

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME ROTALAMA
PROBLEMİNİN BİR MELEZ KARINCA KOLONİSİ
ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sümeyye Gizem ÇAKAR

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN

Eylül 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME ROTALAMA
PROBLEMİNİN BİR MELEZ KARINCA KOLONİSİ
ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sümeyye Gizem ÇAKAR

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 03.09.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri BaŐkanı

Üye

Üye

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.

Sümeyye Gizem ÇAKAR
03.09.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, çalışmalarım süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen ve beni motive eden, çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince ihtiyaç duyduğum her an yardımcı ve destek olan Arş. Gör. Serap ERCAN CÖMERT hocama çok teşekkür ederim.

Beni sevgiyle yetiştirerek bugünlere gelmemi sağlayan, başarılı olacağıma her zaman inanan ve hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Tanıştığımız günden beri her koşulda yanımda olan, büyük bir sabır ve özveri göstererek algoritmayı yazmamda emeği geçen, kıymetli arkadaşım Eren YILMAZ'a destekleri için teşekkür eder ve minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
YERLEŞTİRME ROTALAMA PROBLEMİ	3
.....	
2.1. Yerleştirme Rotalama Problemi	3
2.1.1. Yerleştirme rotalama probleminin sınıflandırılması	4
2.1.2. Yerleştirme rotalama probleminde çözüm yöntemlerinin	
sınıflandırılması.....	8
2.1.2.1. Kesin çözüm yöntemleri	8
2.1.2.2. Metasezgisel çözüm yöntemleri.....	11
BÖLÜM 3.	
KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME ROTALAMA PROBLEMİNİN	
MATEMATİKSEL MODELİ.....	18
3.1. Problemin Tanımı	18

3.2. Varsayımlar	18
3.3. Matematiksel Model	19
BÖLÜM 4.	
ÇALIŞMADA KULLANILAN ALGORİTMALAR	22
4.1. Karınca Kolonisi Algoritması	22
4.1.1. Gerçek karıncalar	22
4.1.2. Yapay karıncalar	24
4.1.3. Geçiş kuralı	25
4.1.4. Feromon güncellemesi	25
4.1.4.1. Lokal feromon güncellemesi	26
4.1.4.2. Global feromon güncellemesi	26
4.2. Yerel Arama Algoritması	27
4.2.1. Komşuluk yapısı	28
4.2.1.1. Rotalar arası yer değiştirme	28
4.2.1.2. Değiştirme	29
4.2.1.3. Rota içi yer değiştirme	30
4.3. Problemin Çözümü İçin Geliştirilen Melez Algoritma	30
BÖLÜM 5.	
UYGULAMA	34
BÖLÜM 6.	
SONUÇ	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	55

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ARP	: Araç rotalama problem
BT	: Benzetimli tavlama
CLRP	: Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (Capacitated location routing problem)
DFA	: Dal ve fiyat algoritması
DKA	: Dal kesme algoritması
DP	: Dinamik programlama
DSA	: Dal sınır algoritması
EYA	: Evrimsel yerel arama
GA	: Genetik algoritma
GLRP	: Yeşil yerleştirme rotalama problemi (Green location routing problem)
GRASP	: Açgözlü rastgele uyarlanabilir arama prosedürü (Greedy randomized adaptive search)
KKA	: Karınca kolonisi algoritması
KKARP	: Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi
KDA	: Kesme düzlemi algoritması
KTP	: Karışık tam sayılı programlama
LRPTW	: Zaman pencereli yerleştirme rotalama problemi (Location routing problem with time windows)
MA	: Memetik algoritma
MDCLRP	: Çok tesisli kapasite kısıtlı yerleştirme rotalama problemi (Multi-depot capacitated location routing problem)
MDLRP	: Çok tesisli yerleştirme rotalama problemi (Multi depot location routing problem)
TA	: Tabu arama

TP : Tam sayılı programlama
SOM : Kendi kendini organize eden harita (Self organizing map)
VNS : Değişken komşuluk arama (Variable neighbourhood search)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yerleştirme rotalama probleminin sınıflandırılması (Min ve ark., 1998) .	5
Şekil 2.2. Nagy ve Salhi'nin (2007) yaptığı sınıflandırma	6
Şekil 2.3. Lopes ve ark. (2008) problemin yapısına göre yaptığı sınıflandırma.....	7
Şekil 2.4. Lopes ve ark. (2008) problemin çözüm yöntemi ve amaç fonksiyonuna göre yaptığı sınıflandırma	7
Şekil 4.1. Gerçek karıncaların en kısa yolu bulması (Ercan, 2014)	23
Şekil 4.2. Yerel arama algoritması akış diyagramı (Saka, 2013)	28
Şekil 4.3. Rotalar arası yer değiştirme hareketi (Saka, 2013)	29
Şekil 4.4. Değiştirme hareketi (Saka, 2013)	30
Şekil 4.5. Rota içi yer değiştirme hareketi (Saka, 2013)	33
Şekil 4.6. Geliştirilen melez KKA'nın akış diyagramı	39
Şekil 5.1. Birinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller	41
Şekil 5.2. İkinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller	44
Şekil 5.3. Üçüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller	44
Şekil 5.4. Dördüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller	46

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Literatürde yerleştirme rotalama probleminde kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar	11
Tablo 2.2. Literatürde yerleştirme rotalama probleminde metasezgisel çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar	16
Tablo 4.1. Geliştirilen melez KKA'nın adımları	32
Tablo 5.1. Üretilen senaryolar (Depo kapasitesi 900 koli, araç kapasitesi 408 koli)	35
Tablo 5.2. Normallik testinin sonuçları	36
Tablo 5.3. Senaryodaki talep verilerinin istatistiksel sonuçları	36
Tablo 5.4. Parametreler ve değerleri	37
Tablo 5.5. Birinci senaryoda kullanılan talep miktarları (koli)	37
Tablo 5.6. Birinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri	38
Tablo 5.7. İkinci senaryoda kullanılan talep miktarları(koli)	40
Tablo 5.8. İkinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri	40
Tablo 5.9. Üçüncü senaryoda kullanılan talep miktarları(koli)	42
Tablo 5.10. Üçüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri	43
Tablo 5.11. Dördüncü senaryoda kullanılan talep miktarları (koli)	44
Tablo 5.12. Dördüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri	45
Tablo 5.13. Geliştirilen melez KKA algoritmasının senaryolara göre ürettiği sonuçların özeti	47

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kapasite kısıtlı yerleştirme rotalama problemi (CLRP), karışık tam sayılı programlama (KTP), karınca kolonisi algoritması (KKA), yerel arama algoritması (YA)

Bu çalışmada, varsayımsal bir e-ticaret firması için kapasite kısıtlı yerleştirme rotalama problemi (capacitated location routing problem-CLRP) çözülmüştür. Literatürde yer alan karışık tam sayılı programlama (KTP) modeline yeni bir amaç fonksiyonu eklenerek yeni bir matematiksel model sunulmuştur. Problem NP-zor sınıfında olduğundan, depo yerlerini ve araç rotalarını eş zamanlı olarak belirlemek amacıyla melez karınca kolonisi algoritması (KKA) önerilmiştir. Melez yapıda, KKA ve yerel arama (YA) algoritmaları birlikte çalışmaktadır. Melez algoritmanın adımları sırasıyla KKA ile eş zamanlı olarak depo yerleri ve araç rotalarının belirlenmesi, elde edilen çözüm üzerinde tanımlanan komşuluk yapısına göre YA algoritması ile depo yerlerinin hizmet vereceği yeni talep noktalarının belirlenmesi, depolardan talep noktalarına hizmet verecek araç rotalarının KKA ile belirlenmesi şeklindedir. Problemin amaç fonksiyonu bir kilometrede karşılanan talep miktarının en çok yapılması olarak belirlenmiştir. Tüm talep noktaları depo yeri olmaya adaydır. Önerilen melez algoritmanın, depo yerlerini ve araç rotalarını belirlemedeki etkinliğini göstermek için farklı taleplere göre dört senaryo üretilmiştir. Problemin çözümünde kullanılan talep verileri, normal dağılıma uygun olarak üretilen varsayımsal verilerdir. Tüm veriler üzerinde normallik testi yapılmış ve verilerin %95 güven aralığında normal dağılıma uygun olduğu gösterilmiştir. Algoritmanın senaryolara göre ürettiği sonuçlar paylaşılmıştır. Sonuçlar melez KKA'nın talebe göre ihtiyacı karşılayacak sayıda depo açma ve farklı talepleri karşılayabilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Literatürdeki çalışmalarda LRP genellikle yerleştirme ve rotalama problemi olmak üzere iki alt probleme bölünmüştür. Bu iki problemin çözümü içinse genellikle kademeli veya kümeleme temelli yöntemler kullanılmıştır ancak LRP, yerleştirme ve rotalama probleminin eş zamanlı olarak çözülmesi gerektiği bütünleşik bir problemdir. Bu çalışma, literatürdeki birçok çalışmadan farklı olarak, yerleştirme ve rotalama problemi aynı anda (eş zamanlı) değerlendirilerek büyük boyutlu LRP için çözüm sunmaktadır. Çalışma bu yönüyle hem literatürdeki çalışmalardan ayrılmakta hem de eş zamanlı ele alınmasıyla LRP literatürüne katkı sağlamaktadır.

SOLUTION OF CAPACITATED LOCATION ROUTING PROBLEM WITH HYBRID ANT COLONY ALGORITHM

SUMMARY

Keywords: Capacitated location routing problem (CLRP), mixed integer programming (MILP), ant colony algorithm (ACA), local search algorithm (LS)

In this study, the capacitated location routing problem (CLRP) was solved for a hypothetical e-commerce company. A new mathematical model is presented by adding a new objective function to the mixed integer programming (MILP) model in the literature. Since the problem is in the NP-Hard class, a new hybrid ant colony algorithm (ACA) was proposed to determine the depot locations and vehicle routes simultaneously. In the hybrid algorithm, ACA and local search (LS) algorithm run together. The steps of the hybrid algorithm are, respectively, the determination of warehouse locations and vehicle routes simultaneously with the ACA, determining the new demand points to be served by the warehouse locations with the LS algorithm according to the neighborhood structure defined on the solution obtained, and the determination of the vehicle routes that will serve the demand points from the warehouses with ACA. The objective of the problem is to maximize the number of demands per kilometer. All demand points were candidates for depot location. Four scenarios were produced according to the different demands to demonstrate the effectiveness of the proposed hybrid algorithm to determine depot locations and vehicle routes. The demand data used were determined as a hypothetical data based on a normal distribution. A normality test was performed on all data and it was shown that the data were suitable to normal distribution at a 95% confidence interval. The results produced by the algorithm according to the scenarios were presented. The results showed that the hybrid ACA had the potential to open enough depots to meet the demand changing.

In the studies in the literature, LRP is generally divided into two sub-problems as location and routing problems. To solve these two problems, phased or clustering-based methods are generally used, but LRP is an integrated problem where the location and routing problem must be solved simultaneously. This study offers a solution for large-scale LRP by simultaneously evaluating the location and routing problem. In this respect, the study both differs from the studies in the literature and contributes to the LRP literature by considering it simultaneously.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Her geçen gün artan rekabet ortamında işletmelerin sürdürülebilirliklerini sağlayabilmesi ve rakipleri arasından sıyrılabilmesi için iyi bir tedarik zinciri yönetimine sahip olmaları gerekmektedir. Tedarik zinciri yönetimi, bir mal veya hizmetin üretimi için gereken hammadde veya bilginin temin edilerek, müşteriye ulaştırılmasını sağlayan lojistik faaliyetler bütünüdür. Lojistik faaliyetler, doğru mal veya hizmetin, doğru yer ve zamanda, en az maliyetle müşteriye ulaşmasını sağlayarak tedarik zinciri yönetiminin amacına hizmet etmektedir. Lojistik faaliyetlerin yönetimi, iyi tasarlanan bir dağıtım ağı ile mümkün olmaktadır.

Dağıtım ağı tasarımı, tesis yeri seçimi ve tesislerden müşterilere dağıtım problemi olmak üzere iki kararı kapsamaktadır. İşletmeler, tesislerden müşterilere olan dağıtım işlemini en az maliyetle gerçekleştirmek istemektedir. Bu nedenle tesis yerlerini müşterilere göre konumlandırmaktadır.

Literatürde bu iki kararı kapsayan ve aynı anda çözmeyi amaçlayan problem, yerleştirme rotalama problemi (Location routing problem-LRP) olarak tanımlanmaktadır. LRP'nin çözümünde bu iki karar arasındaki ilişki temel alınmaktadır. Problem, tesis yerlerinden müşterilere hizmet verecek araç rotalarına göre, tesis açma ve araç rotalama maliyeti toplamının en az olduğu tesis yerlerini belirlemek üzerine kurulmuştur.

Tezin ikinci bölümünde LRP ayrıntılı bir şekilde ele alınmış, problemi analiz edebilmek amacıyla yapılan sınıflandırmalar anlatılmıştır. Sınıflandırma doğrultusunda literatürde LRP başlığı altında yapılan çalışmalar incelenmiş ve çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde kapasite kısıtlı yerleştirme rotalama probleminin (capacitated location routing problem-LRP) matematiksel modeli verilmiştir. Matematiksel model oluşturulurken kullanılan varsayımlar, veri setleri, parametreler ve değişkenler ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde metasezgisel çözüm yöntemlerinden karınca kolonisi algoritması (KKA) ile sezgisel çözüm yöntemlerinden yerel arama (YA) algoritması hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Devamında, ele alınan CLRP'nin çözümü için geliştirilen melez KKA anlatılmış ve akış diyagramı ile desteklenmiştir.

Beşinci bölümde varsayımsal bir e-ticaret firması için geliştirilen melez KKA ile CLRP çözülmüştür. Firmanın ana depolarından Türkiye'deki her ilde bulunan dağıtım merkezlerine ürün gönderimi yapabileceği, en uygun depo yerleri ve araç rotalarının aynı anda belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Geliştirilen melez algoritmanın, depo yeri ve araç rotası belirlemedeki etkinliğini göstermek amacıyla farklı taleplere göre dört senaryo üretilmiş ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Son bölümde bu tez çalışmasının sonuçları aktarılmıştır.

BÖLÜM 2. YERLEŞTİRME ROTALAMA PROBLEMİ

2.1. Yerleştirme Rotalama Problemi

Yerleştirme problemi, verilen kısıtlar dahilinde, tesis açma ve rotalama maliyetinin toplamını en az yapacak tesis yerlerinin belirlenmesi ve talep noktalarının en yakın tesis yerine atanması problemidir (Owen ve ark., 1998).

Araç rotalama problemi (ARP), bir veya birden fazla tesisten, talep noktalarına hizmet verecek araç filosu için, en az maliyetli araç rotalarını belirleme problemidir (Büyükyılmaz, 2017).

