tablo 5.25.'te gösterilmektedir. Firmadan alınan verilerde frigorifik araç ve rota maliyeti bir arada bulunmaktadır. Tablo 5.25.'ten yararlanılarak elde edilen gider kalemlerinin yüzdelik dilimleri Şekil 5.5.'te gösterilmektedir.

Tablo 5.25. Firmanın mevcut yıllık maliyetleri (TL)

Aylar	Kurulum	Arsa	Personel	Elektrik	Forklift	Araç ve rota
Ocak	15087	78270	85194	35482	3753	217372
Şubat	15087	78270	84309	31293	3700	190997
Mart	15087	78270	87295	36037	3720	155755
Nisan	15087	78270	90785	39676	3706	230852
Mayıs	15087	78270	94894	35101	4136	375092
Haziran	15087	78270	90855	33440	7187	213162
Temmuz	15087	78270	105120	34102	6000	257590
Ağustos	15087	78270	106880	44884	5710	362446
Eylül	15087	78270	105193	43889	6001	253190
Ekim	15087	78270	108505	45889	7007	283463
Kasım	15087	78270	106560	42906	6145	251217
Aralık	15087	78270	104810	42519	5961	266978



Şekil 5.5. Firmanın mevcut durum maliyetlerinin yüzdelik dilimleri

Önerilen 5 deponun kurulum, arsa, personel, elektrik, forklift, frigorifik araç ve rota maliyetleri aylık olarak Tablo 5.26.'da gösterilmektedir. Bu tabloda firma ile benzer bir tablo oluşturulması açısından frigorifik araç ve rota maliyetlerinin toplam olarak değerlendirilecektir.

Tablo 5.26. Önerilen 5 deponun maliyetleri (TL)

Aylar	Kurulum	Arsa	Personel	Elektrik	Forklift	Araç ve rota
Ocak	18667	6500	142000	46876	6250	31173
Şubat	18667	6500	142000	46876	6250	31303
Mart	18667	6500	142000	46876	6250	30818
Nisan	18667	6500	142000	46876	6250	31539
Mayıs	18667	6500	142000	46876	6250	30629
Haziran	18667	6500	142000	46876	6250	30958
Temmuz	18667	6500	142000	46876	6250	31008
Ağustos	18667	6500	142000	46876	6250	31253
Eylül	18667	6500	142000	46876	6250	30580
Ekim	18667	6500	142000	46876	6250	30287
Kasım	18667	6500	142000	46876	6250	30098
Aralık	18667	6500	142000	46876	6250	30043

Yukarıda verilen tablolar incelendiğinde firmanın ele aldığımız gider kalemlerinin %54'lük kısmını araç ve rota maliyetleri oluşturmaktadır. Firmanın toplam depo giderleri (kurulum, arsa, personel, elektrik, forklift) 2641335 TL'dir. Araç ve rota maliyetlerinin yıllık maliyeti ise 3235703 TL'dir.

Bu maliyetin azaltılması için uygun yerlere 5 depo açılması önerilmiştir. Açılan 5 deponun giderleri (kurulum, arsa, personel, elektrik, forklift) 2643510 TL'dir. Depodan şubelere hizmet veren araçlar ve rota maliyetlerinin toplamı ise 369689 TL'dir. Mevcut durum ve önerilen durum incelendiğinde depo giderleri %0,08 oranında bir artma olmuştur. Nakliye maliyeti ise %88 oranında bir iyileşme olmuştur. Firmanın mevcut durum ve önerilen 5 deponun yıllık toplam (depo ve rota) maliyetleri karşılaştırıldığında ise önerilen durum sonucunda %49 oranında iyileşme gerçekleşmiştir.

5.3.3.Senaryo 3: Belirli illerde talep artırımını

Geliştirilen algoritmanın yeni depo yerleri ve yeni rotaların belirlenmesindeki etkinliğini göstermek için, yalnızca Doğu Anadolu bölgesindeki illerin taleplerinin

artırılması kabul edilmiştir. Bu kabule gidilmesinin temel nedeni, ikinci senaryoda firmanın gerçek talep verileri dikkate alınmıştır, sonuçlardan da açıkça görülebileceği gibi Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinin neredeyse tamamı Eskişehir de açılması önerilen depodan karşılanmaktadır. Doğu Anadolu bölgesinde olası muhtemel farazi bir talep artışının kabulü ile yeni depo yerleri ve yeni rotaların nasıl olacağı merakını gidermesi açısından önemli olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle bahsedilen bölgedeki illerin talepleri gerçek verilerden %40 oranında arttığı kabul edilerek yeniden çözülmüştür.