LRP, bu iki problemi aynı anda çözmeyi hedefleyen bütünleők bir problem tipidir (Nagy ve Salhi, 2007). Amaç, tesis yerlerinden talep noktalarına hizmet verecek araçların rotalarına göre, problem kısıtları dikkate alınarak en iyi tesis yerlerinin belirlenmesidir. En iyi tesis yeri, tesis açma ve rotalama maliyetinin toplamının en az olduğu yerdir. LRP, literatürde “rota planlaması dikkate alınarak yerleştirme planı” şeklinde tanımlanmaktadır (Bruns, 1998). Hem yerleştirme hem rotalama problemi NP-zor problemlerdir. Dolayısıyla LRP’de NP-zor problem sınıfında yer almaktadır (Ferdı ve Layeb, 2018).

LRP’nin çözümlü tesis yeri açma ve rotalama problemi arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Perl ve Daskin, 1985 yılında LRP’de aşağıda verilen üç ana kararın birbiriyle ilişkili olduğuna dair bir çalışma yayınlamıŐtır.

- Tesisler nereye konumlandırılacak,
- Talep noktaları tesis yerlerine nasıl atanacak,
- Tesis yerlerinden talep noktalarına, hangi sırayla hizmet verilecek.

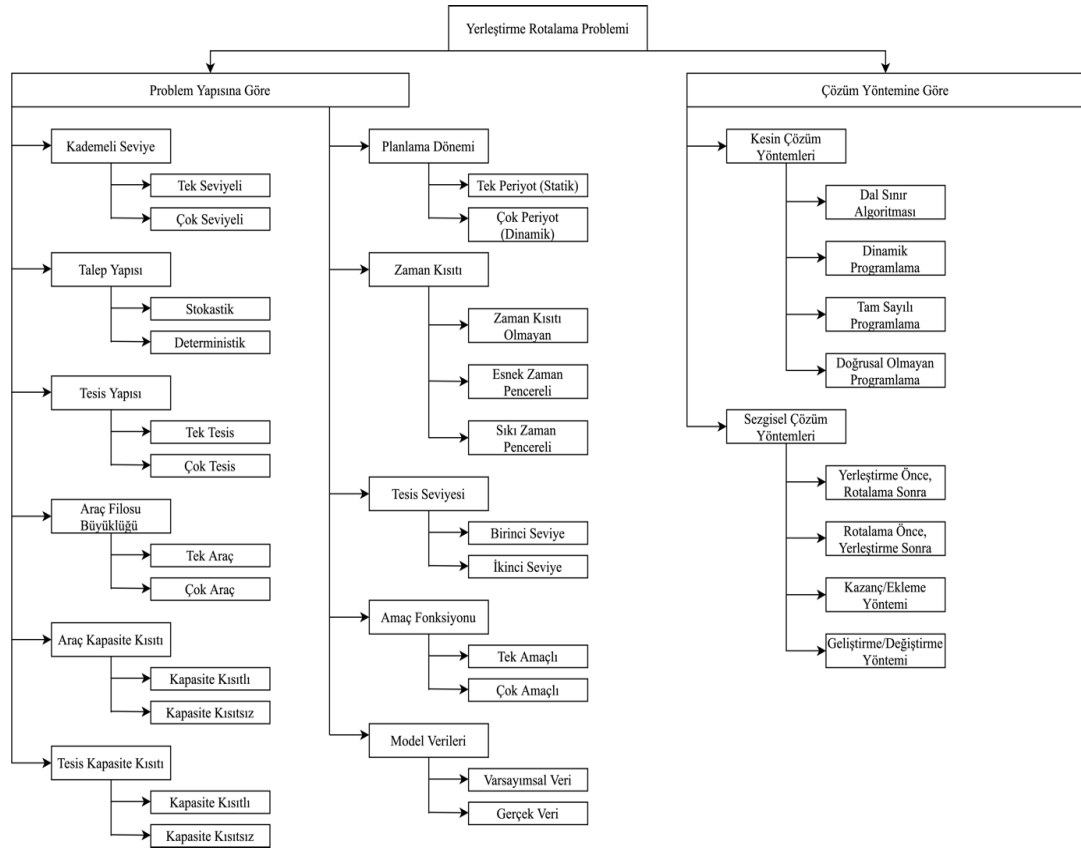
Bu kararların yanında aşağıdaki kararların da alınması gerekmektedir (Marinakis, 2009).

- Kaç adet tesis açılacak,
- Tesis yerleri nerede olacak,
- Hangi talep noktası, hangi tesis yerine atanacak,
- Hangi talep noktası, hangi rotaya atanacak,
- Hangi rotada, hangi sırayla talep noktalarına hizmet verilecek.

2.1.1. Yerleştirme rotalama probleminin sınıflandırılması

LRP'nin, problemin yapısı ve çözüm yöntemine göre değişkenlik gösteren birden fazla çeşidi bulunmaktadır. Bu sebeple, çalışmalarını daha kolay analiz edebilmek amacıyla LRP'yi sınıflandırma gereği duyulmuştur. Sınıflandırmaya üç çalışma yön vermiştir. Bu çalışmalar ve çalışmalara ait detaylar aşağıda aktarılmıştır.

Min ve ark. (1998), problemin yapısı ve çözüm yöntemine göre çeşitliliğini ve literatürü dikkate alarak, detaylı bir sınıflandırma yapmıştır. Yapmış oldukları sınıflandırma Şekil 2.1.'de gösterilmiş



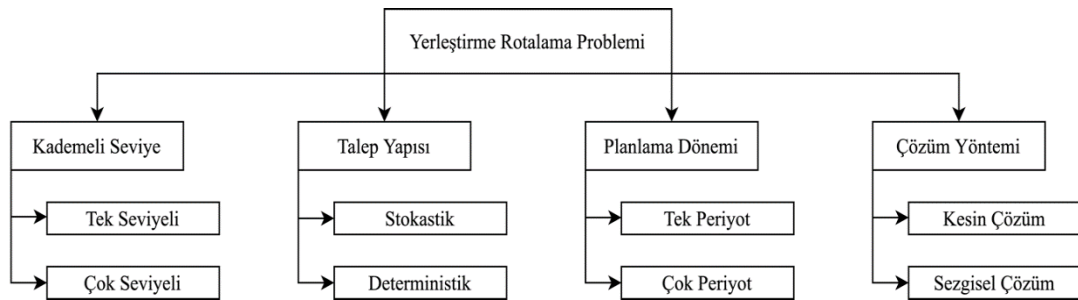
Şekil 2.1. Yerleştirme rotalama probleminin sınıflandırılması (Min ve ark., 1998)

Şekil 2.1.'de de görüldüğü gibi LRP'de problemin amacı ve yapısı, tesisler, araçlar, kısıtlar, kullanılan veriler farklı özelliklere sahiptir ve bu sebeple problemin çözümü için kullanılan yöntemler değişkenlik göstermektedir. Problemin amaç fonksiyonunu en az ya da en çok yapacak bir değişken varsa problem tek amaçlı, birden fazla değişken varsa çok amaçlı olmaktadır. Problemin yapısı kademeli olarak tek ve çok seviyeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Talep noktalarına belirli bir araç rotası ile merkezi bir tesisten dağıtım yapılıyorsa, problem kademeli olarak tek seviyelidir. Tesis ve araç sayısı bir veya birden çok, kapasiteleri ise sınırlı veya sınırsız olabilmektedir. Problem verileri gerçek ve varsayımsal veriler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Talep verileri yapısal olarak deterministik veya stokastiktir. Problemden kullanılan talepler önceden biliniyorsa belirli (deterministik), bilinmiyorsa belirsiz (stokastik) yapıdadır. Planlama dönemi tek (statik) veya çok periyotlu (dinamik) olabilmektedir. Tek periyotlu problemlerde, probleme ait detaylar planlama dönemine başlamadan önce bilindiği ve dönem sonuna kadar aynı kaldığı için statiktir. Çok periyotlu problemlerde ise tüm detaylar bilinmediği ve detayların, planlama dönemi süresince değişimi

mümkün olduğu için dinamiktir. Çok periyotlu probleme zaman ve zamana bağlı olarak meydana gelen değişim dahil olmaktadır. Zaman kavramı, esnek veya sıkı zaman penceresi kısıtı olarak da LRP'ye dahil olabilmektedir. Hem esnek hem sıkı zaman pencereli LRP'de aracın servise en erken ve en geç başlama süresi etkili olmaktadır.

LRP'nin çözümünde kullanılan yöntemler kesin ve sezgisel çözüm yöntemleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yukarıda bahsedilen tüm özellikler problemdeki değişken ve kısıt sayısını arttıran özelliklerdir. Bir problemde değişken ve kısıt sayısı arttıkça, problemin çözümü zorlaşmaktadır. Bu durumda kesin çözüm yöntemleri yetersiz kalacağından sezgisel çözüm yöntemleri tercih edilmektedir.

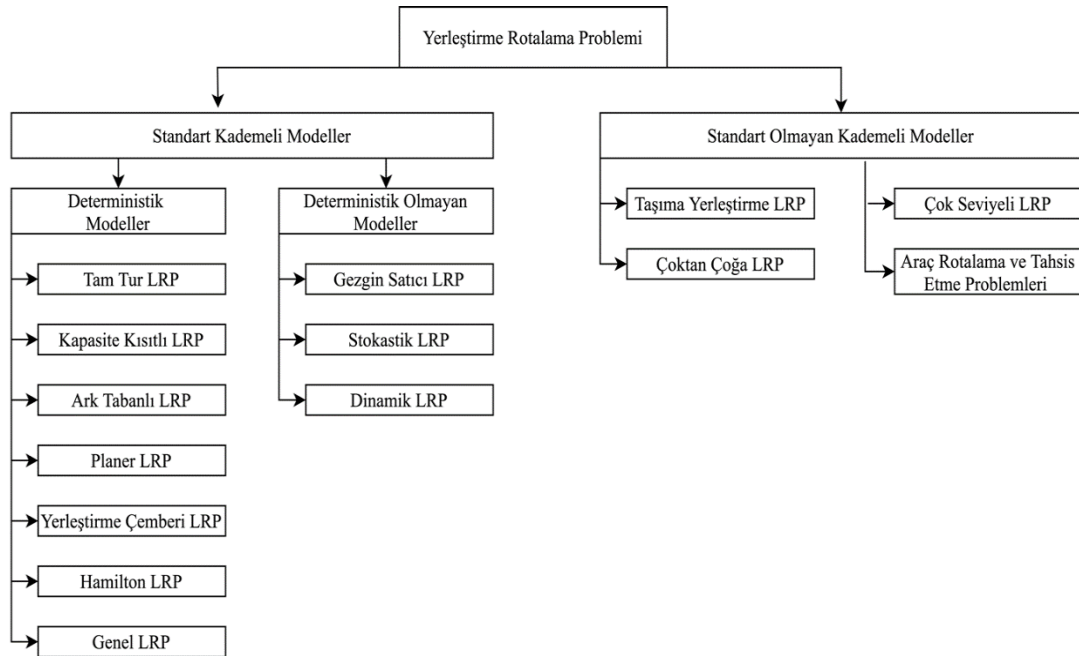
Nagy ve Salhi (2007), Min ve ark. (1998) çalışmasından farklı olarak, problemin yapısı ve çözüm yöntemlerine göre temel kriterleri dikkate alarak sınıflandırma yapmıştır. Sınıflandırmanın detaylandırılması, grup sayısının artmasına, grup sayısının artması ise o gruba dahil çalışma sayısının azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle Nagy ve Salhi (2007), detaylı bir sınıflandırmanın yararlı olmayacağını düşünmüşlerdir. Nagy ve Salhi'nin (2007) yapmış oldukları sınıflandırma Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



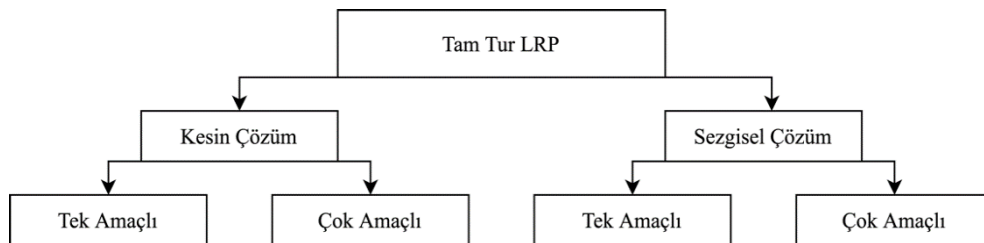
Şekil 2.2. Nagy ve Salhi'nin (2007) yaptığı sınıflandırma

Lopes ve ark. (2008), LRP'yi sınıflandırmak için iki seviyeli bir yaklaşım önermiştir. Birinci seviyede problemin yapısal özellikleri, ikinci seviyede ise çözüm yöntemi ve amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır. Problemin yapısal olarak sınıflandırılmasının ardından, her grup önce çözüm yöntemlerine, daha sonra amaç fonksiyonuna göre ayrılarak sınıflandırma yapılmıştır. Lopes ve ark. (2008) problemin yapısal özelliklerine göre yapmış oldukları sınıflandırma Şekil 2.3.'te, çözüm yöntemi ve

amaç fonksiyonuna göre yapmış oldukları sınıflandırmaya bir örnek ise Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Lopes ve ark. (2008) problemin yapısal özelliklerine göre yaptığı sınıflandırma



Şekil 2.4. Lopes ve ark. (2008) problemin çözüm yöntemi ve amaç fonksiyonuna göre yaptığı sınıflandırma

Bu çalışma Min ve ark. (1998) yaptığı sınıflandırmaya göre kademeli olarak tek seviyelidir. Problem tek amaç fonksiyonludur ve varsayımsal veriler kullanılmıştır. Talep yapısı belirlidir. Tesis ve araç sayısı birden fazladır, kapasiteleri ise sınırlıdır.

Bu çalışma Lopes ve ark. (2008) yaptığı sınıflandırmaya göre yapısal olarak deterministik model grubunda yer alan CLRP sınıfına girmektedir.

2.1.2. Yerleştirme rotalama probleminde çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması

Optimizasyon, eniyileme anlamına gelen bir kavramdır. Kısıtları olan bir fonksiyonu en çok ya da en az yapan değişkenlerin değerlerini bulma işlemidir. Optimizasyon problemlerinde değişken ve kısıt sayısı arttıkça, problemin çözümü zorlaşmaktadır. Problemin boyutu ile birlikte çözüm süresi ve çözüm için gereken hesaplama gücü de artış göstermektedir. Bu nedenle farklı boyutlardaki optimizasyon problemleri farklı yöntemler ile çözülmektedir. Bu yöntemler LRP’de kesin ve metasezgisel çözüm yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.1.2.1. Kesin çözüm yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri, bir optimizasyon probleminde çözüm uzayının tamamını tarayarak en iyi çözümü bulan yöntemlerdir. Temeli matematiksel modellemeye dayanmaktadır. Matematiksel modeller aşağıdaki kısıtları içermektedir. Bu kısıtlar, gevşetilebilir kısıtlardır (Nagy ve Salhi, 2007).

- Tüm araç rotaları tek depo içermelidir.
- Rotalar, bir depoyu diğer depoya bağlamamalıdır.
- Değişkenler tam sayı olmalıdır ve genellikle 0-1 değerlerini almalıdır (Nagy ve Salhi, 2007).

Literatürdeki çalışmalarda kullanılan kesin çözüm yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- Dal sınır algoritması (DSA)
- Dal ve fiyat algoritması (DFA)
- Dal kesme algoritması (DKA)
- Kesme düzlemi algoritması (KDA)
- Tam sayılı programlama (TP)
- Karışık tam sayılı programlama (KTP)
- Dinamik programlama (DP)

Literatürde, küçük boyutlu LRP için kesin çözüm yöntemleri kullanılarak en iyi çözümü elde eden çalışmalar bulunmaktadır.

Bu konuda ilk çalışma Laporte ve Nobert (1981) tarafından yapılmıştır. Çalışmada tek bir tesisin yerleştirilmesi problemi ele alınmış ve sabit sayıda araç kullanılmıştır. Amaç, tesis açma ve rotalama maliyetinin toplamını en aza indirmektir. Problem, kesin çözüm yöntemlerinden önce TP, ardından DSA kullanılarak çözülmüştür. Çalışmanın sonucunda tesisin nadiren talep noktalarının ağırlık merkezine yakın bir yere yerleştiği sonucuna varılmıştır.

Laporte ve ark. (1983), Gomory'nin geliştirdiği KDA ile açılacak tesis sayısında sınır olması ve olmaması durumuna göre kapasite kısıtsız, çok tesisli LRP (multi-depot location routing problem-MDLRP) için çözüm elde etmiştir. Çalışmada 7 tesis yeri ve 40 talep noktasına kadar kesin çözüm bulunarak sayısal sonuçlar paylaşılmıştır.

Laporte ve ark. (1986), tesis ve araç kapasitelerini probleme dahil ederek, kapasite kısıtlı çok tesisli LRP (multi-depot capacitated location routing problem-MDCLRP) için TP ile kesin çözüm elde etmiştir. Çalışmada 8 tesis yeri ve 20 talep noktasına kadar kesin çözüm bulunarak sayısal sonuçlar paylaşılmıştır.

Zografos ve Samara (1989), tehlikeli atıkların taşınması ile bertaraf ve arıtma tesislerinin yerleştirilmesi problemini ele almıştır. Çalışmada, tehlikeli atıkların taşınması ve bertarafı için KTP modeli geliştirilmiştir. Model, varsayımsal senaryolar üzerinden tehlikeli atık bertaraf tesislerinin yerini ve tesislere olan atık taşımalarının rotalarını belirlemektedir.

Genel LRP'de araç, turunu tamamladıktan sonra tesise geri dönmektedir. Berger (1997), bu yönüyle genel LRP'den ayrılan bir çalışma yaparak tesise geri dönme kısıtını modele dahil etmemiştir. Modele, DFA ile çözüm üretilmiştir. DSA'nın her düğümünde sütun üretme yöntemi kullanılmıştır. Fiyatlandırma problemi ise kaynak kısıtlı en kısa yol problemi olarak çözülmüştür. Çalışmada 25 tesis yeri ve 150 talep noktasına kadar kesin çözüm bulunarak sayısal sonuçlar paylaşılmıştır.

Belenguer ve ark. (2011), LRP'yi çözmek için DKA önermiştir. Algoritma, yalnızca ikili değişkenler kullanan 0-1 tam sayı modeline dayanmaktadır. Çalışmanın amacı tesis ve araç kapasitelerini dahil ederek, LRP için kesin bir çözüm üretmektir. Yöntem, 20–88 talep noktasına sahip 34 örnek ve 5–10 potansiyel tesis yeri içeren literatürdeki üç örnek kümesi üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, 5 potansiyel tesise sahip 26 örneğin, tamamının en iyi şekilde çözüldüğünü göstermektedir.

Contardo ve ark. (2014), LRP için dal kesme ve sütun üretme algoritmasına dayalı olan DKA ve DFA ile çözüm üretmiştir. Çalışmada 5-10 tesis yeri ve 50 talep noktası için kesin çözüm bulunarak sayısal sonuçlar paylaşılmıştır.

Farham ve ark. (2018), zaman pencereci LRP'yi (location routing problem with time windows-LRPTW) ele almıştır. Problemin amacı, tesis açma, talep noktalarını tesislere atama, araç kullanma ve rotalama maliyetlerinin toplamını en aza indirgeyecek şekilde, izin verilen süreler içinde rotaların belirlenmesidir. Probleme çözüm üretmek amacıyla DFA kullanılmıştır. Fiyatlandırma problemi DP kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar, önerilen çözüm yönteminin küçük ve orta ölçekli problemler için yeterli olduğunu göstermektedir. Büyük ölçekli problemler için sütun üretme yöntemi önerilmiştir.

Utku ve Erol (2020), tehlikeli atık yönetimi problemi üzerinde çalışmıştır. Çalışmanın amacı tehlikeli atık arıtma, geri dönüşüm ve bertaraf tesislerini belirlenen aday konumlara yerleştirmektir. Atıkların, atık üretim merkezleri ve bu tesisler arasında en düşük maliyet ve en yüksek kazanç ile taşınması hedeflenmektedir. Çalışmada gerçek veriler kullanılmıştır. Problemi çözmek amacıyla tek amaçlı, çok ürünlü KTP modeli önerilmiştir. Önerilen model, tesis yerlerinin belirlenmesi ile birlikte, atık tür ve miktarlarını da tespit ederek, ihtiyaç duyulan tesis türlerine karar verilmesini sağlamaktadır.

Literatürde yer alan bu çalışmalar, çözüm yöntemlerine göre Tablo 2.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Literatürde yerleştirme rotalama probleminde kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar

Yazar	Yıl	Çözüm Yöntemi
Laporte ve Nobert	1981	TSP, DSA
Laporte ve ark.	1983	Gomory KDA
Laporte ve ark.	1986	TSP
Zografos ve Samara	1989	KTP
Berger	1997	DFA
Belenguer ve ark.	2011	DKA
Contardo ve ark.	2014	DKA, DFA
Farham ve ark	2018	DFA
Utku ve Erol	2020	KTP

2.1.2.2. Metasezgisel çözüm yöntemleri

Kesin çözüm yöntemlerinin yetersiz kaldığı büyük boyutlu optimizasyon problemlerinde amaç, hızlı ve kolay bir şekilde en iyiye yakın olan çözüme ulaşmaktır. LRP, NP-zor problem sınıfındadır ve problemin geniş bir çözüm uzayı vardır. Metasezgisel yöntemler, bir optimizasyon probleminde çözüm uzayı üzerinde sınırlı tarama yaparak, kabul edilebilir sürede en iyiye yakın çözümler üreten yöntemlerdir (Akyol ve Alataş, 2012).

Literatürdeki çalışmalarda kullanılan metasezgisel çözüm yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- Tabu arama (TA)
- Benzetimli tavlama (BT)
- Genetik algoritma (GA)
- Memetik algoritma (MA)
- Karınca kolonisi algoritması (KKA)
- Değişken komşuluk arama (Variable neighbourhood search, VNS)
- Açgözlü rastgele uyarlanabilir arama prosedürü (Greedy randomized adaptive search GRASP)
- Evrimsel yerel arama (EYA)

Literatürde, büyük boyutlu LRP için metasezgisel çözüm yöntemleri kullanılarak en iyi çözümü elde eden birçok çalışma bulunmaktadır.

Tuzun ve Burke (1999), LRP için iki aşamalı TA algoritması önermiştir. Önerilen iki aşamalı algoritma ile LRP'nin iki alt problemi olan yerleştirme ve rotalama kararının entegre edilmesi ve hesaplama açısından verimli sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. İlk aşamada yerleştirme, ikinci aşamada rotalama problemi için TA algoritması çalıştırılmıştır. Çalışmada 10 ve 20 aday tesis yeri ile 100, 150 ve 200 müşteri için çözüm bulunarak sonuçlar paylaşılmıştır.

Wu ve ark. (2002), MDCLRP üzerinde çalışmıştır. Çalışmada homojen ve heterojen filoya sahip olan araçlar ele alınmıştır. Depo ve araçlar kapasite kısıtına sahiptir ve araç sayısı sınırlıdır. LRP'nin karmaşıklığı problemi daha büyük ölçekte çözmeyi zorlaştırdığından, problem, yerleştirme ve rotalama problemi olmak üzere iki alt probleme bölünmüştür. Her alt problem, BT algoritması ile çözülmüştür. Önerilen algoritma literatürde Perl (1983) ve Hansen (1994) tarafından önerilen test problemleri üzerinde uygulanmış ve algoritmanın çözüm kalitesi ile hesaplama süresi açısından iyi bir performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Albareda-Sambola ve ark. (2005) , yaptıkları çalışmada her tesisten tek bir rota ile dağıtım yapıldığını varsayan CLRP için TA algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritma 30 müşterisi olan bir problem üzerinde uygulanmıştır.

Bouhafs ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada CLRP'yi çözmek için BT ve KKA'ya dayalı iki aşamalı melez bir metasezgisel algoritma önermiştir. İlk aşamada yerleştirme, ikinci aşamada rotalama problemi çözülmüştür. Önerilen algoritma, Barreto'nun (2003a) 11 örnekleli test problemi üzerinde uygulanmıştır. Melez algoritma yayınlanan en iyi 11 çözümün 3'ü ile aynı sonucu bulurken, 8'inde daha iyi sonuç bulmuştur.

Özgönenç (2006), LRPTW'yi ele almıştır. Çalışmada tedarikçilerden tesislere, tesislerden ise talep noktalarına olmak üzere iki seviyeli dağıtım işlemi yapılmaktadır.

Tesislerin kapasite kısıtı yoktur ancak çalışma saatlerinden dolayı zaman kısıtları vardır. Araçlar kapasite kısıtlıdır. Ele alınan problemi çözmek için GA'ya dayalı sezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma bir grup test problemi üzerine uygulanmış ve yayınlanan çözümlere göre yeterince iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Prins ve ark. (2006), CLRP için MA ile çözüm önerisinde bulunmuştur. Önerilen algoritma 200'e kadar müşterisi olan üç problem setine uygulanmış ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Prins ve ark. (2007), CLRP'yi çözmek için TA ve Lagrange gevşetme yöntemine dayalı metasezgisel bir algoritma önermiştir. Algoritmanın temeli, yerleştirme ve rotalama aşamaları arasında bilgi alışverişine dayanmaktadır. Önerilen algoritma 200'e kadar müşterisi olan üç problem setine uygulanmış ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Yıldız (2008), hastalığı veya yaş sebebiyle evde olan ihtiyaç sahiplerine gönüllü olarak verilen hizmet için LRP'ye çözüm aramıştır. Problemin çözümü için GA önerilmiştir. Önerilen algoritma hem literatürde yer alan test problemleri hem de gerçek veriler üzerinde uygulanmıştır.

Akpınar (2009), LRP'yi yerleştirme ve rotalama olmak üzere iki alt problemde ele almıştır. Probleme GA kullanarak iki aşamada çözüm üretmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında aday tesis yerleri, ikinci aşamasında ise rotaları belirlenmiştir. Problemin çözümü için önerilen algoritma literatürde bilinen test problemleri üzerinde uygulanmış ve algoritmanın yeterince iyi sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir.

Yu ve ark. (2010) CLRP için BT tabanlı algoritma önermiştir. Önerilen algoritma Barreto (2004), Prins ve ark. (2004) ve Tuzun ve Burke (1999) test problemlerine uygulanmıştır. Sonuçlar algoritmanın çözüm kalitesi ve hesaplama süresi açısından iyi bir performans sergilediğini göstermektedir.

Duhamel ve ark. (2010), CLRP için GRASP ile çözüm önerisinde bulunmuştur. Önerilen algoritma Barreto (2004) ve Prodhon (2004) test problemlerine uygulanmış ve daha önce yayınlanan yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ting ve Chen (2013), CLRP'yi çözmek için çoklu KKA geliştirmiştir. Problem yerleştirme ve çok depolu araç rotalama problemi olmak üzere iki alt problem olarak ele alınmıştır. Problemin çözümü ile ilk aşamada açılacak depo yerleri belirlenmiş, ikinci aşamada ise müşteriler açılan depo yerlerine atanmış ve rotaları çizilmiştir. Geliştirilen algoritma Perl (1983), Tuzun ve Burke (1999), Prins (2004) ve Barreto (2004) veri setlerine uygulanmıştır. Algoritmanın, yayınlanan sonuçlara göre çok sayıda iyi çözüm elde edebildiği gözlenmiştir.

Escobar ve ark. (2014), CLRP'nin çözümü için VNS ve TA algoritması tabanlı melez bir metasezgisel algoritma önermiştir. Önerilen algoritma literatürdeki test problemleri üzerinde uygulanmıştır. Sonuçlar, melez algoritmanın, çözüm kalitesi ve çalışma süresi açısından, iki sezgisel yaklaşımı birleştiren başarılı bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Yaşar (2017), bir gıda firmasındaki LRP'yi çözmek için iki aşamalı çözüm önerisinde bulunmuştur. Probleme gerçek veriler kullanılmıştır. Çalışmanın amacı en az maliyetle müşterilere hizmet verecek depo yerlerini tespit etmek, müşterileri belirlenen depo yerlerine atamak ve her depo için araç rotalarını belirlemektir. Çalışmanın birinci aşamasında matematiksel model ile 7 potansiyel depo yerinden hangilerinin açılacağı ve depoların hangi müşterilere hizmet vereceği belirlenmiştir. İkinci aşamada ise her depo için kapasite kısıtlı ARP (KKARP) BT ile çözülmüştür.

Ferdi ve Layeb (2018), CLRP'nin çözümü için GRASP önermiştir. Bu prosedür iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada başlangıç çözümü oluşturulur, ikinci aşamada ise YA kullanılarak çözüm iyileştirilir. Önerilen algoritmanın performansını değerlendirmek için literatürde iyi bilinen üç test problemi üzerinde uygulama yapılmıştır. Bu test problemlerinin ilki Prins ve ark. (2006b), ikincisi Barreto (2004), üçüncüsü ise Tuzun ve Burke (1999) test problemidir. Uygulama sonucunda

algoritmanın 100'den az müşteri içeren tüm durumlarda çok iyi çözümler bulduğu gözlenmiştir.

Pekel (2018), CLRP'nin çözümü için VNS ve EYA tabanlı melez bir metasezgisel algoritma önermiştir. Önerilen melez algoritma literatürde bulunan üç test problemi üzerinde uygulanmıştır. Bu test problemleri sırasıyla Tuzun ve Burke (1999), Prins ve ark. (2006b) ve Barreto (2004) tarafından önerilmiştir. Uygulama sonucunda algoritmanın yeterince iyi sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Algoritma aynı zamanda farklı örnek olaylar üzerinde de uygulanmıştır. İlk örnek olayda talep belirsizliği altında CLRP için VNS ile çözüm aranmıştır. Gelecek dönem talep tahmini yapay sinir ağları ve GA ile yapılmıştır. İkinci örnek olayda ise CLRP'ye zaman penceresi kısıtı da eklenmiştir.