Oluşan yeni talepler ile problem çözüldüğünde açılan depo yerleri ve bu depolara atanan şubeler Tablo 5.27.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.27. Belirli illerde artırılan talepler sonucunda açılan depolar ve depolara atanan şubeler

Açılan Depolar	Atanan Şubeler
Yalova	Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne, İzmir, Kırklareli, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Tekirdağ, Yalova
Eskişehir	Afyon, Ankara, Antalya, Çorum, Eskişehir, Isparta, Karabük, Konya, Mersin, Muğla, Nevşehir, Samsun, Zonguldak
Erzincan	Adana, Adıyaman, Ağrı, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Giresun, Hatay, Kayseri, Malatya, Sivas, Van
İstanbul Avrupa	Bağcılar, Gaziosmanpaşa, Şişli, Bakırköy, Esenyurt, Sarıyer, Küçükçekmece, Fatih, Başakşehir, Eyüp, Bayrampaşa, Beylikdüzü, Beşiktaş, Zeytinburnu, Sultangazi, Bahçelievler, Beyoğlu, Büyükçekmece
İstanbul Anadolu	Üsküdar, Kadıköy, Ümraniye, Pendik, Çekmeköy, Kartal, Maltepe, Sultanbeyli, Ataşehir, Tuzla

Şekil 5.6.'da ise açılan depolar ve depolara atanan şubeler gösterilmektedir.

Tablo 5.29. Açılacak şubeler hakkında veriler

Şube açılacak iller	X	Y	Yıllık depo maliyeti(TL)
Şanlıurfa	37,1674	38,7955	572752
Kahramanmaraş	37,5753	36,9228	572402
Denizli	38,7830	29,0963	573102
Mardin	37,3126	40,7390	570602
Trabzon	41,0027	39,7168	572102
Ordu	40,9862	37,8797	569602
Tokat	40,3235	36,5522	579352
Kütahya	39,4200	29,9857	576152
Düzce	40,8387	31,1626	573502
Uşak	38,6742	29,4059	573102

Tablo 5.30. Açılacak şubelerin tahmini aylık talepleri (palet)

Aylar	Ş.Urfa	K.Maraş	Denizli	Mardin	Trabzon	Ordu	Tokat	Kütahya	Düzce	Uşak
Ocak	0,8	1,9	0,7	0,8	1,4	1,3	1,2	0,5	2,0	1,1
Şubat	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9	1,5	0,9	0,8	1,9	1,1
Mart	1,6	1,1	0,9	1,5	1,1	1,3	1,2	1,0	1,4	1,0
Nisan	0,8	0,9	1,2	0,9	1,8	1,8	1,4	0,8	2,7	2,1
Mayıs	0,7	0,6	0,8	0,7	0,3	0,8	1,0	1,0	1,8	1,1
Haziran	0,5	0,9	1,0	0,7	1,5	1,2	0,9	1,4	2,0	1,3
Temmuz	0,5	1,0	2,6	0,5	0,9	1,1	1,7	1,1	2,2	0,9
Ağustos	1,0	1,2	2,8	1,0	1,3	1,3	1,1	3,2	3,5	1,2
Eylül	0,9	0,9	1,5	0,7	0,8	1,0	0,9	1,2	2,1	1,0
Ekim	0,7	0,9	1,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	1,2	0,9
Kasım	0,7	0,8	1,0	0,7	1,0	1,1	0,8	0,7	1,8	1,0
Aralık	0,7	0,8	0,9	0,7	1,1	1,1	1,0	0,6	2,0	0,9
Toplam	10	12	16	10	13	14	13	13	25	13

51 aday depo yerinden uygun olan yerlere 5 depo açılması ve 51 şubenin uygun depo yerlerine atanması amaçlanmaktadır. Açılan depolar ve depolara atanan şubeler Tablo 5.31.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.31. İlave edilen 10 şube sonucunda açılan depolar ve depolara atanan şubeler

Açılan Depolar	Atanan Şubeler
Diyarbakır	Adıyaman, Ağrı, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Giresun, Hatay, Malatya, Sivas, Van, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, Mardin, Trabzon, Ordu
Ankara	Adana, Afyon, Ankara, Antalya, Çorum, Eskişehir, Isparta, Karabük, Kayseri, Konya, Mersin, Nevşehir, Samsun, Tokat, Zonguldak
Yalova	Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Edirne, İzmir, Kocaeli, Kırklareli, Manisa, Muğla, Sakarya, Tekirdağ, Yalova, Denizli, Kütahya, Düzce, Uşak
İstanbul Avrupa	Bağcılar, Gaziosmanpaşa, Şişli, Bakırköy, Esenyurt, Sarıyer, Küçükçekmece, Fatih, Başakşehir, Eyüp, Bayrampaşa, Beylikdüzü, Beşiktaş, Zeytinburnu, Sultangazi, Bahçelievler, Beyoğlu, Büyükçekmece
İstanbul Anadolu	Üsküdar, Kadıköy, Ümraniye, Pendik, Çekmeköy, Kartal, Maltepe, Sultanbeyli, Ataşehir, Tuzla

Açılan depo yerleri ve depolara atanan şubeler Şekil 5.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Açılan depo yerleri ve depolara atanan şubeler

Açılan depolara ve hizmet vereceği şubeler belirlendikten sonra rotalama yapılmıştır. Bu rotalama sonucunda oluşan maliyetler Tablo 5.32.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.32. İlave edilen 10 şube ile ortaya çıkan rotaların maliyeti (TL)

Aylar	Diyarbakır	Ankara	Yalova	İstanbul Avrupa	İstanbul Anadolu	Toplam
Ocak	2303	2814	2280	350	234	7666
Şubat	2671	3031	2326	384	223	8636
Mart	3507	3045	3003	382	238	10175
Nisan	2882	3987	2810	370	287	10336
Mayıs	2192	2499	2403	355	260	7709
Haziran	2469	3527	2709	345	286	9336
Temmuz	2480	3278	2739	351	253	9100
Ağustos	2693	3955	2512	345	275	9780
Eylül	2720	3376	1949	335	287	8667
Ekim	2595	3973	2522	355	237	9682
Kasım	2607	2651	2695	335	259	8547
Aralık	2805	2620	2628	354	229	8635

BÖLÜM 6. SONUÇ

LRP, aday depo yerleri arasından uygun olan yerlere depo açıp bu depoların hangi şubelerin taleplerini karşılayacağını belirlemektedir ve araçları ilgili depodan ait olduğu şubelere gönderilmesi için araç rotalarının bulunmasıdır. Bu çalışmada temel amacımız; depo kurulum, arsa, personel, elektrik, forklift, frigorifik araç ve rota maliyetlerinden oluşan toplam maliyetinin en az olmasını sağlamaktır.

Bu çalışmada geliştirilen algoritmanın sınanması dört farklı senaryo üzerinden gösterilmiştir.

İlk olarak, Akpınar (2009) tarafından geliştirilen modeline belirli kısıtlar (depo kapasite kısıtı, yalnızca depo ve rota maliyetlerini içeren yeni bir amaç fonksiyonu) eklenerek kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemi için yeni bir MIP model elde edilmiştir. Geliştirilen yeni modelin hem amaç fonksiyonu hem de yeni tanımlanan kısıtları detaylı bir şekilde Bölüm 3'te incelenmiştir. Geliştirilen modelde diğer pek çok benzer modellerde olduğu gibi değişken sayısı (depo sayısı ve şube sayısı) arttıkça kısıt sayısı da artmaktadır. Bundan dolayı da belirli bir depo ve şube sayısından sonra modelin optimum değerlerini bulmak zorlaşmaktadır. Firmanın verileri dikkate alınarak bu modelde 2 aday depo, 3 şubeli küçük bir CLRP çözümlenmiştir. Bu çözüm sonucunda Malatya deposu açılmıştır ve bu depodan diğer şubelere 2 rota oluşturulmuştur.