Oudouar ve ark. (2019), CLRP için iki seviyeli çözüm önerisinde bulunmuştur. İlk seviyede tesis yerlerini bulmak ve talep noktalarını tesislere atamak için kendi kendini organize eden harita (self organizing map-SOM) kullanılmıştır. İkinci seviyede süpürme algoritması kullanılarak her tesis yeri için KKARP çözülmüştür. Önerilen algoritma Tuzun ve Burke (1999) test problemi üzerinde uygulanmıştır.

Yu ve ark. (2020), atık toplama uygulamalarını temel alarak genel bir iki aşamalı çok amaçlı LRP (multi objective location routing problem-MOLRP) modeli geliştirmiştir. Modelin çözümü için, yönlendirilmiş YA ve baskın olmayan bir sıralama GA önerilmiştir. Algoritmanın etkinliğini doğrulamak için 250 müşteriye kadar farklı ölçeklere sahip örnek üretilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Pitakaso ve ark. (2020), yeşil LRP (green location routing problem-GLRP) için VNS algoritması ile iki aşamalı bir çözüm önerisinde bulunmuştur. Her iki aşamada da amaç, mesafe ve yol koşullarına bağlı olarak toplam yakıt tüketimini en aza indirmektir. Problemden, bir müşteriye birden fazla hizmet verilebildiği varsayılmıştır. Problem, 116 tarım alanı ve 7 faktör kullanılarak çözülmüştür.

Oudouar ve ark. (2020), CLRP için iki aşamalı çözüm önerisinde bulunmuştur. İlk aşamada tesis yerlerini bulmak ve talep noktalarını tesislere atamak için SOM kullanılmıştır. İkinci aşamada Clarke ve Wright kullanılarak her tesis yeri için kapasite kısıtlı araç rotalama problemi çözülmüştür. Elde edilen çözüm Or-Opt yöntemi ile iyileştirilmiştir. Algoritma Tuzun ve Burke (1999), Prins ve ark. (2006b) ve Barreto (2004) tarafından önerilen test problemleri üzerinde uygulanmış ve algoritmanın büyük boyutlu problemleri çözmedeki etkinliği gösterilmiştir.

Literatürde yer alan bu çalışmalar, çözüm yöntemlerine göre Tablo 2.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Literatürde yerleştirme rotalama probleminde metasezgisel çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar

Yazar	Yıl	Problem Tipi	Algoritma	Problem Boyutu
Tuzun Ve Burke	1999	Genel LRP	TA	100-200 müşteri
Wu ve ark.	2002	MDCLRP	BT	Test problemleri
Albareda-Sambola	2005	CLRP	TA	30 müşteri
Bouhafs ve ark.	2006	CLRP	BT, KKA	Test problemleri
Özgönenç	2006	LRPTW	GA	Test problemleri
Prins ve ark.	2006a	CLRP	MA	Test problemleri
Prins ve ark.	2007	CLRP	TA, Lagrange gevşetme	Test problemleri
Yıldız	2008	CLRP	GA	Test problemleri
Akpınar	2009	Genel LRP	GA	Test problemleri
Yu ve ark.	2010	Genel LRP	BT	Test problemleri
Duhamel ve ark.	2010	CLRP	GRASP	Test problemleri
Thing ve Chen	2013	CLRP	KKA	Test problemleri
Escobar	2014	CLRP	VNS, TA	Test problemleri
Yaşar	2017	Genel LRP	BT	77 müşteri, 7 depo
Ferdi ve Layeb	2018	CLRP	GRASP	Test problemleri
Pekel	2018	CLRP	VNS, EYA	Test problemleri
Oudouar ve ark.	2019	CLRP	SOM, Süpürme algoritması	Test problemleri
Yu ve ark.	2020	MOLRP	YA, GA	250 müşteri
Pitakasu ve ark.	2020	GLRP	VNS	116 alan, 7 faktör
Oudouar ve ark.	2020	CLRP	SOM, Clarke ve Wright	Test problemleri

Esasında LRP, yerleştirme ve rotalama probleminin eş zamanlı olarak çözülmesi gerektiği bütünleşik bir problemidir. Her iki problem de NP-zor problemlerdir, dolayısıyla LRP de NP-zor problem sınıfına dahil olmaktadır. LRP'nin karmaşıklığı büyük boyutlu problemlerin çözümünü daha da zorlaştırmaktadır. Literatür incelendiğinde, LRP'nin genellikle yerleştirme ve rotalama olmak üzere iki alt probleme bölüldüğü ve bu iki problemin de genellikle kademeli veya kümeleme temelli yöntemlere dayanarak çözüldüğü gözlenmiştir. Kademeli yöntemlere göre LRP, tesis yerlerinin belirlenmesi, talep noktalarının tesis yerlerine atanması ve her tesis yeri için rotalama probleminin çözülmesi adımlarına göre çözülmektedir. Kümeleme temelli yöntemlere göre ise LRP, talep noktalarının kümelenmesi, her küme için tesis yerinin belirlenmesi ve her küme için rotalama probleminin çözülmesi adımlarına göre çözülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda problemin eş zamanlı ele alınarak çözülmeyişi, bu tezin motivasyon kaynağı olmuştur. Bu çalışmada, literatürdeki birçok çalışmadan farklı olarak, yerleştirme ve rotalama problemi eş zamanlı değerlendirilerek büyük boyutlu LRP için çözüm sunan melez bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışma bu yönüyle hem literatürdeki çalışmalardan önemli derecede farklılık göstermekte hem de eş zamanlı ele alınmasıyla LRP literatürüne katkı sağlamaktadır.

BÖLÜM 3. KAPASİTE KISITLI YERLEŞTİRME ROTALAMA PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Bu bölümde ele alınan CLRP'nin matematiksel modeline yer verilmiştir. Modele yeni bir amaç fonksiyonu eklenerek, literatürdeki farklı yeni bir matematiksel model sunulmuştur. Problemin amacı bir kilometrede karşılanan talebi en çok yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan matematiksel modelin problem tanımı ile matematiksel model oluşturulurken kullanılan varsayımlar, veri setleri, parametreler ve değişkenler aşağıda anlatılmıştır.

3.1. Problemin Tanımı

CLRP'nin matematiksel modelinin çözülmesi ile birlikte, aday depo yerleri arasında hangi depoların açılacağı, hangi talep noktasının hangi depodan hizmet alacağı ve araç rotaları belirlenmektedir. Aday depo ve talep noktalarının yerleri, talep verileri, araç ve depo kapasiteleri bilinmektedir.

3.2. Varsayımlar

CLRP'nin matematiksel modelinde temel alınan varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- Problem kademeli olarak tek seviyelidir.
- Amaç fonksiyonu, bir kilometrede karşılanan talep miktarının en çok yapılması olarak belirlenmiştir.
- Tüm talep noktaları ziyaret edilmek zorundadır.
- Talep yapısı deterministiktir.
- Açılacak depo sayısında kısıtlama yoktur.
- Depo kapasitesi bilinmektedir.
- Araç kapasitesi bilinmektedir.
- Her aracın rotası depoda başlayıp, depoda son bulmalıdır.

- Bir talep noktasına yalnızca bir depodan hizmet verilmelidir.

3.3. Matematiksel Model

CLRP'nin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (Akpınar, 2009; Yaşar, 2020). Matematiksel model oluşturulurken kullanılan veri setleri, parametreler ve değişkenler aşağıda verilmiştir.

Veri setleri:

I: Talep noktası setleri

J: Depo setleri

P: Tüm setler (I∪J)

Parametreler:

c_{ij} = i noktasından j noktasına olan uzaklık $i \in P, j \in P$

d_i = i noktasının talebi, $i \in I$

w_j = j. deponun kapasitesi, $j \in J$

r_k = k. aracın kapasitesi $k \in K$

Değişkenler:

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

$$z_{ijk} = \begin{cases} 1, i. talep noktasından j. talep noktasına k aracı ile gidilirse, i, j \in P \\ 0, diğer \end{cases} \quad (3.2)$$

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

Matematiksel Model:

$$\text{En}\check{\text{c}}\text{ok}(\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} d_i y_{ij}) / (\sum_{k \in K} (\sum_{j \in P} \sum_{i \in P} c_{ij} z_{ijk})) \quad (3.4)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(3.4) Amaç fonksiyonu, bir kilometrede karşılanan talep miktarının en çok yapılması olarak belirlenmiştir.

(3.5) numaralı denklem, her talep noktasının yalnızca bir araç tarafından hizmet alabileceğini gösteren kısıta karşılık gelmektedir.

(3.6) numaralı denklem, her araç rotasının kapasite kısıtı dikkate alınarak çizilmesi gerektiği kısıtına karşılık gelmektedir.

(3.7) numaralı denklem, bir araç rotasının oluşturulabilmesi için geldiği bir noktadan ayrılması gerektiği kısıtına karşılık gelmektedir.

(3.8) numaralı denklem, bir araç rotasının yalnızca bir depodan geçmesi gerektiği kısıtına karşılık gelmektedir.

(3.9) numaralı denklem, bir araç rotasının yalnızca talep noktalarından oluşamayacağı ve her rotanın bir depodan geçmesi gerektiği kısıtına karşılık gelmektedir.

(3.10) numaralı denklem, bir araç hem i . talep noktasından hem de j . depodan geçiyorsa, i . talep noktasının j . depodan hizmet aldığını gösteren kısıta karşılık gelmektedir.

(3.11) numaralı denklem, bir rotada karşılanan toplam talebin, depo kapasitesini aşmaması gerektiği kısıtına karşılık gelmektedir.

(3.12), (3.13) ve (3.14) numaralı denklemler, x , y ve z değişkenlerinin 0-1 tam sayılı olma kısıtına karşılık gelmektedir.

BÖLÜM 4. ÇALIŞMADA KULLANILAN ALGORİTMALAR

4.1. Karınca Kolonisi Algoritması

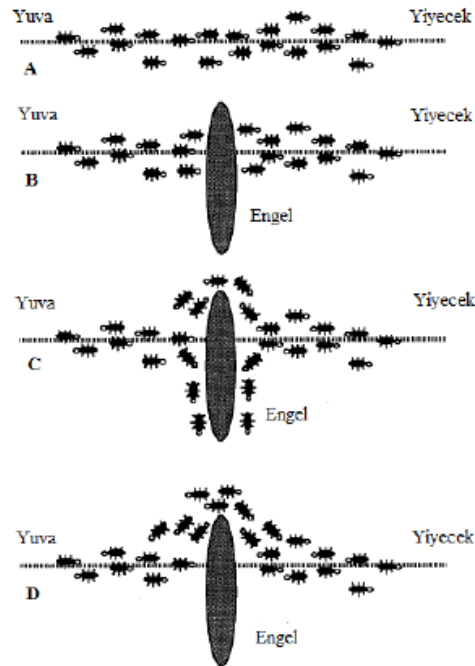
Doğa, aynı çevrede yaşayan ve birbiriyle etkileşim halinde olan bireylerin meydana getirdiği topluluklardan oluşmaktadır. Tek başına kısıtlı yeteneğe sahip olan bireyler, birlikte hareket ettiklerinde kolektif davranışlar sergilemektedir (Yılmaz, 2008). Topluluktaki bir bireyin deneyimlediği davranış, diğer birey için bilgi anlamı taşımaktadır. Birbirleriyle iletişim halinde olan bireyler, bu bilgileri karşılaşılan sorunların çözümünde kullanırlar. Doğadaki bireylerin topluluk içerisinde sergilediği bu davranışlardan yola çıkarak gerçek hayat problemlerine çözüm üretmek amacıyla popülasyon tabanlı optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir (Akyol ve Alataş, 2012). KKA, NP-zor optimizasyon problemlerine çözüm bulmak amacıyla gerçek karıncaların doğadaki kolektif davranışlarından esinlenip, yapay karıncalar kullanılarak geliştirilen, popülasyon tabanlı meta sezgisel bir algoritmadır.

4.1.1. Gerçek karıncalar

Gerçek karıncalar, yuvaları ve yiyecek kaynakları arasındaki en kısa yolu bulma ve çevredeki değişime uyum sağlama yetisine sahiptir (Goss vd., 1989; Dalkılıç ve Türkmen, 2003). Karıncalar geçtikleri her yola feromon adlı bir koku salgılamaktadır. Feromon, karıncaların haberleşmesini sağlayan kimyasal bir maddedir. Karıncaların görme yetenekleri yok denecek kadar azdır ancak baş kısmındaki antenler sayesinde koku alabilirler. Böylelikle yol tercihlerini feromon kokusunu takip ederek yaparlar. Feromonun yoğun olduğu yolun karınca tarafından tercih edilme olasılığı daha yüksektir. Kısa yol üzerinde daha fazla geçiş olacağından, biriken feromon miktarı da fazla olmaktadır. Biriken feromon, hem karıncaların dönüş yolunu bulmasına hem de yuvadaki karıncaların bulunan yiyecek kaynaklarına gitmesine yardımcı olmaktadır.

Karıncaların davranışları ilk olarak Dorigo ve Gambardella'nın 1996 yılında tasarladığı deney düzeneği ile gözlenmiştir. Karıncaların yollarına engeller konularak sergiledikleri davranışlar yorumlanmıştır. Tasarlanan deney düzeneği Şekil 4.1.'de gösterilmekte ve gözlem sonuçları aşağıda aktarılmaktadır (Ercan, 2014).

- Şekil 4.1.A'da yol üzerinde engel bulunmamaktadır. Karıncalar düz bir yolda ilerlemektedirler. Karıncaların yuvalarından yiyecek kaynağına giderken salgıladıkları feromon sayesinde, diğer karıncaların yiyecek kaynağına tek bir hat üzerinden ulaşabildiği gözlenmiştir.
- Şekil 4.1.B'de yol üzerine konulan engel sebebiyle karıncaların feromonu takip edemedikleri gözlenmiştir.
- Şekil 4.1.C'de feromonu takip edemeyen karıncaların iki yol arasından rastgele seçim yaptığı gözlenmiştir. Karıncaların her iki yolu da tercih etme olasılıkları eşittir ancak bir süre sonra rastgele kısa yolu tercih eden karıncalar sayesinde kısa yol üzerinde feromon yoğunluğu artacaktır.
- Şekil 4.1.D'de kısa yol üzerinde biriken feromon daha fazla olduğu için diğer tüm karıncaların kısa yolu tercih ederek besin kaynağına ulaştığı gözlenmiştir (Dorigo ve Gambardella, 1997).



Şekil 4.1. Gerçek karıncaların en kısa yolu bulması (Ercan,2014)

4.1.2. Yapay karıncalar

Gerçek problemlere daha iyi çözüm üretmek amacıyla, gerçek karıncaların yol seçim özelliklerinin bazıları aynen alınırken, bazı özellikler de ilave edilmiştir. Gerçek karıncaların özelliklerine yapılan ilavelerle yapay karıncalar elde edilmiştir. Gerçek karıncalardan aynen alınan özellikler aşağıdaki gibidir (Yılmaz, 2008):

- Feromon aracılığıyla karıncalar arasında iletişim kurulması,
- Feromon miktarının fazla olduğu yolun öncelikli olarak tercih edilmesi,
- Feromon miktarının kısa yol üzerinde daha hızlı artması.

Problemlere daha iyi çözüm üretmek amacıyla ilave edilen özellikler aşağıdaki gibidir (Ekin ve Yakhno, 2001) :

- Yapay karıncalar zamanın kesikli olduğu ortamda yaşarlar.
- Yapay karıncaların görme yetenekleri vardır, problemle ilgili ayrıntılara ulaşabilirler.
- Yapay karıncalar, problemin çözümü için oluşturdukları bilgileri hafızalarında tutabilirler.

Gerçek ve yapay karıncaların ortak amacı yuvaları ve yiyecek kaynakları arasındaki en kısa yolu bulmak ve yüksek kaliteli çözümler elde etmektir. Bulunan çözümün kalitesi, biriken feromon miktarıyla doğru orantılıdır. Yapay karıncalar, probleme çözüm üretildikten sonra feromon güncellemesi yaptığı için, feromonların yayılma hızı da probleme göre değişkenlik göstermektedir. Yapay karıncalar bu yönleriyle gerçek karıncalardan ayrılmaktadır. Probleme daha iyi çözüm üretebilmek amacıyla KKA ileriye görme, lokal arama, geri izleme gibi, gerçek karıncalarda olmayan özellikler ile geliştirilebilmektedir (Kuşçu, 2009).

KKA, biriken feromon miktarının tekrarlı olarak güncelleştirilmesi işlemine dayanmaktadır. Algoritmanın temel adımları; karıncaların turlarını tamamlaması, her karıncanın geçtiği yol üzerindeki feromon miktarının artırılması, feromonların belirli bir oranda buharlaştırılması, en iyi çözümün bulunması, en iyi çözüm üzerinde global

feromon güncellemesi yapılması ve tekrarlayan her adımda karıncaların yol seçimlerini, güncellenen feromon miktarlarına göre yapması şeklindedir (Akşehir, 2019). Yol seçiminde etkili olan bu kurala geçiş kuralı adı verilmektedir.

4.1.3. Geçiş kuralı

KKA'da yol seçimi iki alternatifte göre yapılmaktadır. İlk alternatif, q_0 olasılıkla, gidilecek yollar arasında hesaplanan feromon miktarı en fazla olanın seçilmesidir. q_0 değeri genellikle 0,9 olarak belirlenmektedir. i noktasında bulunan k karıncası, gideceği j noktasını, u adet alternatif arasından Denklem 4.1'deki birinci geçiş kuralına göre seçmektedir(Söyler ve Keskinürk, 2007).

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

Denklem 4.1'de $\tau(i, u)$ i ile u noktası arasındaki feromon miktarını, $\eta(i, u)$, i noktasından u noktasına olan mesafenin tersini ve $j_k(i)$ ise k karıncasının uğramadığı noktaları göstermektedir. α noktalar arasındaki feromon miktarının önem derecesini, β noktalar arasındaki mesafenin önem derecesini temsil etmektedir. Her ikisi de değiştirilebilir parametrelerdir. q , $[0,1]$ aralığında rassal bir değişkendir.

İkinci alternatif ise $q \geq q_0$ olması durumunda Denklem 4.2'de verilen ikinci geçiş kuralına göre uygulanmaktadır. Bu kural ile gidilecek yolların seçilme olasılığı hesaplanmaktadır. Dolayısıyla feromon miktarı ne kadar fazlaysa, karıncanın o yolu seçme olasılığı da o kadar fazla olmaktadır.

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

4.1.4. Feromon güncellemesi

Tüm karıncaların turlarını tamamlamasının ardından feromon miktarları güncellenmektedir. Başlangıçta, tüm yollardaki feromonlar belirlenen oranda

buharlaştırılmaktadır. Daha sonra karıncaların geçmiş olduğu yollar üzerindeki feromon miktarları, o yolu kullanan karıncanın kat ettiği toplam mesafe ile ters orantılı olacak şekilde arttırılmaktadır. Bir süre sonra kısa yol üzerinde biriken feromon miktarı diğer yollara göre daha fazla olmaktadır (Stützle ve Hoss, 2000).

Feromon güncellemesi lokal ve global olmak üzere iki çeşittir.

4.1.4.1. Lokal feromon güncellemesi

Lokal feromon güncellemesi alternatif çözüm yollarını kapamamak ve arkadan gelen karıncaların farklı yollara yönelmesini sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Tüm karıncalar turlarını tamamladıktan sonra mevcut feromon miktarı belirlenen oranda buharlaştırılmakta, ardından her karıncanın turunu tamamlarken geçtiği yollar üzerindeki feromon miktarı Denklem 4.3 ve 4.4'e göre arttırılmaktadır (Solnon,2007).

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

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

Denklem 4.3 ve 4.4'te verilen ρ , $0 \leq \rho \leq 1$ parametresi buharlaşma oranına, $\tau_{ij}(t)$, t iterasyonuna kadar biriken feromon miktarına, $L^k(t + 1)$ ise k karıncasının toplam tur uzunluğuna karşılık gelmektedir.

4.1.4.2. Global feromon güncellemesi

Global feromon güncellemesi tüm karıncalar turlarını tamamladıktan sonra, en iyi tur üzerindeki kenarlara feromon eklenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Tüm karıncaların toplam tur uzunluğu hesaplanarak, en kısa yolu kullanan karınca belirlenmekte ve bu karıncaya göre güncelleme işlemi yapılmaktadır. Global feromon güncellemesi Denklem 4.5 ve 4.6'ya göre yapılmaktadır.

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

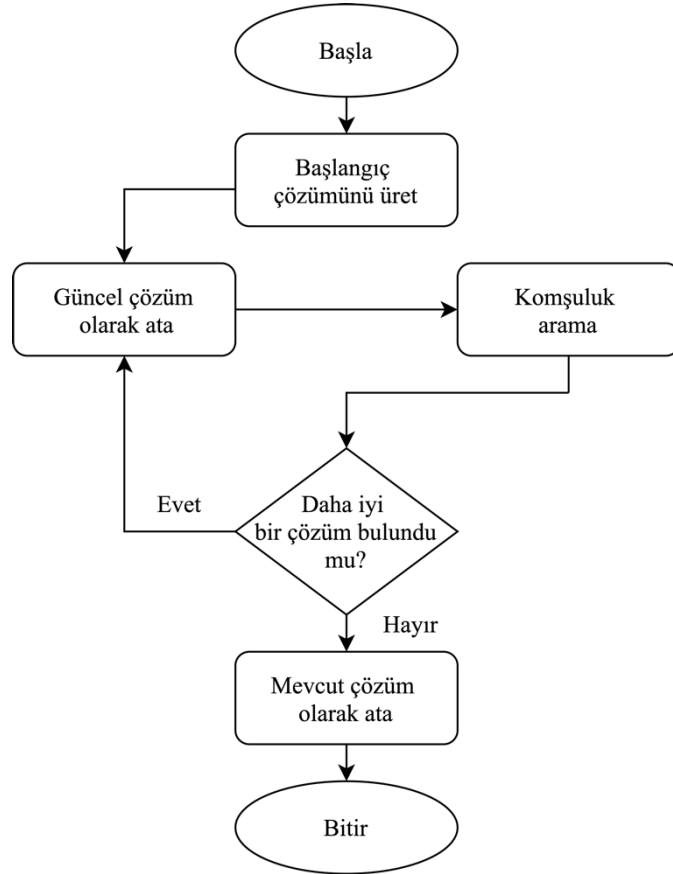
$$\Delta\tau_{ij}(t + 1) = \begin{cases} \frac{1}{L_{\text{best}}(t+1)}, & (i, j) \text{ en iyi tura aitse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.6)$$

$L_{\text{best}}(t + 1)$, her iterasyondaki en iyi turun toplam uzunluğuna karşılık gelmektedir (Kesintürk ve Söyler, 2006).

Bu çalışmada CLRP'ye daha iyi bir çözüm üretebilmek amacıyla KKA ile YA algoritmaları birlikte çalıştırılmaktadır. YA algoritması ile ilgili detaylar aşağıda aktarılmıştır.

4.2. Yerel Arama Algoritması

YA, NP-zor optimizasyon problemlerine hızlı ve iyi çözüm üretmek amacıyla kullanılan sezgisel bir algoritmadır. Algoritma, arama alanı ve problemin amacına göre farklı şekillerde tasarlanabilir ancak genel akış tüm arama algoritmaları için benzerdir. YA, algoritmanın yapısına göre başlangıç çözümünün üretilmesiyle başlar ve tanımlanan komşuluk ilişkisine göre yeni çözümler elde edilir. Bu döngü, en iyi olarak kabul edilen bir çözüm bulununcaya veya belirli bir iterasyon sayısı kadar devam eder. YA'nın genel yapısı Şekil 4.2.'deki akış diyagramında gösterilmektedir (Saka, 2013).



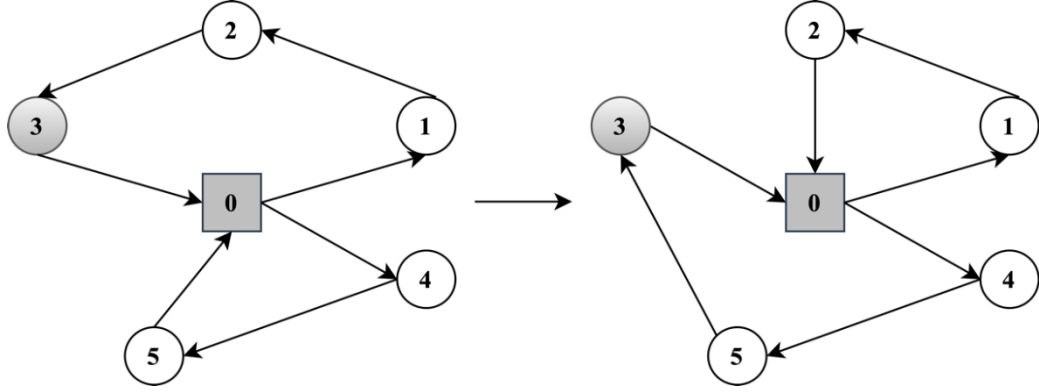
Şekil 4.2. Yerel arama algoritması akış diyagramı (Saka,2013)

4.2.1. Komşuluk yapısı

YA sezgiselinde, çözümün hızını ve kalitesini belirleyen temel etmen komşuluk yapısıdır. Daha geniş komşuluk yapıları daha kaliteli çözümlere, daha dar komşuluk yapıları ise daha hızlı bir şekilde çözüme ulaşmayı sağlamaktadır. YA'da komşuluk yapısı nokta veya yay değişim hareketleri ile oluşturulmaktadır (Gendrau ve Tarantilis, 2010). Bu hareketler ile ilgili bilgiler aşağıda aktarılmıştır.

4.2.1.1. Rotalar arası yer değiştirme

Rotalar arası yer değiştirme hareketi, herhangi bir rotadaki noktanın mevcut yerinden çıkartılarak farklı bir rotaya eklenmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Saka, 2013). Her nokta için olası tüm konumlar değerlendirilerek ekleme işlemi yapılmaktadır. Bu hareket Şekil 4.3.'te gösterilmektedir.

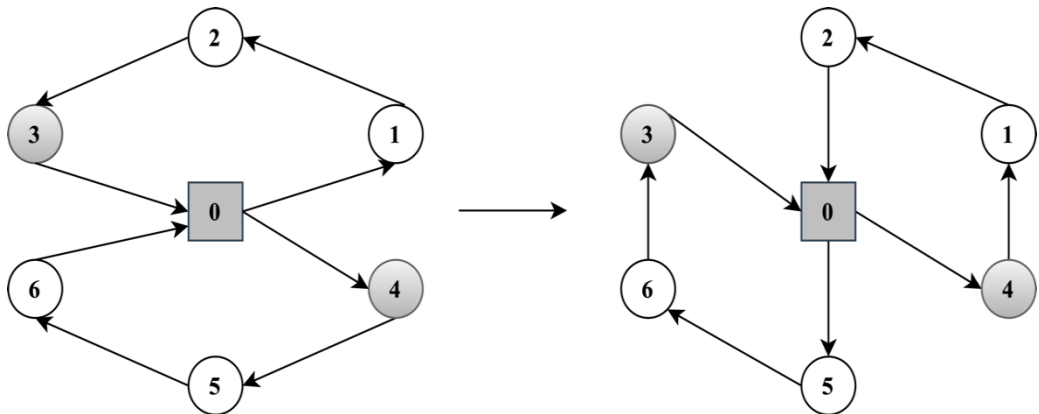


Şekil 4.3. Rotalar arası değiştirme hareketi (Saka,2013)

Şekil 4.3.' te 3 numaralı nokta 0-1-2-3-0 rotasından çıkarılarak, 0-4-5-3-0 rotasına eklenmiştir. Bu hareketin yapılabilmesi için araç kapasitesinin yeterli olması gerekmektedir. Rotalar arası yer değiştirme hareketi, farklı depolara ait rotalar arasında da yapılabilir. Bu hareketin yapılması ise depo ve araç kapasitesinin yeterli olması durumunda mümkündür.

4.2.1.2. Değiştirme

Herhangi bir rotadaki nokta ile ikinci bir rotadaki noktanın yer değiştirmesidir ancak noktalar birbirinin yerine geçmek zorunda değildir (Saka, 2013). Her nokta, yeni rotasındaki tüm olası konumlar değerlendirilerek yerleştirilir. Bu hareket Şekil 4.4.'te gösterilmektedir.

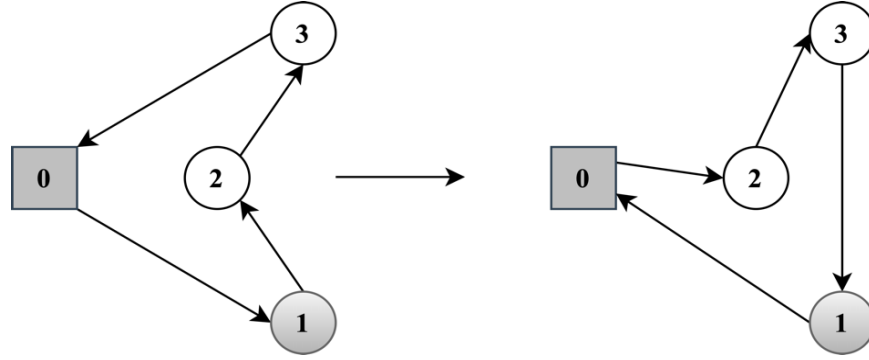


Şekil 4.4. Değiştirme hareketi (Saka, 2013)

Şekil 4.4.'te de görüldüğü gibi farklı rotalarda yer alan 3 ve 4 numaralı noktalar yer değiştirmiştir. Bu değişimin yapılabilmesi için her iki araçta da yeterli kapasitenin olması gerekmektedir. Değişirme işlemi depo kapasitelerinin yeterli olması durumunda farklı depolara ait noktalar arasında da yapılabilir.