İkinci senaryoda ise depo ve şube (5 depo ve 41 şube) sayısındaki artış dolayısıyla kesin çözümü bulunamayacağı kabulü ile optimuma yakın çözümler üretmek için metasezgisel yöntemlerden karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma ile uygun 5 depo yeri, depoların hizmet vereceği şubeler ve rotalar bulunmuştur. Firmanın ve geliştirilen algoritmanın sonuçları karşılaştırıldığında önerilen çözümün %49 oranında daha iyi olduğu görülmüştür.

Üçüncü senaryoda ise CLRP için bu tez çalışmasında geliştirilen algoritmanın yeni depo yerleri ve yeni rotaların belirlenmesindeki etkinliğini göstermek için, yalnızca Doğu Anadolu bölgesindeki illerin taleplerinin artırılması kabul edilmiştir. Bu kabule gidilmesinin temel nedeni, ikinci senaryoda firmanın gerçek talep verileri dikkate alınmıştır, sonuçlardan da açıkça görülebileceği gibi Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinin neredeyse tamamı Eskişehir de açılması önerilen depodan karşılanmaktadır. Doğu Anadolu bölgesinde olası muhtemel farazi bir talep artışının kabulü ile yeni depo yerleri ve yeni rotaların nasıl olacağı merakını gidermesi açısından önemli olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle bahsedilen bölgedeki illerin talepleri gerçek verilerden %40 oranında arttığı kabul edilerek yeniden çözülmüştür. Bu senaryodaki elde edilen yeni sonuca göre, bu bölgemizde bulunan Erzincan ilimize yeni depo açılması ve buna uygun olarak da yeni rotaların bulunduğu görülecektir.

Son senaryoda ise örnek olarak incelediğimiz gıda firmasının gelecek 5 yıldaki yatırım ve büyüme strateji dikkate alınarak oluşturulmuştur. Firma 10 yeni ilde şubeler açmayı planlamıştır. Problem 5 depo ve 51 şube haline dönüşmüştür. Bu problemde açılan depo yerleri hem taleplere hem de depo maliyetleri dikkate alınarak belirlendikten sonra depolara şubeler atanmıştır. Son olarak depoların şubelere rotaları belirlenip maliyetleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak firma, hedeflediği planın gerçekleşmesi durumunda karşılaşacağı maliyetleri en aza indirmek için nasıl bir yol izleyeceği konusunda fikir sahibi olmuştur.

Tüm bu senaryolar değerlendirildiğinde, öncelikli olarak gıda firmasının tek bir ana depodan Türkiye'deki tüm şubelerin taleplerini karşılaması sonucu gider kalemleri arasında rota maliyeti %54'lük oranında büyük bir payı oluşturmaktadır. Bu duruma çözüm olarak sunulan 5 depo açılması fikri ile %49 oranında bir iyileşme elde edilmiştir. Geliştirilen algoritmada açılan depo yerlerini hem depo maliyetleri hem de talepler doğrultusunda karar verilmiştir. Geliştirilen KKA ise Doğu Anadolu bölgesinde artırılan talepler ile denenmiş olup çıkan sonuçlar ışığında hem depo maliyetlerine hem de taleplere dikkat edildiği görülmüştür. Bu durumda etkinliği test edilen algoritmanın firma için gelecek 5 yıl planları içerisinde yer alan 10 şube açma hedefi ele alınmıştır.

Sonuç olarak gıda firmasının gerçek verilerle ele aldığımız kapasite kısıtlı yerleştirme-rotalama problemini geliştirilen KKA ile etkin bir şekilde çözülmüştür. Çalışmada geliştirilen algoritmanın CLRP için etkin ve verimli bir çözüm sunduğu görülmüştür.