4.2.1.3. Rota içi yer değiştirme

Rota içi yer değiştirme hareketi, herhangi rotadaki bir noktanın, aynı rota içinde mevcut yerinin değiştirilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Saka, 2013). Bu hareket Şekil 4.5.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Rota içi yer değiştirme hareketi (Saka, 2013)

4.3. Problemin Çözümü İçin Geliştirilen Melez Algoritma

Bu çalışmada, CLRP'yi çözmek amacıyla, yukarıda anlatılan KKA ve YA algoritmaları kullanılarak melez bir algoritma geliştirilmiştir. CLRP'de, depo ve araç kapasiteleri dikkate alınarak yerleştirme ve rotalama problemi aynı anda çözülmektedir. Hem yerleştirme hem de rotalama problemi NP-zor problemler olduğundan CLRP de çözülmesi güç NP-zor problem sınıfına dahil olmaktadır. Bu anlamda CLRP yeterince karmaşık bir problemdir. Problemin boyutu büyüdükçe, karmaşıklığı artarak çözümü daha da zorlaşmaktadır.

Bu tez çalışmasında ele alınan problem büyük boyutlu bir problemdir. Problemin çözülmesi ile eş zamanlı olarak toplam talebi karşılayacak kadar depo yeri belirlenmiş, kalan talep noktaları depolara atanmış ve her deponun araç rotaları elde edilmiş olacaktır. Açılacak depo sayısı belli değildir. Aday depo sayısı potansiyel depo yerleri

ile sınırlandırılmamıştır, gidilmeyen tüm talep noktaları depo olmaya adaydır. Her talep noktası sırasıyla depo olarak ele alınır. Depo ve araç kapasiteleri dikkate alınarak her aday depo için KKA ile araç rotaları çizilerek en iyi çözüm bulunur. Problemin amaç fonksiyonuna göre en iyi çözüm, bir kilometrede karşılanan talep miktarı en fazla olan çözümdür. Potansiyel depo yerlerinin ve depo sayısının belirsiz olması, araç rotalarına göre amaç fonksiyonunu sağlayan, toplam talebi karşılayacak kadar depo yerinin belirlenmesi, problemin eş zamanlı olarak çözüldüğünü göstermektedir. KKA, yapısı gereğince belirlenen iterasyon sayısı kadar çalışan ve her iterasyonda belirlenen karınca sayısı kadar çözüm üreten bir algoritmadır. Dolayısıyla bu çalışmada bir depo yeri seçimi için gidilmeyen talep noktası, iterasyon sayısı ve karınca sayısının çarpımı kadar çözüm üretilmektedir. Bu da problemin neden büyük boyutlu olduğunu açıklamaktadır. KKA ile araç rotaları ve depo yerleri eş zamanlı olarak belirlendikten sonra, probleme daha iyi bir çözüm üretmek amacıyla en iyi çözüm üzerinde KKA ile YA algoritmaları birlikte çalışır. En iyi çözüm, YA için başlangıç çözümü olarak kabul edilir ve tanımlanan komşuluk ilişkilerine göre yeni çözümler elde edilir. Ele alınan çalışmada tanımlanan komşuluk ilişkisi, aynı ve farklı depoya ait rotalarda yer alan talep noktalarının yer değiştirme hareketidir. Yapılan yer değişiklikleriyle depo yerlerinin hizmet vereceği yeni talep noktaları belirlenmekte ve depolardan talep noktalarına hizmet verecek yeni araç rotaları KKA ile elde edilmektedir.

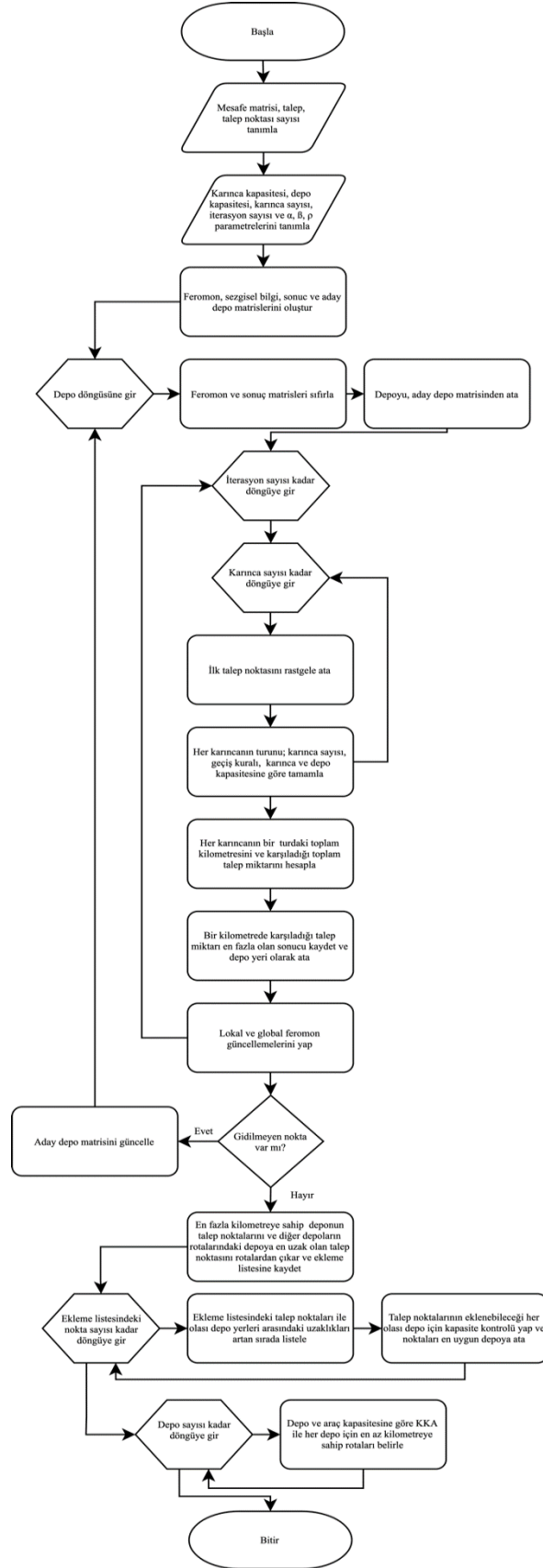
Aslında LRP, yerleştirme ve rotalama probleminin eş zamanlı olarak çözülmesi gerektiği bütünleşik bir problem tipidir ancak literatürdeki çalışmalara bakıldığında LRP'nin genellikle yerleştirme ve rotalama olmak üzere iki alt probleme bölünerek çözüldüğü gözlenmiştir. Bu iki problemin çözümü için kademeli veya kümeleme temelli yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmada, yerleştirme ve rotalama problemi eş zamanlı değerlendirilerek büyük boyutlu LRP için çözüm sunan melez bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışma bu yönüyle hem literatürdeki birçok çalışmadan farkını ortaya koymakta ve hem de eş zamanlı ele alınarak LRP literatürüne katkıda bulunmaktadır.

Problemin çözümü için geliştirilen melez KKA'nın adımları Tablo 4.1.'de anlatılmıştır.

Tablo 4.1. Geliştirilen melez KKA'nın adımları

Adım	Yapılan İşlemler
1	Sırasıyla her talep noktası depo olarak atanır
2	Depo ve araç kapasitesine göre KKA ile her depo için araç rotaları belirlenir.
3	Her depoya ait rotaların toplam kilometresi ve karşıladığı toplam talep miktarına göre, bir kilometrede karşıladığı talep miktarı hesaplanır.
4	Tüm sonuçlar arasından, bir kilometrede karşıladığı talep miktarı en fazla olan yer depo olarak seçilir
5	Seçilen depo ve depoya ait araç rotalarında yer alan iller aday depo listesinden çıkartılır.
6	Tüm talep noktalarına gidilinceye kadar algoritma adımları tekrar eder.
7	Tüm depo yerleri ve araç rotaları belirlenir.
8	Elde edilen çözüm YA için başlangıç çözümü olarak kabul edilir.
9	YA ile depo yerlerinin hizmet vereceği yeni talep noktaları belirlenir.
10	KKA ile depolardan talep noktalarına hizmet verecek yeni araç rotaları elde edilir.

Geliştirilen melez KKA algoritmasının akış diyagramı Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Geliştirilen melez KKA'nın akış diyagramı

BÖLÜM 5. UYGULAMA

Bu tez çalışmasında giyim, elektronik, ev, gıda, anne-çocuk ürünleri, kozmetik gibi birçok kategoride hizmet veren varsayımsal bir e-ticaret firması için CLRP çözülmüştür.

Firma birden fazla tedarikçi ile çalışmakta ve bu tedarikçilerden ana depolarına ürün temin etmektedir. Temin edilen ürünler, müşteri talepleri doğrultusunda ana depolardan, dağıtım merkezlerine gönderilmektedir. Firma, e-ticaret sektöründe giderek artan talebi karşılamak amacıyla kendi kargo altyapısını oluşturmuş ve dağıtım ağını tüm Türkiye'ye hizmet verecek şekilde genişletmiştir. Firmanın Türkiye'deki her ilde dağıtım merkezi bulunmaktadır.

Firma, müşterilerinin haftalık taleplerini karşılayabilmek için en uygun depo yerlerini ve araç rotalarını eş zamanlı optimize ederek belirlemek istemektedir. Problemin çözülmesiyle, aynı anda, müşteri taleplerini karşılayacak kadar ana depo yeri belirlenmiş, kalan müşteriler depolara tahsis edilmiş ve ana depolardan dağıtım merkezine olan araç rotaları elde edilmiş olacaktır.

Ana depolardan dağıtım merkezine ürün gönderimi haftalık olarak yapılmaktadır. Her ilin haftalık ortalama talebi bilinmektedir. Depolar özdeştir ve her deponun kapasitesi 900 kolidir. Dağıtım işlemi özdeş kamyonetler tarafından sağlanmaktadır. Kamyonetlerin her biri 408 koli taşıma kapasitesine sahiptir. Her kamyonet kapasitesini aşmadan depodan ayrılmakta ve dağıtım merkezlerine müşteri talebi kadar ürün gönderecek şekilde rotasını çizerek depoya geri dönmektedir. Her dağıtım merkezi yalnızca bir depodan hizmet alabilir ve yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilir.

Ele alınan CLRP'yi çözmek için melez KKA önerilmiştir. Melez algoritmada KKA ve YA birlikte çalışmaktadır. Algoritmanın adımları sırasıyla KKA ile eş zamanlı olarak depo yerleri ve araç rotalarının belirlenmesi, elde edilen çözüm üzerinde tanımlanan komşuluk yapısına göre YA algoritması ile depo yerlerinin hizmet vereceği yeni talep noktalarının belirlenmesi, depolardan talep noktalarına hizmet verecek araç rotalarının KKA ile belirlenmesi şeklindedir. Problem için uygun çözümü kabul edilebilir bir süre içinde vermesi ve kesin çözüm yöntemlerinin çözüm üretememesi, KKA'nın tercih sebebi olmuştur. Önerilen algoritma Matlab R2019A'da uygulanmış ve 4.4 GHz frekans, 16 çekirdekli işlemci ve 32 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda çözüm üretmiştir.

Problemin amaç fonksiyonu, bir kilometrede karşılanan talebi maksimum yapacak depo yerlerini belirlemek üzerine kurulmuştur. Böylelikle toplam kilometre de en az yapılmaktadır. Depo açma maliyeti amaç fonksiyonuna dahil edilmemiştir. Gidilmeyen tüm iller depo yeri olmaya adaydır.

Geliştirilen melez algoritmanın yeni depo yerleri ve yeni rotaların belirlenmesindeki etkinliğini göstermek için farklı taleplere göre dört farklı senaryo üretilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Üretilen senaryolar Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Üretilen senaryolar (Depo kapasitesi 900 koli, araç kapasitesi 408 koli)

Senaryo	Toplam Talep Miktarı
1	4926
2	5686
3	6918
4	8550

Literatürde yer alan test problemlerinde, aday depo sayısı sınırlandırılmıştır ve müşteriler belirli küme sayısı ve kümeleme oranında dağılım göstermektedir. Test problemlerinin melez algoritmanın yapısına uygun olmaması sebebiyle bu veriler kullanılamamıştır. Bu nedenle problemin çözümünde kullanılan talep verileri normal dağılıma uygun olarak üretilmiştir. Verilerin normal dağılıma uyduğunu göstermek

amacıyla SPSS Statistics 22.0' da tüm talep verileri üzerinde normallik testi yapılmıştır. Testi yapmak üzere H_0 ve H_1 hipotezleri kurulmuştur.

H_0 : Talep verileri normal dağılıma uymaktadır.

H_1 : Talep verileri normal dağılıma uymamaktadır.

Normallik testinin %95 güven aralığında uygulanmasıyla Tablo 5.2.'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5.2. Normallik testinin sonuçları

Senaryo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig. (P-değeri)	Statistic	df	Sig. (P-değeri)
1	,077	81	,200*	,974	81	,095
2	,079	81	,200*	,980	81	,242
3	,071	81	,200*	,974	81	,101
4	,078	81	,200*	,980	81	,247

Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinin sonuçlarına göre P-değeri $>0,05$ olması sebebiyle H_0 hipotezi kabul edilir. Bu da her senaryoda kullanılan talep verilerinin normal dağılıma uygun olduğunu göstermektedir.

Tabachnick ve Fidell'e (2013) göre, çarpıklık ve basıklık değerlerinin -1,5 ile +1,5 arasında olması da tüm talep verilerinin normal dağılıma uygun olduğunu göstermektedir. Kullanılan verilere ait tüm tanımlamalar Tablo 5.3.'te verilmektedir.

Tablo 5.3. Senaryodaki talep verilerinin istatistiksel sonuçları

	Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3		Senaryo 4	
	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	Std. Hata
Ortalama	60,81	2,60	70,20	2,70	85,41	3,72	105,56	4,05
Ortalama İçin %95 Güven Aralığı Alt Sınır	55,64		64,83		78,01		97,5	
Ortalama İçin %95 Güven Aralığı Üst Sınır	65,99		75,57		92,81		113,61	
%5 Ayıklanmış Ortalama	60,50		69,68		84,95		104,79	

Tablo 5.3. (Devamı)

	Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3		Senaryo 4	
	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	Std. Hata
Medyan	58,00		67,00		82,00		101,00	
Varyans	547,48		590,29		1119,27		1326,48	
Std. Sapma	23,40		24,30		33,46		36,42	
En Küçük	18,00		22,00		25,00		33,00	
En Büyük	126,00		150,00		179,00		225,00	
Açıklık	108,00		128,00		154,00		192,00	
Çeyrekler Açıklığı	39,00		36,50		55,00		55,00	
Çarpıklık	0,19	0,27	0,47	0,27	0,19	0,27	0,47	0,27
Basıklık	-0,63	0,53	0,28	0,53	-0,62	0,53	0,27	0,53

Yapılan denemeler sonucunda en iyi sonucu veren parametre ve değerleri Tablo 5.4.'teki gibi belirlenmiştir.