Daha sonraki çalışmalar için ise, depo yer seçimi yaparken başka kısıtlar (afet riski, alanın genişleme olanağı ve trafik yoğunluğu gibi) göz önüne alınabilir, ilaveten rotalama için zaman kısıtı düşünülebilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların farklı metasezgisel yöntemler ile elde edilecek sonuçlarla karşılaştırılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akpınar, F. 2009. Yerleştirme rotalama problemi için bir genetik algoritma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akşehir, K. 2019. Gezgin satıcı probleminin karınca kolonisi algoritması ile çözüm performansının artırılmasında parametre optimizasyonu, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Albareda-Sambola, M., Diaz, A.J., Fernandez, E. 2005. A compact model and tight bounds for a combined location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 32(3): 407-428.
- Altıntaş, C. 2011. Sezgisel algoritmalarla sınav çizelgeleme problemi çözümü. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Aslan, S. 2008. Ders çizelgeleme probleminin paralel karınca kolonisi algoritması ile çözümü: Mersin Üniversite örneği. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Baldacci, R., Mingozzi, A., Wolfler-Calvo, R. 2011. An exact method for the capacitated location-routing problem. *Operations Research*, 59, 1284-1296.
- Baretto, S. 2014. Analise e modelização de problemas de localização distribuição (Analysis and modelling of location-routing problems). Ph. D. Thesis, University of Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Belenguer, J-M., Benavent, E., Prins, C., Prodhon, C., Wolfler-Calvo, R. 2011. A branch-and-cut method for the capacitated location-routing problem. *Computers and Operations Research*, 38(6), 931-941.
- Berger, R. 1997. Location-routing models for distribution system design. Northwestern University, Doctoral Dissertation.
- Bookbinder, J.H., Reece, K.E. 1998. Vehicle routing considerations in distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 37(2), 204-213.
- Bouhafs, L., Hajjam, A., Kaukam, A. 2006. A combination of simulated annealing and ant colony system for the capacitated location routing problem. *Knowledge-Based*

Intelligent Information and Engineering Systems: 10th International Conference, KES 2006, UK, Part I pp: 409-416.

- Bruns, A.D. 1998. Zweistufige Standortplanung unter Berücksichtigung von Tourenplanungs Aspekten: Primale Heuristiken und Lokale Suchverfahren. Dissertation. St. Gallen: Hochschule für Wirtschafts-, Rechts-und Sozialwissenschaften.
- Chao, C., Zhihui, T., Baozhen, Y. 2017. Optimization of two-stage location-routing-inventory problem with time-windows in food distribution network. *Ann Oper Res* 273, pp: 111-134.
- Contardo, C., Cordeau, J.F. ve Gendron, B. 2013. An exact algorithm based on cut-and-column generation for the capacitated location-routing problem. *INFORMS Journal on Computing*, 26(1): 88-102.
- Çatal, E. 2009. Karınca kolonileri algoritması ile iş akış problemlerinin optimizasyonu. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi.
- Çiftçioğlu, A.Ö., Doğan, E. 2017. Güncel optimizasyon tekniklerinin matematiksel problemlerin çözümündeki performanslarının kıyaslanması, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 2, s: 579-591.
- Dodurgalı, H.H. 2010. Karınca kolonisi optimizasyonu ile eğitilmiş çok katmanlı yapay sinir ağı ile sınıflandırma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Dorigo, M., Gambardella, L.M. 1997. Ant colonies for the travelling salesman problem. *Biosystems*, Volume 43, Issue 2, pages 73-81.
- Duhamel, C., Lacomme, P., Prins, C., Prodhon, C. 2008. A memetic approach for the capacitated location routing problem. In *Proceedings of the 9th EU/Meeting on Metaheuristics for Logistics and Vehicle Routing*, Troyes, France, Vol. 38, p:39.
- Duhamel, C., Lacomme, P., Prins, C., Prodhon, C. 2010. A GRASP x ELS approach for the capacitated location-routing problem. *Computers& Operations Research*, 37(11) pp: 1912-1923.
- Ercan, S. 2014. Bir süpermarket zincirinde rotalama probleminin metasezgisel algoritmalar ile çözülmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Escobar, J.W., Linfati, R., Baldoquin, M.G., Toth, P. 2014. A granular variable tabu neighborhood search for the capacitated location-routing problem. *Transportation Research Part B*, Volume 67, pp: 344-356.

- Farham, M. S., Süral, H., & Iyigun, C. 2018. A column generation approach for the location-routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 90, 249-263.
- Ferdi, I., Layeb, A. 2018. A GRASP algorithm based new heuristic for the capacitated location routing problem. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, Vol 30, No 3, pp: 369-387.
- Hiassat, A., Diabat, A., Rahwan, I. 2017. A genetic algorithm approach for location-routing-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of Manufacturing Systems*, 42, 93-103.
- Kechmane, L., Nsiri, B., Baalal, A. 2016. A memetic algorithm for the capacitated location-routing problem. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol 7, No 6.
- Keskintürk, T., Söyler, H. 2006. Global karınca kolonisi optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No 4, 689-698.
- Laporte, G. ve Nobert, Y. 1981. An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location, *European Journal of Operational Research*, 6, 224-226.
- Laporte, G., Nobert, Y., Pelletier, P. 1983. Hamiltonian location problems, *European Journal of Operational Research*, 12, 82-89.
- Laporte, G., Nobert, Y., Arpin, D. 1986. An exact algorithm for solving a capacitated location-routing problem, *Annals of Operations Research*, 6, 293-310.
- Leng, L., Zhang, C., Zhao, Y., Wang, W., Zhang, J., & Li, G. 2020. Bi-objective low-carbon location-routing problem for cold chain logistics: formulation and heuristic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 122801.
- Levanova, T. V., & Loresh, M.A. 2006. Ant colony optimization algorithm for the capacitated plant location problem. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 419-424.
- Lopes, R. B., Barreto, S., Ferreira, C., & Santos, B. S. 2008. A decision-support tool for a capacitated location-routing problem. *Decision Support Systems*, 46(1),366–375.
- Maniezzo, V., Colorni, A. 1999. The ant system Applied to the quadratic assignment problem. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol 11, No 5.
- Marinakis, Y. 2009. *Encyclopedia of Optimization: Location-routing problem*. 2. Edition, Springer Science+ Business Media, USA, 1919-1924.

- Marinakis, Y., Marinaki, M. 2008. A particle swarm optimization algorithm with path relinking for the location routing problem. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms* 7, 59-78.
- Min, H., Jayaraman, V., Srivastava, R. 1998. Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 108(1) pages 1-15.
- Montero, A. R., Lopez, A.S. 2015. Ant colony optimization for solving the quadratic assignment problem. 2015 Fourteenth Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI), Cuernavaca, pp: 182-187.
- Nagy G., Salhi S. 2007. Location-routing: Issues, models and methods, *European Journal of Operational Research*, 177(2), 649–672.
- Oudouar, F., Lazaar, M., & El Fallahi, A. 2019. Self-organizing map and sweep algorithm to solve the capacitated location routing problem. In 2019 4th World Conference on Complex Systems (WCCS) (pp. 1-5). IEEE.
- Oudouar, F., Lazaar, M., & El Miloud, Z. 2020. A novel approach based on heuristics and a neural network to solve a capacitated location routing problem. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 100, 102064.
- Özgönenç, H. 2006. A genetic algorithm for the location-routing problem with the windows. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Industrial Engineering, The degree of Master of Science.
- Pekel, E. 2018. Talep belirsizliği altında kapasite kısıtlı yer seçimi ve araç rotalama problemi için hibrit sezgisel bir çözüm önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Peng, Z., Manier, M.A. 2017. Particle swarm optimization for capacitated location-routing problem. *IFAC Papers Online* 50-1, 14668-14673.
- Perl, J. and M.S., Daskin. 1985. A warehouse location-routing problem, *Transportation Research*, 19B:5, 381-396.
- Pitakaso, R., Sethanan, K., & Theeraviriya, C. 2020. Variable neighborhood strategy adaptive search for solving green 2-echelon location routing problem. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105406.
- Prins, C., Prodhon, C., Calvo, R.W. 2006a. A memetic algorithm with population management (MA|PM) for the capacitated location routing problem. *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization, EvoCOP 2006: Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, pp: 183-194.