Tablo 5.4. Parametreler ve değerleri

Parametre	Değer
İterasyon Sayısı	1000
Karınca Sayısı	100
α	1
β	5
ρ	0,01

Birinci senaryoda kullanılan her ilin haftalık ortalama talep miktarı koli bazında Tablo 5.5.'te verilmiştir.

Tablo 5.5. Birinci senaryoda kullanılan talep miktarları (koli)

İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep
Adana	99	Antalya	96	Bitlis	44	Çorum	60
Adıyaman	70	Artvin	35	Bolu	44	Denizli	81
Afyonkarahisar	68	Aydın	85	Burdur	37	Diyarbakır	86
Ağrı	55	Balıkesir	82	Bursa	99	Edirne	58
Amasya	45	Bilecik	34	Çanakkale	56	Elazığ	58
Ankara	101	Bingöl	41	Çankırı	28	Erzincan	29

Tablo 5.5. (Devamı)

İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep
Erzurum	74	Kırşehir	31	Samsun	83	Karaman	35
Eskişehir	81	Kocaeli	85	Siirt	42	Kırıkkale	33
Gaziantep	86	Konya	94	Sinop	28	Batman	65
Giresun	53	Kütahya	67	Sivas	67	Şırnak	67
Gümüşhane	23	Malatya	78	Tekirdağ	79	Bartın	35
Hakkari	43	Manisa	83	Tokat	68	Ardahan	29
Hatay	90	Kahramanmaraş	76	Trabzon	71	Iğdır	35
Isparta	52	Mardin	69	Tunceli	18	Yalova	39
Mersin	83	Muğla	82	Şanlıurfa	92	Karabük	34
İstanbul	126	Muş	48	Uşak	50	Kilis	21
İzmir	98	Nevşehir	42	Van	81	Osmaniye	56
Kars	47	Niğde	56	Yozgat	56	Düzce	52
Kastamonu	53	Ordu	75	Zonguldak	72		
Kayseri	83	Rize	48	Aksaray	57		
Kırklareli	46	Sakarya	76	Bayburt	22		

Problemin Tablo 5.5.'teki talep miktarlarına göre çözülmesiyle birlikte Tablo 5.6.'daki depo yerleri ile rotalar belirlenmiş ve her rotanın toplam kilometresi verilmiştir. Belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Birinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri

Depo No	Depo Yeri	Araç No	Rota	Toplam Km
1	Bilecik	1	Bilecik-Bursa-Balıkesir-Yalova-Kocaeli-Sakarya-Bilecik	662
		2	Bilecik-İstanbul-Tekirdağ-Kırklareli-Edirne-Çanakkale-Bilecik	1142
		3	Bilecik-Eskişehir-Kütahya-Bilecik	273
2	Kilis	1	Kilis-Şanlıurfa-Mardin-Diyarbakır-Adıyaman-Kahramanmaraş-Kilis	987
		2	Kilis-Osmaniye-Adana-Mersin-Niğde-Hatay-Kilis	1058
		3	Kilis-Gaziantep-Kilis	128
3	Kırıkkale	1	Kırıkkale-Yozgat-Çorum-Amasya-Samsun-Sinop-Kastamonu-Çankırı-Kırıkkale	1019
		2	Kırıkkale-Bolu-Düzce-Zonguldak-Bartın-Karabük-Ankara-Kırıkkale	893
		3	Kırıkkale-Nevşehir-Kayseri-Kırşehir-Kırıkkale	532

Tablo 5.6. (Devamı)

Depo No	Depo Yeri	Araç No	Rota	Toplam Km
4	Erzincan	1	Erzincan-Bayburt-Gümüşhane-Trabzon-Giresun-Ordu-Tokat-Sivas-Erzincan	1085
		2	Erzincan-Elazığ-Malatya-Bingöl-Tunceli-Erzincan	880
5	Burdur	1	Burdur-Isparta-Afyonkarahisar-Konya-Aksaray-Karaman-Antalya-Burdur	1297
		2	Burdur-Uşak-Manisa-İzmir-Aydın-Muğla-Burdur	868
		3	Burdur-Denizli-Burdur	300
6	Iğdır	1	Iğdır-Van-Hakkâri-Şırnak-Siirt-Batman-Bitlis-Muş-Iğdır	1401
		2	Iğdır-Kars-Ardahan-Artvin-Rize-Erzurum-Ağrı-Iğdır	1096
Toplam Km				13621



Şekil 5.1. Birinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller

Tablo 5.6.'dan da görüldüğü gibi birinci senaryoya göre, bir kilometrede karşıladığı talep miktarı en fazla olan iller Bilecik, Kilis, Kırıkkale, Erzincan, Burdur ve Iğdır olarak belirlenmiş ve depo yeri olarak seçilmiştir. Birinci, ikinci, üçüncü ve beşinci depodan 3, dördüncü ve altıncı depodan 2 araç yola çıkmış ve tüm dağıtım merkezlerine ürün gönderimi sağlanmıştır. Depolardan yola çıkan araçların turlarını tamamlaması sonucunda toplam 13621 km yol kat edilmiştir.

İkinci senaryoda kullanılan her ilin haftalık ortalama talep miktarı koli bazında Tablo 5.7.'de verilmiştir.

Tablo 5.7. İkinci senaryoda kullanılan talep miktarları(koli)

İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep
Adana	92	Edirne	61	Kütahya	71	Uşak	58
Adıyaman	69	Elazığ	83	Malatya	75	Van	96
Afyonkarahisar	65	Erzincan	51	Manisa	103	Yozgat	66
Ağrı	55	Erzurum	70	Kahramanmaraş	87	Zonguldak	62
Amasya	47	Eskişehir	94	Mardin	82	Aksaray	66
Ankara	92	Gaziantep	89	Muğla	73	Bayburt	32
Antalya	106	Giresun	78	Muş	57	Karaman	47
Artvin	25	Gümüşhane	29	Nevşehir	50	Kırkkale	44
Aydın	97	Hakkari	64	Niğde	48	Batman	72
Balıkesir	81	Hatay	81	Ordu	79	Şırnak	62
Bilecik	55	Isparta	79	Rize	49	Bartın	37
Bingöl	67	Mersin	108	Sakarya	100	Ardahan	40
Bitlis	44	İstanbul	150	Samsun	101	Iğdır	56
Bolu	49	İzmir	117	Siirt	51	Yalova	63
Burdur	52	Kars	64	Sinop	35	Karabük	54
Bursa	116	Kastamonu	61	Sivas	65	Kilis	52
Çanakkale	71	Kayseri	94	Tekirdağ	98	Osmaniye	60
Çankırı	37	Kırklareli	69	Tokat	68	Düzce	68
Çorum	54	Kırşehir	41	Trabzon	85		
Denizli	88	Kocaeli	108	Tunceli	22		
Diyarbakır	89	Konya	105	Şanlıurfa	105		

Problemin Tablo 5.7.'deki talep miktarlarına göre çözülmesiyle birlikte Tablo 5.8.'deki depo yerleri ile rotalar belirlenmiş ve her rotanın toplam kilometresi verilmiştir. Belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller Şekil 5.2.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.8. İkinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri

Depo No	Depo Yeri	Araç No	Rota	Toplam Km
		1	Düzce-Sakarya-Bilecik-Yalova-Kocaeli-Düzce	465
1	Düzce	2	Düzce-Tekirdağ-Kırklareli-Edirne-İstanbul-Düzce	978
		3	Düzce-Zonguldak-Bolu-Düzce	315

Tablo 5.8. (Devamı)

Depo No	Depo Yeri	Araç No	Rota	Toplam Km
		1	Gaziantep-Diyarbakır-Batman-Siirt-Şırnak-Mardin-Gaziantep	1121
2	Gaziantep	2	Gaziantep-Şanlıurfa-Adıyaman-Malatya-Kahramanmaraş-Gaziantep	736
		3	Gaziantep-Osmaniye-Hatay-Kilis-Gaziantep	463
		1	Uşak-Manisa-İzmir-Aydın-Muğla-Uşak	750
3	Uşak	2	Uşak-Balıkesir-Çanakkale-Bursa-Kütahya-Afyonkarahisar-Uşak	1084
		3	Uşak-Denizli-Uşak	300
4	Kırşehir	1	Kırşehir-Aksaray-Nevşehir-Kayseri-Sivas-Yozgat-Kırşehir	796
		2	Kırşehir-Kırıkkale-Çankırı-Ankara-Eskişehir-Kırşehir	983
5	Bingöl	1	Bingöl-Erzurum-Kars-Ardahan-Artvin-Rize-Bayburt-Erzincan-Tunceli-Bingöl	1434
		2	Bingöl-Muş-Bitlis-Van-Hakkâri-Iğdır-Ağrı-Bingöl	1441
		3	Bingöl-Elazığ-Bingöl	288
6	Sinop	1	Sinop-Samsun-Ordu-Giresun-Trabzon-Gümüşhane-Sinop	1096
		2	Sinop-Amasya-Tokat-Çorum-Kastamonu-Karabük-Bartın-Sinop	1316
7	Karaman	1	Karaman-Konya-Isparta-Burdur-Antalya-Karaman	929
		2	Karaman-Mersin-Adana-Niğde-Karaman	687
Toplam Km				15182



Şekil 5.2. İkinci senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller

Tablo 5.8.'den de görüldüğü gibi ikinci senaryoya göre, bir kilometrede karşıladığı talep miktarı en fazla olan iller Düzce, Gaziantep, Uşak, Kırşehir, Bingöl, Sinop ve Karaman olarak belirlenmiş ve depo yeri olarak seçilmiştir. Birinci, ikinci, üçüncü ve

beşinci depodan 3, dördüncü, altıncı ve yedinci depodan 2 araç yola çıkmış ve tüm dağıtım merkezlerine ürün gönderimi sağlanmıştır. Depolardan yola çıkan araçların turlarını tamamlaması sonucunda toplam 15182 km yol kat edilmiştir.

Üçüncü senaryoda kullanılan her ilin haftalık ortalama talep miktarı koli bazında Tablo 5.9.'da verilmiştir.

Tablo 5.9. Üçüncü senaryoda kullanılan talep miktarları(koli)

İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep
Adana	140	Edirne	82	Kütahya	94	Uşak	70
Adıyaman	99	Elazığ	82	Malatya	109	Van	114
Afyonkarahisar	96	Erzincan	40	Manisa	117	Yozgat	78
Ağrı	77	Erzurum	105	Kahramanmaraş	107	Zonguldak	102
Amasya	63	Eskişehir	113	Mardin	97	Aksaray	80
Ankara	143	Gaziantep	122	Muğla	116	Bayburt	30
Antalya	135	Giresun	75	Muş	67	Karaman	48
Artvin	48	Gümüşhane	31	Nevşehir	58	Kırıkkale	45
Aydın	120	Hakkari	60	Niğde	79	Batman	91
Balıkesir	116	Hatay	127	Ordu	106	Şırnak	94
Bilecik	47	Isparta	72	Rize	67	Bartın	49
Bingöl	57	Mersin	118	Sakarya	107	Ardahan	40
Bitlis	62	İstanbul	179	Samsun	117	Iğdır	49
Bolu	62	İzmir	138	Siirt	59	Yalova	55
Burdur	51	Kars	66	Sinop	38	Karabük	47
Bursa	140	Kastamonu	74	Sivas	94	Kilis	28
Çanakkale	78	Kayseri	118	Tekirdağ	112	Osmaniye	79
Çankırı	38	Kırklareli	64	Tokat	95	Düzce	72
Çorum	85	Kırşehir	43	Trabzon	100		
Denizli	113	Kocaeli	120	Tunceli	25		
Diyarbakır	121	Konya	133	Şanlıurfa	130		

Problemin Tablo 5.9.'daki talep miktarlarına göre çözülmesiyle birlikte Tablo 5.10.'daki depo yerleri ile rotalar belirlenmiş ve her rotanın toplam kilometresi verilmiştir. Belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Üçüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri

Depo No	Depo Yeri	Araç No	Rota	Toplam Km
1	Yalova	1	Yalova-Zonguldak-Bartın-Bolu-Düzce-Sakarya-Yalova	761
		2	Yalova-Kocaeli-İstanbul-Yalova	352
		3	Yalova-Bursa-Bilecik-Yalova	289
2	Osmaniye	1	Osmaniye-Kahramanmaraş-Gaziantep-Kilis-Hatay-Osmaniye	519
		2	Osmaniye-Şanlıurfa-Adıyaman-Malatya-Osmaniye	870
		3	Osmaniye-Adana-Osmaniye	174
3	Muğla	1	Muğla-Denizli-Uşak-Afyonkarahisar-Aydın-Muğla	854
		2	Muğla-Burdur-Isparta-Antalya-Muğla	733
4	Kırşehir	1	Kırşehir-Yozgat-Kayseri-Nevşehir-Aksaray-Kırşehir	575
		2	Kırşehir-Niğde-Mersin-Karaman-Konya-Kırşehir	985
		3	Kırşehir-Kırıkkale-Ankara-Kırşehir	372
5	Bingöl	1	Bingöl-Muş-Bitlis-Siirt-Batman-Diyarbakır-Bingöl	617
		2	Bingöl-Mardin-Şırnak-Hakkâri-Van-Bingöl	1147
		3	Bingöl-Elazığ-Tunceli-Bingöl	424
6	Amasya	1	Amasya-Tokat-Sivas-Ordu-Amasya	813
		2	Amasya-Samsun-Sinop-Kastamonu-Karabük-Çankırı-Çorum-Amasya	1024
7	Kars	1	Kars-Artvin-Rize-Trabzon-Giresun-Gümüşhane-Erzincan-Bayburt-Kars	1354
		2	Kars-Iğdır-Ağrı-Erzurum-Ardahan-Kars	793
8	Balıkesir	1	Balıkesir-Edirne-Kırklareli-Tekirdağ-Çanakkale-Balıkesir	974
		2	Balıkesir-Eskişehir-Kütahya-İzmir-Balıkesir	889
		3	Balıkesir-Manisa-Balıkesir	282
Toplam Km				14801



Şekil 5.3. Üçüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller

Tablo 5.10.'dan da görüldüğü gibi üçüncü senaryoya göre, bir kilometrede karşıladığı talep miktarı en fazla olan iller Yalova, Osmaniye, Muğla, Kırşehir, Bingöl, Amasya, Kars ve Balıkesir olarak belirlenmiş ve depo yeri olarak seçilmiştir. Birinci, ikinci, dördüncü, beşinci ve sekizinci depodan 3, üçüncü, altıncı ve yedinci depodan 2 araç yola çıkmış ve tüm dağıtım merkezlerine ürün gönderimi sağlanmıştır. Depolardan yola çıkan araçların turlarını tamamlaması sonucunda toplam 14801 km yol kat edilmiştir.