- Prins C., Prodhon, C., Calvo, R.W. 2006b. Solving the capacitated location-routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking. *4OR* 4, 221-238.
- Prins, C., Prodhon, C., Ruiz, A., Soriano, P., Calvo, R.W. 2007. Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative lagrangean relaxation-granular tabu search heuristic. *Transportation Science*, 41(4): 470-483.
- Rybickova, A., Burketova, A., Mockova, D. 2016. Solution to the location-routing problem using a genetic algorithm. *Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, Prague, pp. 1-6.
- Shelokar, P.S., Jayaraman. V.K., Kulkarni, B.D. 2004. An ant colony approach for clustering. *Analytica Chimica Acta*, 509(2), 187-195.
- Stutzle, T., Hoos, H.H. 2000. Max-Min ant system, *future generation computer systems*, 16(8): 889-914.
- Şenaras, A., İnanç, Ş. 2017. GSP çözümü için karınca kolonisi optimizasyonu. *Sosyal Bilimler Metinleri*, 2017(2), 58-67.
- Şirin, M. 2018. Sezgisel algoritma kullanılarak en iyi yol rotalanması ve bir uygulama. İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ting, C. J., Chen, C. H. 2013. A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem. *Int. J. Production Economics*, 141(1), 34-44.
- Tuzun, D., Burke, L.I. 1999. A two-phase tabu search approach to the location routing problem. *European Journal of Operational Research*, 116(1), 87-99.
- Urgan, B. 2011. Karınca kolonisi algoritmaları ve bir uygulama. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Vincent, F. Y., Jodiawan, P., Ho, Y. H., & Lin, S. W. 2019. Location routing problem with Demand Range. *IEEE Access*, 7, 149142-149155.
- Wang, S., Tao, F., Shi, Y. 2018. Optimization of location routing problem for cold chain logistics considering carbon footprint. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1): 86.
- Wei, X., Qiu, H., Wang, D., Duan, J., Wang, Y., & Cheng, T. C. E. 2020. An integrated location routing problem with post-disaster relief distribution. *Computers & Industrial Engineering*, 106632.

- Wu, T.-H., Low, C., Bai, J.-W. 2002. Heuristic solutions to multi- depot location routing problems. *Computers & Operations Research* 29 (10), 1393-1415.
- Yakhno, T., Ekin, E. 2002. Ant systems: Another alternative for optimization problems. *International Conference on Advances in Information Systems, ADVIS 2002: Advances in Information Systems*, pp: 324-32.
- Yaşar, E. 2017. Yer seçimi ve araç rotalama problemi: Gıda sektöründe bir uygulama. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yavuz, S., Deveci, M. 2012. İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (40), 167-187.
- Yıldız, H. 2008. Methodologies and applications for scheduling, routing & related problems. Carnegie Mellon University, School of Business, Doctoral Dissertation.
- Yılmaz, Ş. 2008. Çok depolu araç rotalama probleminin karınca kolonisi optimizasyonu ile modellenmesi ve bir çözüm önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yu, V. F., Lin, S. W., Lee, W., Ting, C.J. 2010. A simulated annealing heuristic for the capacitated location-routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 58 (2), 288-299.
- Yu, X., Zhou, Y., & Liu, X. F. 2020. The two-echelon multi-objective location routing problem inspired by realistic waste collection applications: The composable model and a metaheuristic algorithm. *Applied Soft Computing*, 106477.
- Zhang, C., Zhao, Y., & Leng, L. 2020. A hyper-heuristic algorithm for time-dependent green location routing problem with time windows. *IEEE Access*, 8, 83092-83104.
- Zhou, Y., Yu, H., Li, Z., Su, J., & Liu, C. 2020. Robust optimization of a distribution network location-routing problem under carbon trading policies. *IEEE Access*, 8, 46288-46306.
- www.ibrahimcayiroglu.com, Erişim Tarihi: 10.02.2014
- www.slideshare.net/Orhan_Eripek, Erişim Tarihi: 28.02.2015
- www.sogutmarehberi.com, Erişim Tarihi: 28.03.2009

ÖZGEÇMİŞ

Merve Yaşar, 16.06.1995'te İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2013 yılında Kartal Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2017 yılında ise aynı üniversitede yüksek lisans eğitimi almaya başladı.