Dördüncü senaryoda kullanılan her ilin haftalık ortalama talep miktarı koli bazında Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11. Dördüncü senaryoda kullanılan talep miktarları (koli)

İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep
Adana	138	Balıkesir	122	Çorum	81	Giresun	117
Adıyaman	104	Bilecik	83	Denizli	132	Gümüşhane	44
Afyonkarahisar	98	Bingöl	101	Diyarbakır	134	Hakkari	96
Ağrı	83	Bitlis	66	Edirne	92	Hatay	122
Amasya	71	Bolu	74	Elazığ	125	Isparta	119
Ankara	138	Burdur	78	Erzincan	77	Mersin	162
Antalya	159	Bursa	174	Erzurum	105	İstanbul	225
Artvin	38	Çanakkale	107	Eskişehir	141	İzmir	176
Aydın	146	Çankırı	56	Gaziantep	134	Kars	96

Tablo 5.11. (Devamı)

İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep	İl	Talep
Kastamonu	92	Muş	86	Trabzon	128	Şırnak	93
Kayseri	141	Nevşehir	75	Tunceli	33	Bartın	56
Kırklareli	104	Niğde	72	Şanlıurfa	158	Ardahan	60
Kırşehir	62	Ordu	119	Uşak	87	Iğdır	84
Kocaeli	162	Rize	74	Van	144	Yalova	95
Konya	158	Sakarya	150	Yozgat	99	Karabük	81
Kütahya	107	Samsun	152	Zonguldak	93	Kilis	78
Malatya	113	Siirt	77	Aksaray	99	Osmaniye	90
Manisa	155	Sinop	53	Bayburt	48	Düzce	102
Kahramanmaraş	131	Sivas	98	Karaman	71		
Mardin	123	Tekirdağ	147	Kırıkkale	66		
Muğla	110	Tokat	102	Batman	108		

Problemin Tablo 5.11.'deki talep miktarlarına göre çözülmesiyle birlikte Tablo 5.12.'deki depo yerleri ile rotalar belirlenmiş ve her rotanın toplam kilometresi verilmiştir. Belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Dördüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri, rotalar ve kilometreleri

Depo No	Depo Yeri	Araç No	Rota	Toplam Km
1	Sakarya	1	Sakarya-Düzce-Bolu-Kocaeli-Sakarya	302
		2	Sakarya-Eskişehir-Kütahya-Bilecik-Sakarya	466
		3	Sakarya-Yalova-Sakarya	204
2	Kahramanmaraş	1	Kahramanmaraş-Adıyaman-Şanlıurfa-Gaziantep-Kahramanmaraş	488
		2	Kahramanmaraş-Osmaniye-Adana-Hatay-Kahramanmaraş	556
		3	Kahramanmaraş-Kilis-Kahramanmaraş	272
3	Uşak	1	Uşak-Manisa-İzmir-Uşak	441
		2	Uşak-Aydın-Muğla-Denizli-Uşak	667
		3	Uşak-Afyonkarahisar-Burdur-Uşak	456
4	Nevşehir	1	Nevşehir-Mersin-Karaman-Konya-Nevşehir	859
		2	Nevşehir-Antalya-Isparta-Aksaray-Nevşehir	1149
		3	Nevşehir-Niğde- Nevşehir	164

Tablo 5.12. (Devamı)

Depo No	Depo Yeri	Araç No	Rota	Toplam Km
5	Siirt	1	Siirt-Bitlis-Van-Hakkâri-Şırnak	743
		2	Siirt-Batman-Diyarbakır-Mardin-Siirt	509
6	Amasya	1	Amasya-Tokat-Kayseri-Yozgat-Amasya	774
		2	Amasya-Ordu-Samsun-Sinop-Çorum-Amasya	940
7	Çanakkale	1	Çanakkale-Balıkesir-Bursa-Çanakkale	620
		2	Çanakkale-İstanbul-Tekirdağ-Çanakkale	636
		3	Çanakkale-Kırklareli-Edirne-Çanakkale	511
8	Erzincan	1	Erzincan-Tunceli-Bingöl-Elazığ-Malatya-Erzincan	880
		2	Erzincan-Sivas-Giresun-Trabzon-Gümüşhane-Erzincan	915
9	Çankırı	3	Erzincan-Bayburt-Erzincan	310
		1	Çankırı-Kastamonu-Bartın-Zonguldak-Karabük-Çankırı	669
10	Ardahan	2	Çankırı-Kırşehir-Kırıkkale-Ankara-Çankırı	531
		1	Ardahan-Muş-Ağrı-Iğdır-Kars-Ardahan	1033
		2	Ardahan-Erzurum-Rize-Artvin-Ardahan	769
Toplam				15864



Şekil 5.4. Dördüncü senaryoya göre belirlenen depo yerleri ve depoların hizmet verdiği iller

Tablo 5.12.'den de görüldüğü gibi dördüncü senaryoya göre, bir kilometrede karşıladığı talep miktarı en fazla olan iller Sakarya, Kahramanmaraş, Uşak, Nevşehir, Siirt, Amasya, Çanakkale, Erzincan, Çankırı ve Ardahan olarak belirlenmiş ve depo yeri olarak seçilmiştir. Birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, yedinci ve sekizinci depodan 3, beşinci, altıncı, dokuzuncu ve onuncu depodan 2 araç yola çıkmış ve tüm dağıtım

merkezlerine ürün gönderimi sağlanmıştır. Depolardan yola çıkan araçların turlarını tamamlaması sonucunda toplam 15864 km yol kat edilmiştir.

Geliştirilen algoritma farklı taleplere göre oluşturulan dört farklı senaryo için çözüm üretmiştir. Tablo 5.13.'te algoritmanın senaryolara göre ürettiği sonuçlar özetlenmiştir. Talep miktarları birinci senaryoya göre sırasıyla %15,4, %40,4 ve %73,6 oranında arttırılmıştır. Artan talebi karşılamak üzere açılan depo sayısı da artış göstermiştir. Toplam kilometre birinci senaryoya göre sırasıyla %11,5, %8,7 ve %16,5 oranında artmıştır. Depo sayısının artması, toplam kilometrenin birbirine yakın değerlerde çıkmasını sağlamıştır. Tablo 5.13., algoritmanın talebe göre ihtiyacı karşılayacak sayıda depo açma ve farklı talepleri karşılayabilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.13. Geliştirilen melez KKA algoritmasının senaryolara göre ürettiği sonuçların özeti

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
Toplam Talep Miktarı	4926	5686	6918	8550
Talep % Değişim	0,0%	15,4%	40,4%	73,6%
Toplam Km	13621	15182	14801	15864
Toplam Km % Değişim	0,0%	11,5%	8,7%	16,5%
Açılan Depo Sayısı	6	7	8	10

BÖLÜM 6. SONUÇ

LRP, potansiyel depo yerleri arasından uygun depo yerlerinin belirlenmesi, talep noktalarının depo yerlerine atanması ve her depo için araç rotalarının elde edilmesi problemlerini eş zamanlı olarak çözüme ulaştıran bütünleşik bir problem tipidir. Bu çalışmada lojistik ağı ve tedarik zinciri yönetiminin temelini oluşturan CLRP ele alınmıştır. LRP, özelleştirilerek depo ve araç kapasiteleri dikkate alınmıştır. Problemin genel amacı depo açma ve araç rotalama maliyetlerinin toplamını en küçükmektir. Bu tez çalışmasında ise literatürdekilerden farklı olarak yeni bir amaç fonksiyonu eklenmiştir. Problemin amaç fonksiyonu bir kilometrede karşılanan talep miktarını en çok yapmak üzerine kurulmuştur.

NP-zor problem sınıfında olan CLRP'ye çözüm üretmek amacıyla melez KKA algoritması geliştirilmiştir. Çözüm kalitesini iyileştirmek amacıyla geliştirilen melez algorithmada KKA ve YA beraber çalışmaktadır. Algoritmanın adımları sırasıyla KKA ile eş zamanlı olarak depo yerleri ve araç rotalarının belirlenmesi, tanımlanan komşuluk yapısına göre elde edilen çözüm üzerinde YA algoritması ile depo yerlerinin hizmet vereceği yeni talep noktalarının belirlenmesi, depolardan talep noktalarına hizmet verecek araç rotalarının KKA ile belirlenmesi şeklindedir. Her talep noktasının depo yeri olmaya aday olması problemin boyutunu ve karmaşıklığını arttırmaktadır. Geliştirilen melez KKA'nın, depo yerlerini ve araç rotalarını belirlemedeki etkinliğini göstermek için farklı taleplere göre dört farklı senaryo üretilmiştir. Problemin çözümünde kullanılan talep verileri, normal dağılıma uygun olarak üretilen varsayımsal verilerdir. Algoritmanın senaryolara göre verdiği sonuçlar paylaşılmıştır. Sonuçlar melez KKA'nın talepler doğrultusunda ihtiyacı karşılayacak sayıda depo açma ve farklı talepleri karşılayabilme yetisine sahip olduğunu göstermektedir. Algoritmanın bu yönde dinamik bir yapısının olması farklı sektörde ve farklı taleplerde çalışma imkânı sunması önemli bir özelliktir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde LRP'nin genellikle yerleştirme ve rotalama olmak üzere iki kademeli probleme bölünerek çözüldüğü gözlenmiştir. Her iki problem de genellikle kademeli veya kümeleme tabanlı yöntemler ile çözülmüştür. Bu tez çalışmasının diğer önemli yanı ise yerleştirme ve rotalama problemini eş zamanlı değerlendirerek, büyük boyutlu bir optimizasyon problemine çözüm üretmesidir. Çalışma bu yönüyle literatürdeki birçok çalışmadan ayrıldığı gibi, eş zamanlı olarak ele alınmasıyla LRP literatürüne katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada depo ve araç kapasiteleri özdeş, araç filosu ise homojendir. Gelecek çalışmalarda depo kapasiteleri, açıldığı yere göre farklı kapasitelerde olabilir. Heterojen bir araç filosu kullanılarak, talebe göre farklı kapasiteli araçlar ile hizmet verilmesi sağlanabilir. Bu çalışmada ele alınan problemin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar, farklı metasezgisel yöntemler ile çözümlenerek karşılaştırma yapılması, çalışmanın değerlendirilmesi açısından yarar sağlayacaktır.

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. Gezin 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, S. 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.
- Akyol, S., Alataş, B. 2012. Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları. Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi 1, 36-50.
- Barreto, S. S., Ferreira, C. M., Paixão, J. M. 2003a. Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. Communication presented at XIV Meeting of the European Working Group on Locational Analysis, (2003a) September 11-13, Corfu, Greece.
- Barreto, S. S. 2004. 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.
- 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.
- Büyükyılmaz, G. R., 2017. Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi İçin Çözüm Önerisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- 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.

- Contardo, C., Cordeau, J.F., 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.
- 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.
- Dalkılıç, G., Türkmen, F. 2003. Karınca Kolonisi Optimizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Performanslı Bilişim Sempozyumu.
- Dorigo, M., Gambardella, L.M. 1997. Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem, *BioSystems*, 43:73–81.
- 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.
- Ekin, E., Yakhno, T. 2001. A Case Study of Adopting Ant System to Optimization Problems, TAINN 2001, Kıbrıs.
- Farham, M. S., Süral, H., İyigün, 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.
- Gendreau, M., Tarantilis, C. D. 2010. Solving Large-Scale Vehicle Routing Problems with Time Windows: The State of the Art. CIRRELT.
- Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J. L., Pasteels, J. M. 1989. Self-Organized Shortcuts in the Argentine Ant, *Naturwissenschaften*, 76:579-581, 1989.
- Hansen, P. H., Hegedahl, B., Hjortkjvr, S., Obel, B. 1994. A heuristic solution to the warehouse location-routing problem. *European Journal of Operational Research* 1994; 76:111 27.
- Kuşçu, Ö. 2009. Araç Rotalama Sistemlerinde Sezgisel Yöntemler. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Laporte, G., 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.
- 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.
- Marinakis, Y. 2009. *Encyclopedia of Optimization: Location-routing problem*. 2.Edition, Springer Science+ Business Media, USA, 1919-1924.

- 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.
- 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.
- Owen, S. H., Daskin, M. S. 1998. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*. Vol. 111, issue 3, 423-447.
- 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.
- Perl, J. 1983. A unified warehouse location-routing analysis. UMI Dissertation Information Service, USA.
- Perl, J. Daskin, M. S. 1985. A warehouse location-routing problem, *Transportation Research*, 19B:5, 381-396.
- Prins, C., Prodhon, C., Calvo, R. W. 2004. Nouveaux algorithmes pour le problème de localisation et routage sous contraintes de capacité. In *Proceedings of the MOSIM'04* (Vol. 2, pp. 1115–1122). Lavoisier, Ecole des Mines de Nantes, France.
- 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(3), 221–238.
- Prins, C., Prodhon, C., Calvo, R. W. 2004. Nouveau algorithmes pour le problème de localisation et routage sous contraintes de capacité. In: *MOSIM'04 (4ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, Nantes, France, 01-03/09/2004)*, p. 1115–22, Editions Tec-Doc Lavoisier, 2004. ISBN 2-7430-0731-1.
- 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.

- 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.
- Saka, C. O. 2013. Local Search Heuristics for Pollution-Routing Problem with Multiple Vehicle Types and Deadlines, Master of Science, Middle East Technical University.
- Solnon, C. 2007. Combining two pheromone structures for solving the car sequencing problem with ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*, 191(2008), 1043-1055.
- Söyler, H., Keskindürk, T. 2006. Global karınca kolonisi optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No 4, 689-698.
- Söyler, H., Keskindürk T. 2007. Karınca Kolonisi Algoritması ile Gezen Satıcı Probleminin Çözümü. 8. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi, Malatya, Türkiye, 1- 4 Mayıs 2007, ss.1-11.
- Stützle, T. Hoos, H. H. 2000. Max–min ant system. *Future Generation Computer Systems*, 16, 2000, ss.889–914.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S. 2013. *Using Multivariate Statistics*. Pearson (sixth ed.), Boston.
- 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.
- Utku, D. H., Erol, S. 2020. The hazardous waste location and routing problem: an application in Marmara Region in Turkey. *SN Appl. Sci.* 2, 299.
- Wu, T.-H., Low, C., Bai, J.-W. 2002. Heuristic solutions to multi- depot location routing problems. *Computers & Operations Research* 29 (10), 1393-1415.
- 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.
- Yaşar, M. 2020. Yerleştirme-rotalama probleminin karınca kolonisi algoritması ile çözümü: Bir gıda firmasında uygulama, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Yıldız, H. 2008. Methodologies and applications for scheduling, routing & related problems. Carnegie Mellon University, School of Business, Doctoral Dissertation.
- 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.
- 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, 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.

Zografos, K. G., Samara S. 1989. A Combined Location-Routing Model for Hazardous Waste Transportation and Disposal. *Engineering Transportation Research Record*, 52-59.

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Topluluk>, Erişim Tarihi: 24.01.2021

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sümeyye Gizem Çakar

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü /Endüstri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği	2018
Lise	24 Kasım Anadolu Lisesi	2014

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Tri-Wall Turkey Kağıt San. Ve Tic. A.Ş.	Satınalma Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1.İkili Kümeleme Yaklaşımıyla Suç Bölgelerinin Tespiti ve İkili Kümeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, 2019, Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences