

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ
VE BİR METASEZGİSEL ÇÖZÜM ÖNERİSİ**

MUSTAFA SERDAR TOKSOY

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ VE BİR METASEZGİSEL ÇÖZÜM ÖNERİSİ

MUSTAFA SERDAR TOKSOY

Dr. Öğr. Üyesi Pınar Yıldız KUMRU

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Atakan ALKAN

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. İbrahim ÇİL

Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Burak ERKAYMAN

Jüri Üyesi, Atatürk Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.03.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, literatürde iki farklı problem türü olan tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemlerinin tek bir model üzerinde birleştirildiği Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi'nin çözümüne yönelik olarak literatürdeki çözüm yöntemlerinin kullanıldığı algoritmaları incelemek ve problemin çözümüne yönelik olarak metasezgisel hibrit bir algoritma geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Pınar YILDIZ KUMRU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan, karşılaştığım zorluklarda pozitif enerjisini ve manevi desteğini her zaman hissettiğim ikinci danışmanım Doç. Dr. Kasım BAYNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora sürecinde tez jüri üyeliğini kabul ederek değerli vakitlerini ayırarak bilgi, destek ve anlayışları ile bana her zaman katkı sağlayan Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ, Prof. Dr. İbrahim ÇİL, Doç Dr. Burak ERKAYMAN ve Dr. Öğr. Üyesi Atakan ALKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın yazılım süreçlerinde bana destek olan Doç. Dr. Hüseyin HAKLI ve Dr. Öğr. Üyesi İsmail AKGÜL'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca varlıkları ile bana her zaman güç veren, beni her daim destekleyen, yaşadığım tüm zorluk ve sevinçlerde hep yanımda olan sevgili ailem rahmetli babam Tayyar TOKSOY, annem Nermin TOKSOY, eşim Gülsüm ACAR TOKSOY ve çocuklarım Zeynep TOKSOY ve Ahmet Kerem TOKSOY'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mart – 2021

Mustafa Serdar TOKSOY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2. YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇEŞİTLERİ.....	17
2.1. Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi	19
2.2. Katmanlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi	19
2.3. Özel ve Çoklu Amaç Fonksiyonlu Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi.....	20
2.4. Çoklu Periyod Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi	21
2.5. Envanter Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi.....	21
2.6. Belirsiz Verili Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi	21
2.7. Dinamik Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi	22
3. KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....	23
3.1. Matematiksel Model.....	23
3.2. Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi Literatürü	26
4. ÖNERİLEN ALGORİTMADA KULLANILAN METASEZGİSELLER.....	29
4.1. Dağıtık Arama Algoritması.....	29
4.1.1. Temel dağıtık arama algoritması tasarımı	30
4.1.2. Gelişmiş dağıtık arama algoritması tasarımları.....	33
4.1.2.1 Dinamik referans küme güncelleme	33
4.1.2.2. Referans küme yeniden oluşturma	34
4.1.2.3. Referans küme katmanları	35
4.1.2.4. Farklılık kontrolü.....	36
4.1.2.5. Alt küme üretim metodu.....	37
4.2. Genetik Algoritma.....	37
4.2.1. Genetik operatörler.....	41
4.2.1.1. Doğal seçim operatörü	41
4.2.1.2. Elitizm Operatörü	41
4.2.1.3. Çaprazlama Operatörü.....	41
4.2.1.4. Mutasyon operatörü.....	43
4.2.2. Genetik algoritma kontrol parametreleri	44
5. HİBRİT DAĞITIK GENETİK ARAMA ALGORİTMASI.....	46
5.1. Çözüm Gösterim Şekli	49
5.2. Başlangıç Popülasyon Oluşturma	51
5.2.1. Bulanık k-ortalamlar algoritması.....	52

5.2.2. En yakın komşuluk arama	57
5.3. Referans Küme Oluşturma	58
5.4. Alt Küme Üretimi.....	59
5.5. Çözüm Kombinasyonu.....	59
5.5.1. Sıralı çaprazlama operatörü.....	60
5.6. Çözüm İyileştirme	61
5.6.1. Takas mutasyonu operatörü	62
5.6.2. Müşteri komşuluk operatörü	62
5.6.3. 2-Opt komşuluk operatörü	63
5.7. Referans Küme Güncelleme.....	64
6. HDGA ALGORİTMASININ TEST PROBLEMLERİNE UYGULANMASI.....	67
6.1. Taguchi Yöntemi ile Parametre Tasarımı	67
6.2. Test Problem Kümeleri	73
6.3. Araştırma Sonuçları ve Bulgular.....	74
6.4. HDGA Bileşenlerinin Performans Etki Düzeyleri	83
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR	90
EKLER.....	114
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	133
ÖZGEÇMİŞ	134

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Yıllara göre YSARP çalışma sayıları.....	9
Şekil 1.2.	YSARP çalışmaları çözüm yöntemlerine göre dağılımı.....	12
Şekil 1.3.	YSARP çalışmalarında kullanılan çözüm yöntemleri.....	16
Şekil 2.1.	YSARP'nin hiyerarşik sınıflandırması	17
Şekil 2.2.	Yer seçimi ve dağıtım problemlerinin gösterimi.....	18
Şekil 2.3.	3-Katmanlı YSARP örnek gösterimi.....	20
Şekil 4.1.	GA akış diyagramı.....	40
Şekil 4.2.	Sıralı çaprazlama.....	42
Şekil 4.3.	Takas mutasyon.....	44
Şekil 5.1.	Önerilen HDGA iş akış şeması.....	48
Şekil 5.2.	Kromozom yapı örnek birey.....	50
Şekil 5.3.	Depo, müşteri ve alt rotaların şekil üzerinde gösterimi.....	50
Şekil 5.4.	BKA ile başlangıç çözüm üretme aşamaları.....	56
Şekil 5.5.	EYKA sezgiseli ile alt rotaların oluşturulması örneği.....	58
Şekil 5.6.	Sıralı çaprazlama metodu örnek uygulaması.....	60
Şekil 5.7.	Takas mutasyon metodu örnek uygulaması.....	62
Şekil 5.8.	Müşteri operatörü örnek gösterimi.....	63
Şekil 5.9.	2-Opt operatörünün örnek gösterimi.....	64
Şekil 6.1.	Parametrelerin her bir seviyesi için ortalama S/G oranları.....	71

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	YSARP'nin sınıflandırılması.....	8
Tablo 3.1.	Kapasite kısıtlı YSARP çözümüne yönelik çalışmalar.....	27
Tablo 6.1.	Kullanılan parametreler ve seviyeleri.....	69
Tablo 6.2.	Beş parametrelili üç seviyeli ortogonal dizi tablosu.....	70
Tablo 6.3.	Parametrelerin en iyi seviyeleri.....	72
Tablo 6.4.	S/G oranlarının varyans analizi.....	72
Tablo 6.5.	Tuzun kümesi için elde edilen en iyi sonuçlar.....	76
Tablo 6.6.	Tuzun kümesi için ilave hesaplama sonuçları.....	77
Tablo 6.7.	Barreto kümesi için elde edilen en iyi sonuçlar.....	78
Tablo 6.8.	Barreto kümesi için ilave hesaplama sonuçları.....	78
Tablo 6.9.	Prodhon kümesi için elde edilen en iyi sonuçlar.....	79
Tablo 6.10.	Prodhon kümesi için ilave hesaplama sonuçları.....	80
Tablo 6.11.	Karşılaştırmalı algoritmalarının ortalama sonuçları ve bilgisayar yapıları.....	82
Tablo 6.12.	Tuzun kümesi için performans etki düzeyleri.....	83
Tablo 6.13.	Barreto kümesi için performans etki düzeyleri.....	84
Tablo 6.14.	Prodhon kümesi için performans etki düzeyleri.....	85
Tablo 6.15.	Bileşenlerin ortalama performans etki düzeyleri.....	86
Tablo A.1.	Kapsamlı YSARP literatür analizi.....	115

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$(X_{(I)}, Y_{(I)})$: I kümesinin ağırlık merkezinin koordinatı
(x_i, y_i)	: i müşterisinin koordinatı
c_{ij}	: Her bir (i, j) arkı için ulaştırma maliyeti
d_j	: j müşterisinin talebi
L_{enb}	: Birinci aşama yerel arama en büyük iterasyon sayısı
N_{2opt}	: 2-opt operatörü
n_I	: I kümesine atanan müşteri sayısı
$N_{müş}$: Müşteri operatörü
N_{tak}	: Takas operatörü
O_i	: i deposunu açma maliyeti
q_{kc}	: c kümesinin atandığı k deposunun kapasitesi
$RefSet_1$: En iyi çözümler referans kümesi
$RefSet_2$: Farklı çözümler referans kümesi
S_{mev}	: Mevcut çözüm
W_i	: i deposunun kapasitesi
$P_{baş}$: Başlangıç popülasyonu
d_{ik}	: k. sıradaki verinin i. küme merkezine olan dik uzaklığı
u_{ik}	: k. verinin i. kümeye üyelik derecesi
x^b	: b. sıradaki çözüm
$ CV $: Müşteri sıralaması vektörü
C	: Küme sayısı
$c(s)$: Müşteri sıralaması
$d(s)$: Depo statüsü
E	: Bağlantıların (arkların) kümesi
F	: Kullanılan araç başına sabit maliyet
I	: Potansiyel depo düğümleri kümesi
J	: Müşterilerin kümesi
K	: Mevcut araç sayısı (filo ölçeği)
m	: Depo sayısı
n	: Müşteri sayısı
\emptyset	: Boş küme
Q	: Araç kapasitesi
r	: Kümeleme iterasyon sayısı
$RefSet$: Referans kümesi
V	: Düğümlerin kümesi
X	: Kümeleme talep noktaları kümesi
ε	: Algoritma durdurma katsayısı
λ	: $[0,1]$ arasında pozitif bir parametre değeri
SR	: Alt rota kümesi
b	: En iyi çözüm b_1 ve farklı çözüm b_2 eleman sayısı toplamı
$f(S_{mev})$: Mevcut çözüm uygunluk değeri

Kısaltmalar

ATUAP	: Açgözlü TesadüfseU Uyumlu Arama Prosedürü
2K-YSARP	: İki Katmanlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi
ARP	: Araç Rotalama Problemi
BSGA-II	: Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma II
BKA	: Bulanık K-Ortalamalar Algoritması
DA	: Dağıtık Arama
DKA	: Değişken Komşuluk Arama
EYKA	: En Yakın Komşuluk Arama
GA	: Genetik Algoritma
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
GYS	: Göreceli Yüzde Sapma
HDGA	: Hibrit Dağıtık Genetik Arama
KTP	: Karışık Tamsayılı Programlama
PDS	: Potansiyel Depo Sayısı
SDS	: Seçilen Depo Sayısı
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
TYSP	: Tesis Yeri Seçimi Problemi
YSARP	: Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE BİR METASEZGİSEL ÇÖZÜM ÖNERİSİ

ÖZET

Lojistik maliyetlerin, iş hayatında önemli bir paya sahip olduğu açıktır. Bu nedenle tedarik zinciri yönetiminde yer alan fiziksel dağıtım boyunca hammaddelerin, yarı mamul ve mamul ürünlerin verimli bir şekilde depolanması ve taşınması çok önemlidir. Tesis yerleşim problemleri, stratejik karar seviyesindeki fabrika ve/veya depoların yer seçimi ile ilgilidir. Araç rotalama problemleri ise müşteri taleplerini karşılamak için taktiksel veya operasyonel karar seviyelerinde rota belirlemeye odaklanmaktadır. Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi (YSARP), bu iki farklı karar seviyesindeki problemleri birleştirmektedir. Klasik YSARP; açık olması gereken bir depo alt kümesini, bu depolara atanmış olması gerekli müşterileri ve bu müşterilere hizmet sağlamak için belirlenmiş araç rotalarını içermektedir. Çözüm sürecinde depo ve araç kapasitesinin aynı anda dikkate alındığı Kapasite kısıtlı YSARP, problemin önemli bir versiyonudur. Bu tür problemler bir NP-Zor yapıya sahip olduğundan, çözüm için sezgisel yöntemlerin kullanılması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümü için Dağıtık Arama ve Genetik Algoritmanın birleşiminden oluşan ve Hibrit Dağıtık Genetik Arama (HDGA) olarak adlandırılan bir metasezgisel çözüm yaklaşımı önerilmektedir. İlâveten, başlangıç popülasyon üretmede Bulanık K-Ortalamlar Kümeleme Algoritması ve parametre optimizasyonu sürecinde ise Taguchi yöntemi kullanılmaktadır. Önerilen hibrit metasezgisel algoritmanın performansı, literatürdeki Prodhon, Barreto ve Tuzun-Burke örnekleri üzerinde test edilmekte ve elde edilen sonuçlar, diğer metasezgisel çözüm yaklaşımlarıyla karşılaştırılmaktadır. Sonuçlar ve öneriler, araştırmacılar ve uygulayıcılar için verilmektedir. Elde edilen sonuçlar önerilen algoritmanın rekabetçi bir yapıya sahip olduğunu ve kapasite kısıtlı YSARP için sağlam bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Kümeleme, Dağıtık Arama, Genetik Arama, Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi.

CAPACITATED LOCATION ROUTING PROBLEM AND A METAHEURISTIC SOLUTION PROPOSAL

ABSTRACT

Logistic costs do have an essential share in business life. Thus, it is crucial to store and transport raw materials, semi-finished and finished products efficiently throughout distribution in supply chain management. Facility location problems are related to the location of factories or warehouses at the strategic decision level, while vehicle routing problems are concerned with determining routes at the tactical or operational levels to supply customer demands. Location-Routing Problem (LRP) combines these two kinds of decisions. The classical LRP includes a subset of depots that must be open; customers should be assigned to open depots, and vehicle routes should be determined. Capacitated Location Routing Problem (CLRP) is an important version of the problem, considering the depot and vehicle capacity simultaneously. As these kinds of problems have an NP-Hard structure, it is inevitable to use heuristic methods for solutions. A hybrid metaheuristic solution approach entitled as a Hybrid Scatter Genetic Search (HSGA) comprised of Scatter Search and Genetic Algorithms is proposed to solve CLRP in this doctoral study. Moreover, the Fuzzy C-Means Clustering Algorithm is utilized to generate the initial population, and the Taguchi method is used for parameter optimization. The proposed algorithm's performance is tested by the Prodhon, Barreto and Tuzun-Burke instances, and the results are compared with other metaheuristic solution approaches in the literature. Results and suggestions are provided for researchers and practitioners. Experimental results show that the proposed algorithm is competitive and can be a robust alternative for CLRP.

Keywords: Fuzzy Clustering, Scatter Search, Genetic Algorithm, Location-Routing Problem.

GİRİŞ

Lojistik, küreselleşmenin yoğun olarak yaşandığı günümüz ekonomik koşullarında işletmeler açısından oldukça önemli bir faaliyet alanı haline gelmiştir. Bu durumun en önemli sebeplerinden birisi, lojistik maliyetlerin işletmelerin maliyet kalemleri içerisinde önemli bir paya sahip olmasıdır. Bu maliyetler üzerinde sağlanabilecek bir tasarruf, işletme kârlılığını olumlu bir şekilde etkileyecektir. Bu nedenle lojistik maliyetlerin analizi ve yönetimi, işletmelerin üzerinde yoğun şekilde çalıştıkları bir konudur. Lojistik faaliyetlerinin kapsamını, malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtım olarak ikiye ayırmak mümkündür. Malzeme yönetimi, ilk madde ve malzemeler ile diğer parçaların tedarik kaynaklarından alınarak üretim noktalarına getirilmesini kapsarken, fiziksel dağıtım ise mamullerin üretim noktalarından alınarak mamul stoklarına, dağıtım depolarına, perakende satış noktalarına ve son kullanıcı olan tüketicilere ulaştırılmasına kadar olan faaliyetleri kapsamaktadır (Gümüş, 2007).

Genel olarak, dağıtım süreçlerindeki maliyetlerin etkili bir tedarik zinciri tasarımı ve lojistik yönetimi sayesinde iyileştirilmesiyle önemli kazanımlar elde edilebilir. Depo, fabrika, antrepo gibi tesisler için yer seçimi, hangi tesislerin kullanılacağı, üretim miktarları, stok seviyelerinin belirlenmesi ve talep noktalarına ürünlerin nasıl gönderileceği gibi sorunların çözümü, eşzamanlı olarak ele alınması gereken önemli konulardır. Tesis yeri seçimi, uzun bir zaman periyodu için alınan stratejik seviyede bir karar olup, büyük ölçekli kuruluş maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda, dağıtım ağlarının tasarımı sürecinde önemli bir problem olarak kabul edilmektedir. Temel olarak tesislerin nerelerde kurulacağı ve hangi müşterilerin hangi tesislerden hizmet alacağı ile ilgilenen bu problem, literatürde “Tesis Yeri Seçimi Problemi” (TYSP) olarak adlandırılmakta ve uzun yıllardır araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir. Müşteriler ile tesisler arasındaki dağıtımın doğrudan yapıldığı bu problem çeşidinde, müşteri talebinin araç kapasitesi kadar olduğu tam kamyon yüklü taşımacılık (full truck load) yapılmaktadır. Ancak araç kapasitesinin birden fazla müşteri için yeterli olduğu ya da ağ üzerinde yer alan müşterilere rotalar oluşturularak tek bir araç veya araç filosu tarafından hizmet sağlandığı durumlar sıklıkla

görülmektedir. Rotalama ile ilgili taktiksel kararların alındığı bu dağıtım yapısı, “Araç Rotalama Problemi” (ARP) olarak bilinmektedir. Dolaylı dağıtımın yapıldığı bu problem çeşidinde ise parsiyel taşımacılık (less than truck load) yapılmaktadır (Karaoçlan, 2009).

Etkin bir dağıtım ağının tasarımı, uygun tesis (depo) yer seçimlerinin belirlenmesi ve bu depolara atanmış müşteri gruplarına hizmet verecek araç rotalarının oluşturulması gibi iki zor optimizasyon probleminin kombinasyonunu içerir (Prodhon ve Prins, 2014). Bu iki farklı karar türü, literatürde uzun süre ayrı ayrı ele alınmıştır. Ancak zaman içerisinde optimizasyon tekniklerindeki etkili ve sürekli gelişmeler sayesinde literatürde “Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi” (YSARP) olarak adlandırılan entegre bir yaklaşım sağlanmıştır. YSARP, literatürde yer alan diğer iki önemli problem türü olan TYSP ve ARP'nin bütünleşmiş hali olarak düşünülebilir. NP-Zor sınıfta olan YSARP'nin genel yapısında; tesislerin konumunun belirlenmesi, müşterilerin kendileri için uygun depolara atanması ve bu müşterilere hizmet sağlayacak araçların rota güzergâhlarının belirlenmesi problemlerinin aynı anda göz önünde bulundurulduğu çözüm süreçleri yer almaktadır. Müşteri taleplerinin tamamının karşılandığı bu problemlerin optimal bir şekilde çözülmesi ise rotalama maliyetleri, sabit araç maliyetleri ve sabit tesis açma maliyetlerinin birleşiminden oluşan toplam maliyetin en küçüklenmesi ile gerçekleşebilmektedir.

Stratejik bir karar olan tesis yeri seçimi ve operasyonel bir taktiksel karar olan araç rotalamanın eşzamanlı olarak göz önünde bulundurulması fikri, 1960'lara dayanmaktadır. O zamanlar, bu iki farklı problem türünün birbirlerine olan bağımlılığı yapılan çalışmalarda dikkate alınmış olsa da optimizasyon ve bilgisayar teknolojilerinde gelişmeler, bu problemlerin entegre bir karar verme süreci içerisinde ele alınması için yeterli değildi. Maranzana (1964), Von Boventer (1961), Webb (1968), Watson-Gandy ve Dohrn (1973) depo yerleşimlerini belirleme sürecinde, satışların bu yerleşimlere olan uzaklıklara bağlı olarak düştüğünü doğrusal olmayan bir kar fonksiyonu aracılığıyla belirlemiş ve bu süreçte araç rotalarını da dikkate almış olan muhtemelen ilk araştırmacılarıdır (Vincent ve diğer., 2010). Depo yerleşimlerini belirlerken araç rotalarının ihmal edilmesinin problem üzerine etkileri ilk olarak Salhi ve Rand (1989) tarafından tartışılmıştır. Bu araştırmacılar tarafından yer seçimi ve araç

rotalama kararlarını ayrı ayrı ele alan klasik çözüm yaklaşımlarının, problemin optimal olmayan bir çözümü ile sonuçlandığı belirtilmiştir.

YSARP literatüründe yiyecek ve içecek dağıtımı (Watson-Gandy ve Dohrn, 1973), gazete teslimatı (Jacobsen ve Madsen, 1980), (Madsen, 1983), atık toplama (Kulcar, 1996), fatura teslimatı (Lin ve diğ., 2002), askeri uygulamalar (Murty ve Djang, 1999), paket teslimatı (Bruns ve diğ., 2000; Wasner ve Zäpfel, 2004) ve çeşitli tüketim malları dağıtımı (Aksen ve Altinkemer, 2008), (Bednar ve Strohmeier, 1979) gibi gerçek yaşam problemlerine uyarlanmış birçok çalışma mevcuttur (Vincent ve diğ., 2010). Dolayısıyla literatürde YSARP'nin birçok versiyonu olduğu görülmektedir. Tesis kapasite kısıtının olmadığı, hem araç hem de depo kapasite kısıtlı, birden fazla katmanlı, özel ve çoklu amaç fonksiyonlu, envanter durumunun dahil edildiği, talep ve ulaşım sürelerinde belirsiz modellerin kullanıldığı ve dinamik yaklaşımlı YSARP problemin değişik versiyonlarına örnek verilebilir.

Bu tez çalışmasının temel motivasyonu, etkin ve bütünleşik bir dağıtım ağının tasarlanması sürecinin temel taşlarından olan stratejik tesis yeri seçimi kararı ile seçilecek bu tesislerden müşterilere hizmet sağlanabilmesi için taktiksel rotalama kararının eşzamanlı olarak ele alındığı bir yaklaşımın gerekliliği ve bu yaklaşımı sağlayan YSARP üzerine yapılacak kapsamlı bir araştırmanın ve önerilebilecek bir farklı çözüm metodunun literatüre katkı sağlayacağı düşüncesinden gelmiştir.

Diğer taraftan, lojistiğin en önemli ve güncel kollarından biri olarak sayabileceğimiz afet ve/veya insani yardım lojistiğinde uygulanacak faaliyetler, afetler nedeniyle mağdur ve korunmasız duruma düşen kişilerin ihtiyaçlarını en etkili şekilde karşılamak için yapılan afet yönetimi lojistik süreçleri ile sağlanmaktadır. Bu süreçler, afet öncesi hazırlık, anında müdahale ve iyileştirme aşamalarından oluşmaktadır. Her bir afet senaryosunda geliştirilecek strateji ve kapsam farklılık gösterse de afet öncesi hazırlık süreçlerinde izlenecek bir yol haritası içerisindeki temel faaliyetlerden bazıları aşağıdaki gibidir (URL-1, 2021):

- Afetzedelere yardım malzemesinin etkin bir şekilde ulaştırılabilmesi için sürekli ya da geçici tesis (depo) yerleşim planının yapılması.

- Afet bölgesine ulaşımın sağlanacağı en kısa ve en uygun rotanın belirlenmesi ve haritalanması.
- Talep edilen, satın alınan malzemelerin doğru yere, doğru zamanda, minimum maliyetle ve güvenli bir şekilde transferini sağlayacak alternatiflerin oluşturulması.
- Araç ve depo kapasitelerinden en uygun şekilde yararlanma planlarının yapılması.

Bu temel faaliyetlerin yeterince sağlanabilmesi, birden fazla problemin eş zamanlı ve etkin bir şekilde çözülebildiği bir sisteminin tasarlanmasını gerektirir. Bu kapsamda, tesis yeri seçimi ve araç rotalama gibi farklı problemleri değişik senaryolar ve versiyonlar altında ele alabilen matematiksel bir modelin gerekliliği ve YSARP'nin de bu süreçte etkin bir arayüz olabilme kapasitesi, tez çalışmasının bir diğer motivasyonunu oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, YSARP'in üzerinde araştırmacılar tarafından en çok çalışılan versiyonlarından biri olan, diğer versiyonlar için bir temel oluşturabilen ve halen güncel bir şekilde çalışılan (Prodhon ve Prins, 2014) kapasite kısıtlı YSARP olarak adlandırılan problemin çözümü için hibrit bir metasezgisel çözüm yöntemi geliştirmektir. Deterministik talepli, tek katmanlı ve tek amaç fonksiyonlu olan bu problemde, depo ve araç kapasiteleri aynı anda göz önünde bulundurulmaktadır. Çalışmada problemin çözümü için bir "Hibrit Dağıtık Genetik Arama" (HDGA) algoritması önerilmektedir. Önerilen bu hibrit metasezgisel algoritma temel olarak "Dağıtık Arama" (DA) algoritması çerçevesinde geliştirilmektedir. Başlangıç çözüm aşamasında kaliteli bir popülasyon üretmek için katı olmayan bir kümeleme tekniği olan "Bulanık K-Ortalamlar Algoritması" (BKA) – "En Yakın Komşuluk Arama" (EYKA) ve tesadüfelliğin eşit oranda kullanıldığı bir yaklaşım kullanılmaktadır. DA algoritması süreçleri; farklılaştırma, referans küme oluşturma, alt küme üretme, alt küme kombinasyonu, iyileştirme ve güncelleme aşamalarında işlem görmektedir. Sıralı çaprazlama ve takas mutasyonundan oluşan genetik operatörler ise sırası ile kombinasyon ve iyileştirme adımlarında kullanılmaktadır. Yine iyileştirme aşamasında 2-Opt ve müşteri komşuluk operatörleri kullanılarak çözümün geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca algorithmada değişik seviyelerde kullanılan parametreler için Taguchi yöntemi kullanılarak L27 ortogonal dizisine uygun olarak beş parametre ve üç seviye için deney tasarımı yapılmakta ve bu beş parametre için

optimal parametre seviyeleri belirlenmektedir. En etkin parametrenin tespiti için de ayrıca varyans analizi yapılmaktadır. Önerilen hibrit metasezgisel algoritmanın performansı, kapasite kısıtlı YSARP problemleri için geliştirilen ve standart veriler olarak kabul edilen Prodhon, Barreto ve Tuzun ve Burke verileri üzerinde test edilmekte ve elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çözüm yaklaşımları ile karşılaştırılmaktadır.

Bu çalışma, kombinatoriyel problemlerin çözümünde yoğun olarak kullanılan ve etkili bir metasezgisel olan “Dağıtık Arama”nın (DA) kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümünde kullanıldığı ilk çalışma olması açısından özgündür. Çözüm kombinasyon ve iyileştirme süreçlerinde diğer yöntemlerle birlikte kullanılmaya oldukça müsait bir algoritma olan DA'nın özellikle “Genetik Algoritma” (GA) ile hibrit çözüm yöntemi oluşturduğu birçok çalışma mevcuttur. Bu bağlamda önerilen HDGA, kapasite kısıtlı YSARP'nin çözüm sürecinde ilk defa kullanılmaktadır. Çalışmanın diğer bir özgün yönü ise kapasite kısıtlı YSARP için önerilen HDGA'nın başlangıç çözüm oluşturulmasında kullanılan üç aşamalı yöntemdir. Bu yöntem sırasıyla “Bulanık K-Ortalamlar Algoritması” (BKA) ile müşterilerin kümelere ayrıştırılması, kümelerin merkezi noktalarının depolara olan Öklid uzaklıklarına göre açılacak depoların belirlenmesi ve “En Yakın Arama Algoritması” (EYAA) ile alt rota üretilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Ayrıca bu çalışmada YSARP için Min ve diğ. (1998) tarafından yapılmış olan sınıflandırmaya (hiyerarşik seviye, talep yapısı, tesis sayısı, araç filosu ölçeği, araç kapasitesi, tesis (depo) kapasitesi, tesis (depo) katmanı, planlama ufku, zaman kısıtı, amaç fonksiyonu, model veri tipi, çözüm metodu) ek olarak kapsam, başlangıç çözüm metodu ve işlemci yapıları da eklenmektedir. Bu kapsamda literatürdeki YSARP'ye yönelik 224 çalışma, bu sınıflandırmaya göre analiz edilmektedir (Ek-A). Bu şekilde, bu çalışmanın YSARP literatürüne önemli bir katkı sağlaacağı kanaatindeyiz.

Bu tez çalışmasının geri kalanı aşağıdaki gibi yapılandırılmaktadır. Bir sonraki bölümde, YSARP ile ilgili 224 çalışmanın analiz edildiği ilgili özet literatür araştırması sunulmaktadır. 2. bölümde YSARP çeşitleri anlatılmaktadır. Kapasite kısıtlı YSARP'nin matematiksel modeli ve ilgili literatürü 3. bölümde yer almaktadır. 4. bölümde önerilen çözüm yönteminde kullanılan metasezgisel algoritmalara yer

verilmektedir. Kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümü için önerilen hibrit HDGA yöntemi ve tüm çözüm aşamaları 5. bölümde açıklanmaktadır. 6. bölümde, parametre tasarımı ve elde edilen bulgular verilmektedir. Son bölümde ise sonuçlar ve gelecekteki araştırmalar için öneriler bulunmaktadır.



1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

YSARP'nin değişik versiyonları, son yıllarda araştırmacılar tarafından yoğun olarak çalışılmaktadır. Ancak, yine de klasik versiyonunu içeren çalışmalar araştırmacılar için ilgi çekmeye devam etmektedir. Literatür incelendiğinde rotalama işlemlerini içeren problem çeşitlerinin birbirleri ile olan ilişki düzeyleri ve gelişim aşamaları aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Ahn, 2018):

Birinci aşamayı oluşturan “Gezgin Satıcı Problemi” (GSP), ARP'nin temelini oluşturmakta ve bu problem tek bir araç, tek bir tesis ve birden fazla talep noktalarından oluşmaktadır. Problemin temel kısıtı, tek bir tesisten başlanarak bu tesisten hizmet alacak talep noktalarının yalnızca bir kez ziyaret edilmesidir. Probleme, tesis ile talep noktaları arasındaki en kısa yolu sağlayan tekli rotanın bulunması amaçlanmaktadır.

İkinci aşamayı oluşturan ARP'de, tek bir rota ve tek bir tesis kısıtı genişletilerek problem çoklu rotalı bir hale dnuşmektedir. Temel olarak araç kapasite kısıtında eklendiği bu problemde, her bir rotadan kaynaklanan maliyetlerin toplamından oluşan toplam maliyetin en kklenmesi amaçlanmaktadır.

Üçüncü aşamada, çoklu depolu ARP yer almaktadır. Birden fazla deponun olduğu bu problemde, öncelikle talep noktalarını oluşturan müşteriler kendileri için en uygun olan depolara atanmaktadır. Sonrasında ise her bir depo için tek bir araç, depoya atanmış müşterileri en kk maliyetli bir rotayı takip edecek şekilde ziyaret etmekte ve tekrar başlangıç noktasına dönmektedir.

Son aşamada ise tez çalışmasının da konusunu oluşturan YSARP yer almaktadır. Hem yer seçimi hem de rotalama süreçlerinin eş zamanlı olarak ele alındığı bu problemde, potansiyel tesis (depo) yerleşimlerinden hangisinin açılacağı, açılacak tesislere hangi müşterilerin atanacağı ve tesisler ile müşterileri arasında hangi rotalamanın yapılacağı sorularına cevap aranmaktadır.

YSARP, problem içerisinde yer alan tüm müşterilerin tek bir tesise (depo) atıldığı durumda standart bir tesis yeri seçimi modeline dönüşmekte iken tesis (depo) yerleşimleri belirlendiği andan itibaren bir ARP'ye dönüşmektedir. Dolayısıyla fiziksel bir dağıtım probleminin temelini oluşturan YSARP, kombine edilmiş bir matematiksel modele sahiptir (Nagy ve Salhi, 2007).

YSARP çalışmalarına yönelik olarak kapsamlı bir literatür taraması Min ve diğ. (1998) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmada deterministik, stokastik veya dinamik problemler ve daha karmaşık ağlara sahip versiyonlar (birkaç katmanlı durumlar, depo içi rotalar vb.) için uygulanmış metodolojileri içeren araştırmalar sınıflandırılmıştır. Sonra Naghy ve Salhi (2007) tarafından bir literatür araştırması sunulmuştur. Daha sonra Lopes ve diğ. (2013) tarafından YSARP modellerinin sınıflandırıldığı kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bir diğer çalışmada ise Prodhon ve Prince (2014) tarafından 2007'den 2013'e kadar yayınlanan ve problemin değişik versiyonlarını ele alan, toplam 72 makalenin incelendiği bir literatür taraması yapılmıştır. Yine YSARP literatürüne yönelik olarak Drexl ve Schneider (2015) ile Schneider ve Drexl (2017) tarafından yapılmış çalışmalar da mevcuttur.

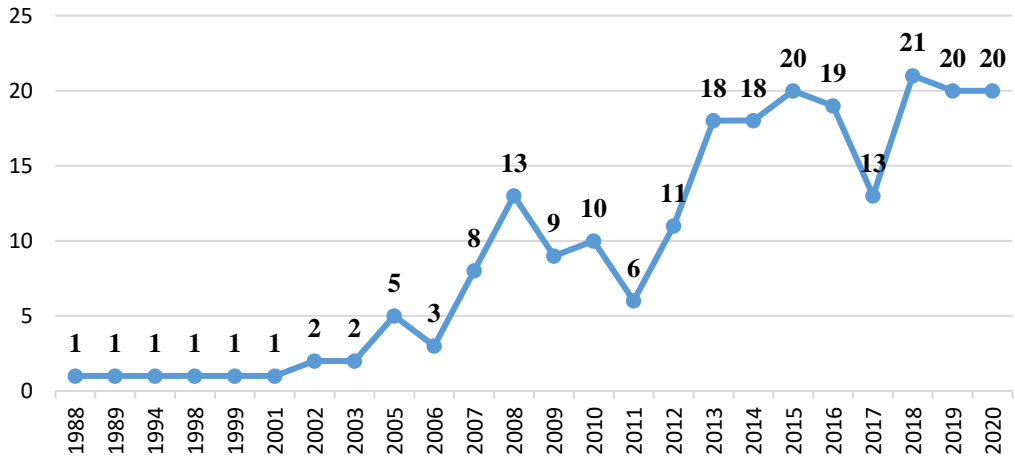
Tablo 1.1. YSARP'nin sınıflandırılması

Problem yapısı	Kategori	
Hiyerarşik seviye	Tek aşamalı	Çift aşamalı
Talep yapısı	Deterministik	Stokastik
Tesis sayısı	Tekli tesis	Çoklu tesis
Araç filosu ölçeği	Tekli araç	Çoklu araç
Araç kapasitesi	Kapasite kısıtlı	Kapasite kısıtsız
Tesis (depo) kapasitesi	Kapasite kısıtlı	Kapasite kısıtsız
Tesis (depo) katmanı	Birinci katman	İkinci/Ara katman
Planlama ufku	Tekli periyod	Çoklu periyod
Zaman kısıtı	Zaman kısıtsız	Gevşek / Kesin son teslim tarihli
Amaç fonksiyonu	Tekli amaç	Çoklu amaç
Model veri tipi	Hipotetik veri	Gerçek veri
Çözüm metodu	Kesin algoritmalar	Sezgisel algoritmalar

YSARP'ye yönelik olarak Min ve diğ. (1998) tarafından literatürde, tesis (depo) yerleşimleri, araç rotaları düzeni ve problemin türü ile ilişkili olarak yer alan çalışmalar referans alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır (Akpınar, 2009). Bu sınıflandırmaya ilişkin bilgiler Tablo 1.1'de görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, YSARP'ye yönelik olarak Pekel (2018) tarafından yapılan literatür çalışması Tablo 1.1'de belirtilen farklı ve ilave kategorilerle genişletilerek, toplam 224 çalışma detaylı bir şekilde analiz edildi. Bu kategoriler; araştırmacılar, konu, hiyerarşik seviye, talep yapısı, tesis sayısı, araç filo büyüklüğü, araç ve depo kapasite kısıtı, tesis katmanı, planlama ufku, zaman kısıtı, amaç fonksiyonu, çözüm şekli, çözüm yöntemi, başlangıç çözüm, veri tipi ve işlemci yapısından oluşmaktadır. Bu analizde yer alan tüm çalışmalar Ek-A'da görülmektedir. Bu bölümde yukarıda belirtilen kategorilere göre YSARP çalışmaları analiz edilmektedir.

YSARP üzerine yapılan bilimsel faaliyetler makale, bildiri, ve kitap bölümü olarak ayrıştırıldığında bunlardan 196'sının (%88) makale, 25'inin (%11) bildiri ve 2'sinin (%1) kitap bölümü ve teknik rapor olduğu görülmektedir. Makale çalışmalarının 6 tanesi, Min ve diğ. (1998), Naghy ve Salhi (2007), Lopes ve diğ. (2013), Prodhon ve Prins (2014), Drexl ve Schneider (2015) ve Schneider ve Drexl (2017) tarafından yapılmış literatür taraması şeklindedir. Elde edilen verilere göre araştırmacıların YSARP'ye yönelik olarak daha çok makale araştırmasına yöneldikleri söylenebilir. Yapılan bilimsel faaliyetlerin yıllara göre dağıtılmış hali Şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1.1. Yıllara göre YSARP çalışma sayıları

Şekil 1.1 incelendiğinde, YSARP'ye yönelik bilimsel faaliyetlerin 2003 yılına kadar sabit bir eğilime sahip olduğu, 2005-2011 yılları arasında bir hareketlilik yaşandığı, 2011 yılından sonra ise bir artış eğilimi gösterdiği gözlemlenmektedir. En yüksek bilimsel çalışma yılının ise 21 bilimsel faaliyet ile 2018 olduğu dikkat çekmektedir. Buradan hareketle, YSARP çalışmalarının özellikle son 10 yılda çok yüksek bir ivme kazandığı ve araştırmacılar tarafından yoğun olarak çalışıldığı söylenebilir.

Hiyerarşik seviye, depo ve müşteri düğümlerinden oluşan bir ağ üzerinde müşterilerin belli bir araç rotası dahilinde doğrudan hizmet alıp almadığı ile ilgili bir durumdur. Tek aşamalı sınıflandırmada müşteriler doğrudan atanmış oldukları depodan hizmet almakta, aksi takdirde problem k-aşamalı sınıfa girmektedir. Çalışmalar analiz edildiğinde; tek aşamalı 161 (%72), iki aşamalı 44 (%20), üç aşamalı 9 (%4) ve dört aşamalı 1 çalışmanın olduğu görülmektedir. Hiyerarşik seviye arttıkça problemin yapısı da daha karmaşık bir hale geleceğinden problemin çözümünde genel eğilimin tek aşamalı sistemler üzerine olduğu söylenebilir.

Talep yapısı, YSARP çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Müşteri talepleri modellenirken tercih edilen talep yapıları, genellikle deterministik ve stokastik bir yapıya sahiptir. Deterministik talepli modeller, problemi her zaman yeteri derecede temsil etmeyebilir. Çalışmaların talep yapıları analiz edildiğinde; deterministik 179 (%80), stokastik 24 (%11) ve bulanık 8 (%4) çalışmada talep modelinin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Deterministik talep modeline yönelik yüksek kullanım oranı, geliştirilen algoritmaların performanslarını test etmek için genellikle YSARP için üretilmiş olan veri kümelerinin kullanılması ile açıklanabilir.

Tesis sayısı bağlamında çalışmalar incelendiğinde; 202 çalışmada (%90) probleminde genel matematiksel modeli gereği çoklu tesis, 11 (%5) çalışmada ise tekli tesis yapısının olduğu görülmektedir. Buradan hareketle sonraki çalışmalarda eğilimin çoklu tesis yapısı şeklinde olacağı söylenebilir.

Araç filo büyüklüğüne göre dağılım oranları incelendiğinde ise problemin araç filosu ile ilgili olmayan değişik varyasyonları dışında kalan 202 (%90) çalışmada araç filo büyüklüğünün çoklu yapıda olduğu gözlemlenmektedir.

Araç kapasite durumları ele alındığında, çalışmalarının büyük bir kısmında (187 çalışma, %83) araç kapasitesinin sınırlandırıldığı ve 7 (%3) çalışmada ise araç kapasite kısıtının olmadığı tespit edilmiştir. YSARP çalışmalarında araç kapasitelerinin göz önünde bulundurulduğu modellere araştırmacılar tarafından ilerleyen süreçlerde de daha fazla ilgi duyulacağı söylenebilir.

Tesis (depo) kapasite durumları analiz edildiğinde 134 (%68) çalışmada tesis (depo) kapasite kısıtının olduğu, 44 (%20) çalışmada ise olmadığı görülmektedir. Buradan hareketle YSARP çalışmalarında genel eğilimin kapasite kısıtlı tesisli (depolu) modeller olduğu söylenebilir.

Yer seçimi ve araç rotalama kararlarının birlikte probleme dahil edildiği dağıtım sistemleri tasarlanırken, tesis seviyeleri ve bu tesislerden hizmet alacak müşteri grupları arasında birinci katman olabileceği gibi birden fazla katmanın olabileceği ara (ikinci) katmanlı durumlar da oluşabilir. Çalışmalarının tesis (depo) katmanlarına göre dağılımı incelendiğinde; 127 (%57) çalışmada birinci katman ve 82 (%37) çalışmada ise ara katmanlı model kullanıldığı gözlenmektedir. Birden fazla katmanın olduğu ara katmanlı model, her ne kadar daha karmaşık bir yapıya sahip olsa da araştırmacılar tarafından ilgi gördüğü ve görmeye devam ettiği söylenebilir.

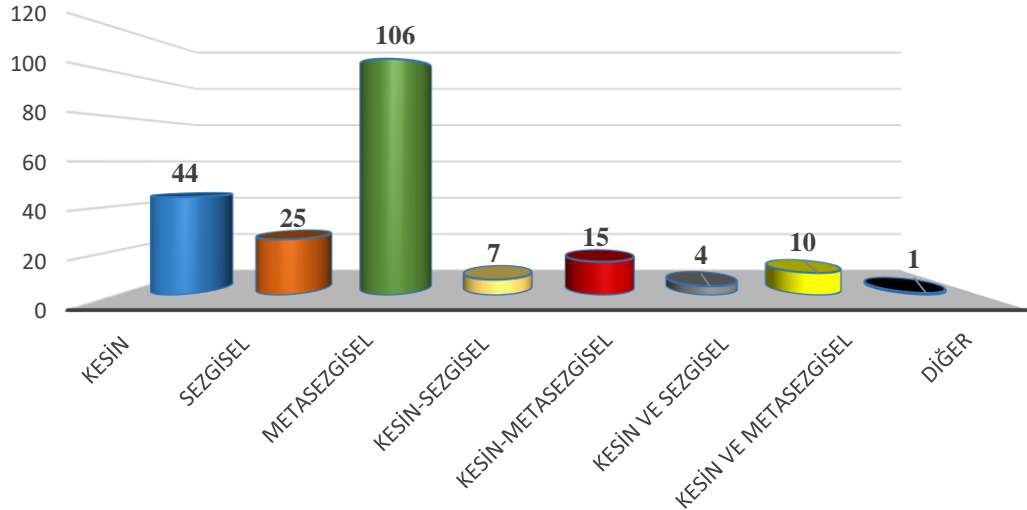
Planlama ufkuna göre çalışmaların dağılımı incelendiğinde; 176 (%79) çalışmada tekli periyod ve 38 (%17) çalışmada ise çoklu periyodlu modelin yer aldığı tespit edilmiştir. Çalışmalardaki genel eğilimin tekli periyodlu olduğu, ancak yayın yılları incelendiğinde ise çoklu periyodlu modellerin son yıllarda yoğun olarak çalışıldığı söylenebilir.

Zaman kısıtının olduğu modellerin dağılımı analiz edildiğinde; 131 (%58) çalışmada zaman kısıtsız ve 84 (%38) çalışmada ise zaman kısıtlı modelin kullanıldığı görülmektedir. Min ve diğ. (1998) yapmış olduğu sınıflandırmada zaman kısıtlarını gevşek son teslim tarihi ve kesin son teslim tarihi olarak belirlemiştir. Bu çalışmada ise temel olarak zaman kısıtlı ve zaman kısıtsız çalışmalar olarak ayrıştırıldı. Zaman kısıtsız modellerin daha fazla, zaman kısıtlı modellerin ise problem yapısını daha karmaşık bir hale getirmesine rağmen kayda değer bir oranda olduğu ve araştırmacılar tarafından ilgi gördüğü söylenebilir.

Amaç fonksiyonu yapısına göre çalışmalar ayrıştırıldığında; tekli amaç fonksiyonuna sahip 171 (%76) ve çoklu amaca sahip 42 (%19) çalışmanın olduğu gözlemlenmektedir. Gerçek hayat problemleri gibi özel durumları içeren YSARP versiyonlarında çoklu amaçların kullanılmasının kaçınılmaz bir durum olduğu ve son yıllarda araştırmacılar tarafından çoklu amaçlı modellere yönelik bir eğilim olduğu söylenebilir.

Bu tez çalışmasında, YSARP çalışmalarının çözüm yöntemleri sekiz farklı kategoride analiz edildi (Şekil 1.2). Bu kategoriler aşağıda görüldüğü gibidir:

- Kesin çözüm,
- Sezgisel çözüm,
- Kesin-Sezgisel çözüm (iki yöntem birlikte kullanılmaktadır)
- Kesin ve sezgisel çözüm (iki yöntem ayrı ayrı kullanılmaktadır)
- Metasezgisel çözüm,
- Kesin-Metasezgisel çözüm (iki yöntem birlikte kullanılmaktadır)
- Kesin ve metasezgisel çözüm (iki yöntem ayrı ayrı kullanılmaktadır)
- Diğer çözümler.



Şekil 1.2. YSARP çalışmaları çözüm yöntemlerine göre dağılımı

Şekil 1.2 incelendiğinde, analiz edilen çalışmaların neredeyse yarısını oluşturan 106 (%47) çalışmada metasezgisel yöntemlerin kullanılmış olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar şunlardır: Tuzun ve Burke (1999), Wu ve diğ. (2002), Lin ve diğ. (2002),

Lee ve diğ. (2003), Liu ve Lin (2005), Melechovský ve diğ. (2005), Wang ve diğ. (2005), Albareda-Sambola ve diğ. (2005), Prodhon ve Prins (2006), Bouhafs ve diğ. (2006), Lin ve Kwork (2006), Prins ve diğ. (2006), Wei-long ve Qing (2007), Cabellero ve diğ. (2007), Bouhafs ve diğ. (2008), Marinakis ve Marinaki (2008), Marinakis ve diğ. (2008), Peng (2008), Zhang ve diğ. (2008), Yan ve diğ. (2008), Hassan-Pour ve diğ. (2009), Schittekat ve Sørensen (2009), Peng ve Chen (2009), Chen ve diğ. (2009), Bozkaya ve diğ. (2010), Tavakkoli-Moghaddam ve diğ. (2010), Boccia ve diğ. (2010), Duhamel ve diğ. (2010), Vincent ve diğ. (2010), Vincent ve diğ. (2010), Zeng ve diğ. (2010), Gündüz (2011), Zarandi ve diğ. (2011), Prodhon (2011), Derbel ve diğ. (2012), Ahmadi-Javid ve Seddigi (2012), Herazo-Padilla ve diğ. (2013), Ahmadi-Javid ve Seddigi (2013), Ghaffari-Nasab ve diğ. (2013), Golozari ve diğ. (2013), Ghaffari-Nasab ve diğ. (2013), Dalfard ve diğ. (2013), Zarandi ve diğ. (2013), Ting ve Chen (2013), Mehrjerdi ve Nadizadeh (2013), Escobar ve diğ. (2013), Jarboui ve diğ. (2013), Zhang ve diğ. (2014), Wang ve diğ. (2014), Escobar ve diğ. (2014), Li ve Keskin (2014), Contardo ve diğ. (2014), Escobar ve diğ. (2014), Govindan ve diğ. (2014), Rieck ve diğ. (2014), Martinez-Salazar ve diğ. (2014), Nekooghadirli ve diğ. (2014), Vincent ve Lin (2014), Rahim ve Sepil (2014), Escobar (2014), Kim ve Lee (2015), Herazo-Padilla ve diğ. (2015), Liu ve Kachitvichyanukul (2015), Yang ve Sun (2015), Macedo ve diğ. (2015), Huang (2015), Marinakis (2015), Koç (2016), Yu ve Lin (2016), Lopes ve diğ. (2016), Riquelme-Rodríguez ve diğ. (2016), Goodarzi ve Zegordi (2016), Yakıcı (2016), Gao ve diğ. (2016), Torfi ve diğ. (2016), Hof ve diğ. (2017), Wang ve Li (2017), Hiassat ve diğ. (2017), Rayat ve diğ. (2017), Peng ve diğ. (2017), Tavana ve diğ. (2018), Schiffer ve Walther (2018), Rabbani ve diğ. (2018), Raziei ve diğ. (2018), Wang ve diğ. (2018), Habibi ve diğ. (2018), Ghaffarinasab ve diğ. (2018), Fazayeli ve diğ. (2018), Ferreira ve de Queiroz (2018), Zhang ve diğ. (2018), Asadi ve diğ. (2018), Zhang ve diğ. (2019), Yaghoubi ve Akrami (2019), Rabbani ve diğ. (2019), Yu ve diğ. (2019), Pekel ve Kara (2019), Saif-Eddine ve diğ. (2019), Almouhanna ve diğ. (2020), Liu ve diğ. (2020), Vincent ve diğ. (2020), Zhong ve diğ. (2020), Akpunar ve Akpinar (2020), Leng ve diğ. (2020), Yu ve diğ. (2020), Pitakaso ve diğ. (2020), Wei ve diğ. (2020) ve Nikzamir ve Baradaran (2020). Çalışmaların yayımlanma tarihlerine bakıldığında özellikle son yıllarda metasezgisel çözümlere yönelik eğilim olduğu söylenebilir.

İkinci sırada en çok kullanılan çözüm yöntemi ise kesin çözüm yöntemleri olup 44 (%20) çalışma bu yöntemlerle çözülmüştür. Bu çalışmalar şunlardır: Laporte ve diğ. (1988), Laporte ve diğ. (1989), Hansen ve diğ. (1994), Ambrosino ve Scutella (2005), Berger ve diğ. (2007), Alumur ve Kara (2007), Ukkusuri ve Yushimito (2008), May ve Tu (2008), Aksen ve Altinkemer (2008), Li ve diğ. (2008), Baldacci ve diğ. (2011), Catanzaro ve diğ. (2011), Belenguer ve diğ. (2011), Toyoglu ve diğ. (2012), Coutinho-Rodrigues ve diğ. (2012), Riera-Ledesma ve Salazar-González (2012), Boyer ve diğ. (2013), Contardo ve diğ. (2013), Contardo ve diğ. (2013), Samalioglu (2013), Ceselli ve diğ. (2014), Karimi ve Setak (2014), Winkenbach ve diğ. (2015), Gianessi ve diğ. (2015), Zhao ve Verter (2015), Asefi ve diğ. (2015), Ponboon ve diğ. (2016), Ponboon ve diğ. (2016), Ponboon ve diğ. (2016), Schiffer ve Walther (2017), Parragh ve Cordeau (2017), Toro ve diğ. (2017), Aydemir-Karadag (2018), Navazi ve diğ. (2018), Ahmadi-Javid ve diğ. (2018), Bartolini ve Schneider (2018), Farham ve diğ. (2018), Rafie-Majd ve diğ. (2018), Karimi ve Setak (2018), Amiri ve diğ. (2019), Darvish ve diğ. (2019), Aráoz ve diğ. (2019), Lu ve diğ. (2019) ve Dorrington ve Olsen (2019), Tönissen ve Arts (2020) ve Azizi ve Hu (2020). Küçük ölçekli problemlerin çözümünde daha fazla kullanışlı olan kesin çözüm yöntemlerin, metasezgisel yöntemler ile karşılaştırıldığında daha az tercih edildikleri ancak yine de önemli bir çözüm aracı oldukları söylenebilir.

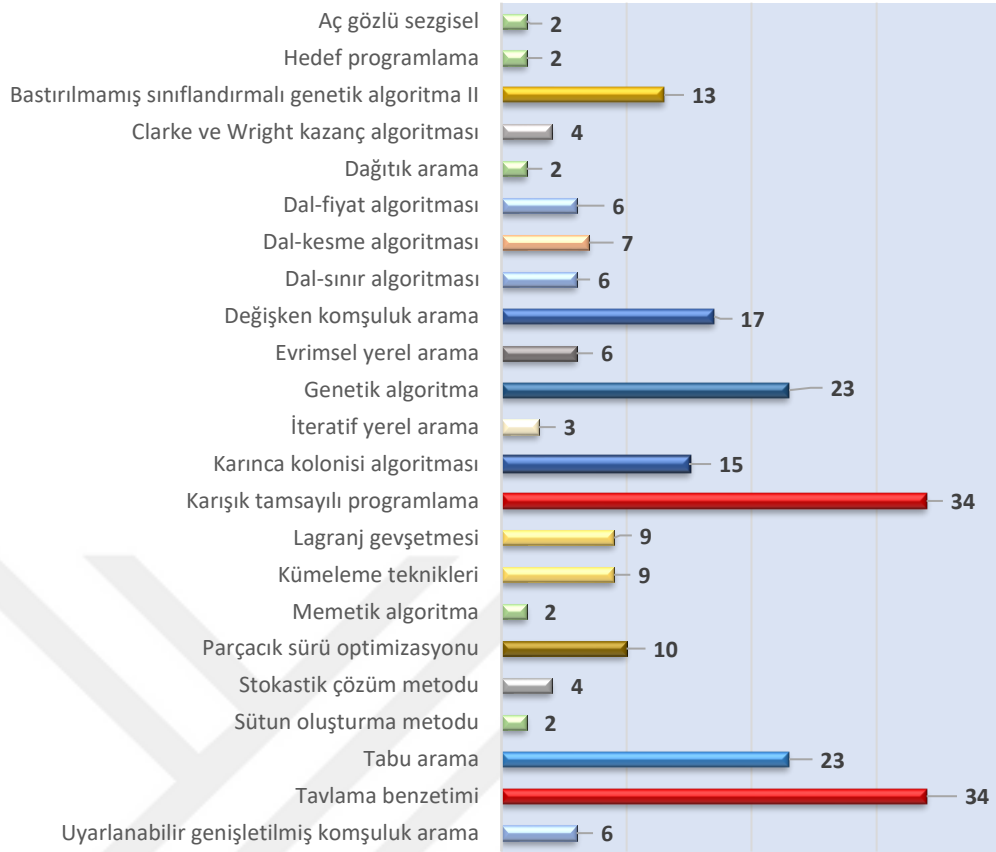
YSARP'ye yönelik olarak 25 (%11) çalışmada yer alan sezgisel yöntemler üçüncü sırada yer almakta olup bu çalışmalar şunlardır: Chan ve diğ. (2001), Liu ve diğ. (2003), Albareda-Sambola ve diğ. (2007), Barreto ve diğ. (2007), Prodhon (2008), Chanchan ve diğ. (2008), Lopes ve diğ. (2008), Prodhon (2009), Ambrosino ve diğ. (2009), Nikbakhsh ve Zegordi (2010), Nguyen ve diğ. (2010), Hemmelmayr ve diğ. (2012), Albareda-Sambola ve diğ. (2012), Nguyen ve diğ. (2012), Xu ve diğ. (2012), Manzour-al-Ajdad ve diğ. (2012), Guerrero ve diğ. (2013), Lam ve Mittenthal (2013), de Camargo ve diğ. (2013), Rath ve Gutjahr (2014), Sun (2015), Hemmelmayr (2015), Marinakis ve diğ. (2016), Schmidt ve diğ. (2016), Dai ve diğ. (2019) ve Arnold ve Sörensen (2020). YSARP'nin birleşik ve nispeten karışık yapısı dikkate alındığında sezgisel çözüm yöntemlerinin tek başlarına fazla kullanılmadıkları ya da problemin optimal çözüm sürecinde kesin ve metasezgisel yöntemler kadar talep edilmedikleri düşünülebilir.

Kesin çözüm ve metasezgisel yöntemlerin birlikte kullanıldığı kesin-metasezgisel çözüm içeren 15 (%7) çalışma olup bu çalışmalar şunlardır: Prins ve diğ. (2007), Javid ve Azad (2010), Pirkwieser ve Raidl (2010), Karaoglan ve diğ. (2012), Berglund ve Kwon (2014), Nadizadeh ve Nasab (2014), Karaoglan ve Altiparmak (2015), Mokhtarinejad ve diğ. (2015), Zhalechian ve diğ. (2016), Bashiri ve diğ. (2016), Koç ve diğ. (2016), Moshref-Javadi ve Lee (2016), Karimi (2018), Alvares ve diğ. (2020), Araghi ve diğ. (2020) ve Wang ve diğ. (2020) tarafından yapılmıştır. Aynı şekilde kesin çözüm ve sezgisellerin birlikte kullanıldığı kesin-sezgisel çözüm içeren YSARP çalışmaları 7 adet (%3) olup bu çalışmalar; Contardo ve diğ. (2012), Guerrero ve diğ. (2015), Menezes ve diğ. (2016), Rahmani ve diğ. (2016), Vidović ve diğ. (2016), Wu ve diğ. (2017) ve Tirkolae ve diğ. (2019).

Bazı YSARP çalışmalarında ise kesin yöntemler ile sezgisel-metasezgisel yöntemler ayrı ayrı kullanılmıştır. Çözüm sürecinde, kesin çözüm ve metasezgisel yöntemlerin ayrı ayrı ele alındığı 10 (%4) çalışma şunlardır: Kartal ve diğ. (2017), Nedjati ve diğ. (2017), Veenstra ve diğ. (2018), Pichka ve diğ. (2018), Yang ve diğ. (2019), Karakostas ve diğ. (2019), Vincent ve diğ. (2020), Cao ve diğ. (2020), Araghi ve diğ. (2020) ve Karakostas ve diğ. (2020) tarafından yapılmış iken kesin çözüm ve sezgisel yöntemlerin ayrı ayrı ele alındığı 4 adet (%2) çalışma ise Ghaderi ve Burdett (2019), Hosseini ve diğ. (2019), Capelle ve diğ. (2019) ve Dukkanci ve diğ. (2019).

Çalışmalarda diğer olarak ele alınan ve yapay sinir ağlarının kullanılmış olduğu çalışma ise Schwardt ve Fischer (2009) tarafından literatüre kazandırılmıştır.

Değerlendirilmeye alınan YSARP çalışmalarında en az iki kere kullanılmış olan çözüm yöntemlerinin çeşitlerine ve sayılarına göre analiz edilmiş hali Şekil 1.3'de görülmektedir. Şekil 1.3 incelendiğinde, YSARP çalışmalarında ilk dört sıradaki çözüm yöntemleri sırası ile Tavlama Benzetimi (TB) (34), Karışık Tamsayılı Programlama (KTP) (34), Genetik Algoritma (GA) (23) ve Tabu Arama'dan (TA) (23) oluşmaktadır. 13 çalışmada ise Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma II (BSGA-II) kullanıldığı göz önüne alındığında GA yaklaşımının YSARP çözümünde yüksek oranda yer aldığı görülmektedir. Çözüm yöntemleri incelendiğinde, YSARP literatüründe genel olarak metasezgisel çözüm yöntemlerinin araştırmacılar tarafından yoğun bir şekilde çalışılmaya devam edileceği öngörülmektedir.

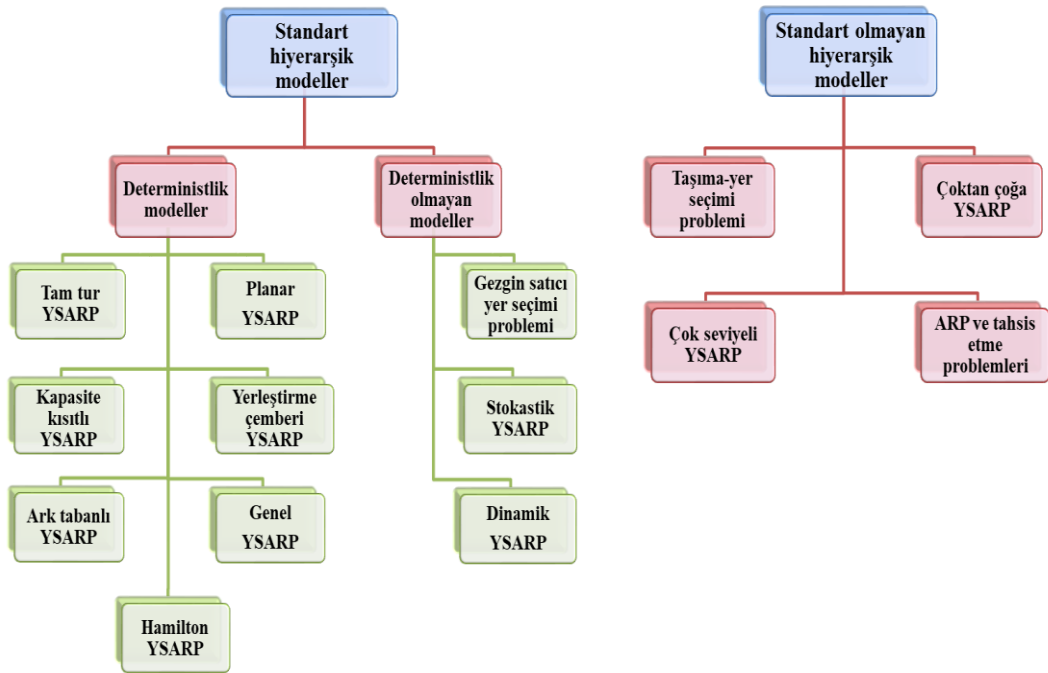


Şekil 1.3. YSARP çalışmalarında kullanılan çözüm yöntemleri

Çalışmalarda kullanılan veri kümeleri incelendiğinde; 44 (%20) çalışmada gerçek veri, 173 (%77) çalışmada ise hipotetik veri kullanıldığı görülmektedir. Çalışmaların büyük çoğunluğunda gerçek veya hipotetik veri ayrı ayrı kullanılmışken bazılarında ise her ikisi birlikte kullanılmıştır. Hipotetik veri çeşitlerinin araştırmacılar tarafından çok büyük bir farkla kullanılmasının yanı sıra vaka çalışmalarından oluşan gerçek veri kullanımının da azımsanmayacak sayıda olduğu anlaşılmaktadır.

2. YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇEŞİTLERİ

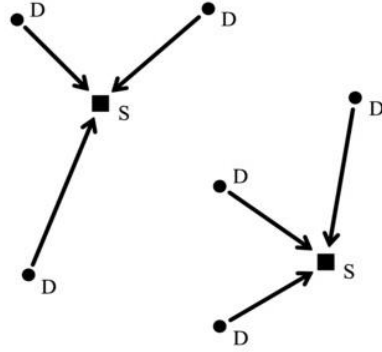
Literatürde YSARP'nin sınıflandırılmasına yönelik olarak yapılmış çalışmalar (Laporte ve diğ., 1988; Berman ve diğ.,1995; Nagy ve Salhi, 2007; Lopes ve diğ., 2008b ve Lopes ve diğ., 2013) mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde Lopes ve diğ. (2013) tarafından yapılmış olan çalışmada, her grupta yer alan problemlerin amaç fonksiyonu durumlarına (tekli ya da çoklu amaç) ve çözüm yöntemlerine (kesin ya da sezgisel) göre yeniden sınıflandırıldığı görülmüştür. YSARP ve genel tanım olarak benzer problemlerin sınıflandırıldığı bu çalışmada, 100'den fazla yayın değerlendirmeye alınmıştır. Aşağıda, Şekil 2.1'de görüldüğü gibi YSARP yapısal olarak standart hiyerarşik modeller ve standart olmayan hiyerarşik modeller olarak temel iki gruba ayrıştırılmış ve daha sonra her grup kendi içinde değişken yapılarına göre ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılmıştır (Lopez ve diğ., 2013).



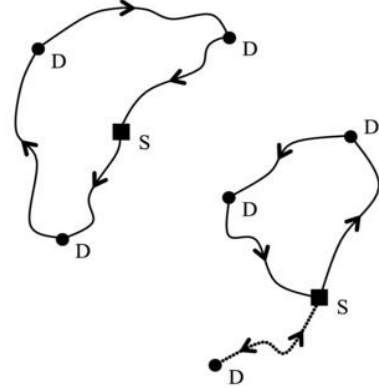
Şekil 2.1. YSARP'nin hiyerarşik sınıflandırması

Bu hiyerarşik sınıflandırmada yer alan bazı modellerin yer seçimi ve dağıtım ile ilişkilendirilmiş durumları Şekil 2.2'de grafik olarak görülmektedir.

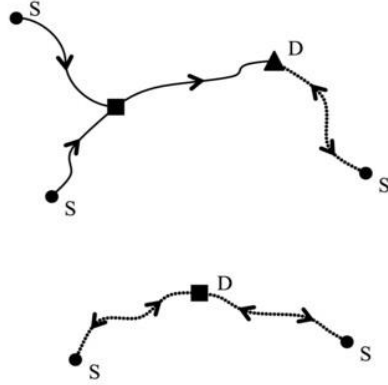
Yer Seçimi – Atama Problemi



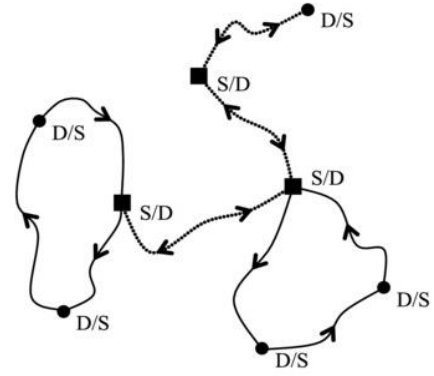
Standart Yapılı YSARP



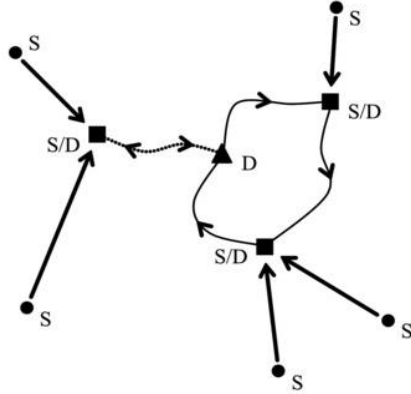
Ulaştırma – Yer Seçimi Problemi



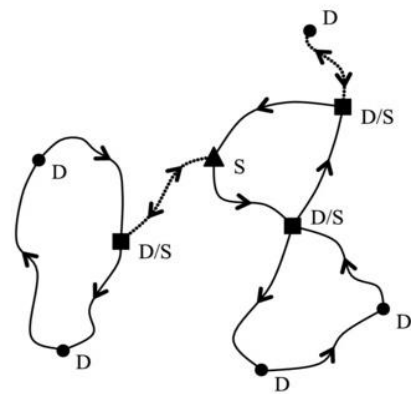
Çoktan Çoğa YSARP



Araç Rotalama – Atama Problemi



Çoklu Seviyeli YSARP



- | | | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|
| ▲ Depo (ilk seviye) | D Talep noktası | — Rota yada Yol |
| ■ Depo (ikinci seviye) | S Arz noktası | - - - Yol |
| ● Müşteri | D/S Talep ya/yada Arz Noktası | → Atama |

Şekil 2.2. Yer seçimi ve dağıtım problemlerinin gösterimi (Lopez ve diğ., 2013)

Bu bölümde YSARP çeşitlerinden kapasite kısıtlı YSARP, katmanlı YSARP, Özel ve amaç fonksiyonlu YSARP, çoklu periyod YSARP, envanter YSARP ve dinamik YSARP hakkında özet bilgiler verilmektedir.

2.1. Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

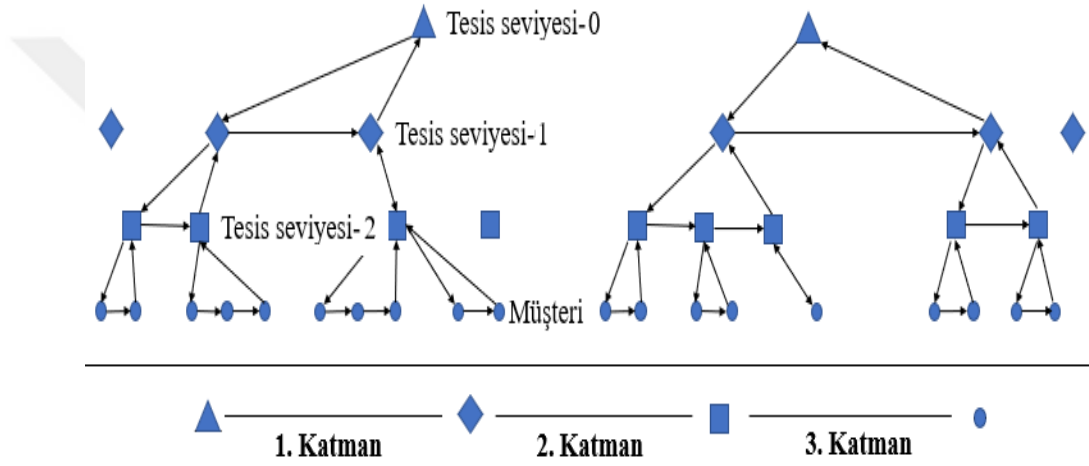
Standard bir YSARP'nin temel bileşenleri tesis (depo), müşteri ve araçlardan oluşur. Depolardan kendilerine atanmış olan müşterilere araçlar vasıtası ile hizmet sağlanırken depo arzının sınır değeri her zaman göz önüne alınmayabilir. Kapasite kısıtlı YSARP, açılması muhtemel olan tesislerin yer seçimi ve bu tesislere atanmış olan müşterilerin taleplerinin karşılanmasında kullanılacak olan araçların rotalama faaliyetlerinin eş zamanlı olarak ele alındığı problemin, tesis ve araç kapasite kısıtlayıcıların göz önünde bulundurulduğu çeşididir. Problemden amaçlanan tesis açma maliyeti, rotalama maliyeti ve araç hazırlık maliyetlerinin toplamını en küçükmektir. Prodhon ve Prins (2015) tarafından literatür taraması şeklinde yapılmış olan ve 72 makalenin incelendiği çalışmada, YSARP çeşitleri içerisinde en fazla (15 adet) çalışmanın kapasite kısıtlı YSARP üzerine olduğu belirtilmiştir. Literatür incelendiğinde, kapasite kısıtlı YSARP'nin araştırmacılar tarafından oldukça ilgi gördüğü ve problem yapısında yapılan bazı eklentiler ile problemin değişik versiyonlarında çalışıldığı görülmektedir.

2.2. Katmanlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Katmanlı (kademeli) fiziksel dağıtım sistemleri günümüz iş dünyasında oldukça geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu katmanlar fabrikalar, ara depolar ve son müşterilerden oluşabilir. Yer seçimine ilişkin kararlar ilk iki katmanda ayrı ayrı ya da eş zamanlı olarak alınabilir. Aktarma noktaları için yer seçiminin mutlak arandığı FTL taşımacılığında olduğu gibi en küçük maliyet akışlı şebeke modellerine yönelik çalışmalar, literatürde oldukça yaygındır (Li ve diğ., 2009; Gendron ve Semet, 2009). Parsiyel taşımacılıklı YSARP modellerinde ise depoların nasıl tedarik edileceği önemli bir sorundur. Genel olarak bu depolar ya üretim tesislerinden ya da ana (bölge) depolarından tedarik edilmektedir. Ancak, bu tedarik noktalarından yüklenen konsolide edilmiş yük miktarlarını çoğu kez tam kamyon yükü oluşturur (Rath ve Gutjahr, 2011).

YSARP ve ARP çalışmalarında yer alan çoklu katmanlı ya da N katmanlı bir modeldeki temel varsayım, müşterilerin doğrudan merkezi bir depodan değil, N aşamalı bir dağıtım ağındaki N tane katman vasıtasıyla hizmet almasıdır. N tane

aşamalı bir dağıtım ağı, $N + 1$ tane yerleşim seviyesi içerir. $n \in \{1, \dots, N\}$ olmak üzere bir katman, yerleşim seviyesi $(n-1)$ 'den yerleşim seviyesi n 'e dağıtımı sağlamaktadır (Şekil 2.3). Her bir n katmanında, sadece o katmanda tanımlanmış tesisleri (depoları) ziyaret edebilen araçlar mevcuttur. Farklı katmanlarda yer alan araçlar arasında yük değişimleri yapılması gerekir. Son yıllarda çok katmanlı YSARP üzerine birçok çalışma yayınlanmıştır (Drexl ve Schneider, 2015). Çoklu katmanlı YSARP'nin genel olarak üç farklı versiyonu vardır. Bu versiyonlar, iki katmanlı YSARP, mobil depolu problemler ile kamyon ve römork rotalama problemlerinden oluşmaktadır (Prodhon ve Prins, 2014).



Şekil 2.3. 3-Katmanlı YSARP örnek gösterimi (Drexl ve Schneider, 2015)

2.3. Özel ve Çoklu Amaç Fonksiyonlu Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

YSARP versiyonlarında genel olarak en küçüklenmesi hedeflenen amaç fonksiyonu, açık depoların sabit maliyetleri ve rotalama maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Ancak tıbbi, nükleer, kimyasal atık gibi tehlikeli maddelerin yok edilmesi problemi ve deprem, yanardağ patlaması, tsunami, reaktör sızıntısı gibi doğal ya da insani durumlarda yapılması gereken faaliyetlerin organize edilmesini içeren afet lojistiği ve insani yardım lojistiği gibi güncel konularda, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi içerisinde yer almaktadır. Ayrıca bu tarz problemler, gerçek hayat problemlerine uyarlanabilir bir yapıya sahiptir. Yaygın olmayan optimizasyon kriterleri ile karakterize edilmiş ve ilgi çekici değişken durumları bir araya getiren bu tip problemler, son dönemlerde daha fazla çalışılmaya başlanmıştır (Drexl ve Schneider, 2015).

2.4. Çoklu Periyod Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Periyod ya da gün olarak zaman dilimlerine bölünmüş bir planlama dönemini içeren YSARP çalışmaları nispeten yeni sayılmaktadır. Stratejik karar seviyesi olan tesis yer seçimi ve operasyonel karar seviyesi olan rota düzenlemesi arasındaki her bir periyotta tedarik edilen müşterilerin seçimi, taktiksel anlamda üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Bir çoklu periyod YSARP, probleme çoklu periyod dönemleri eklenmesi ve her bir müşterinin teslimat günleri kümesi ile periyodik olarak ilişkilendirildiği bir ARP'ye yer seçimi kararlarının eklenmesiyle elde edilmektedir. Farklı teslimat günleri için farklı talepler belirlenebilir. Bir periyod YSARP modeli, tüm planlama dönemi boyunca açılacak depoların alt kümesini, her bir periyod için izin verilmiş teslimat günlerine göre ziyaret edilmiş müşterilerin alt kümesini, müşterilerin açık depolara atanma sürecini ve her bir depoya atanmış müşterilere hizmet vermede kullanılan rotaları içerir ve bir müşterinin planlama dönemi süresince farklı depolardan hizmet alabileceği varsayılır. Amaç, planlama dönemi boyunca depo açma maliyetleri, sabit araç maliyetleri ve rota toplam maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti en küçükmektir (Koç, 2016).

2.5. Envanter Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

YSARP literatürü incelendiğinde envanter ve rotalama kararlarının eş zamanlı olarak alındığı depo yer seçimi ile ilgili çalışma sayısının nispeten az sayıda olduğu görülmektedir. Bu tarz problemler envanter YSARP olarak adlandırılır. Çoğu araştırma düzenli talebi (Wilson modeli) varsayan ekonomik sipariş miktarı formülasyonunu göz önünde bulundurmaktadır. Problemde ideal stok seviyesi belirlenmeye çalışılır. Belirlenen stok seviyesi, seçilmesi muhtemel tesis yerlerinin kapasite kısıtına göre değerlendirilir. İlerleyen süreçte kapasite yetersizliği ile karşılaşıya kalınması önlenmiş olur. Çünkü tesis yatırımının son derece ağır maliyet getirmesi ve kısa sürede yetersiz kalması, firmalar açısından son derece yıpratıcı bir etkiye sahip olabilmektedir (Pekel, 2018).

2.6. Belirsiz Verili Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

YSARP'nin yapısı; müşteri talepleri, müşteriler ve ulaştırma süreleri, olasılık dağılımlarının tahmininde geçmiş dönem verilerinin kullanılması gibi tesadüf sel

değişkenler olarak modellenebilen belirsizliklerden etkilenebilir. Böyle durumlarda stokastik, bulanık ya da yapay sinir ağlarının kullanıldığı modeller geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Bu problem tipi genellikle iki aşamada çözülmektedir. Birinci aşamada yer seçimi yapılırken, ikinci aşamada müşterilerin rotalanması gerçekleştirilmektedir (Marinakis, 2015). Paratikte, tesadüfisel değişkenlerin dağılımını elde etmek zor olabilir ve bu amaçla bulanık değişkenlerin kullanımı iyi bir alternatif olmaktadır (Prodhon ve Prins, 2014). Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının uygulandığı modeller, stokastik modellere göre oldukça azdır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı uygulamalarda, gelecek dönemlere ait talep tahminleri yapılır ve bu tahminler ölçüsünde yer seçimi ve araç rotalama yapılmaktadır.

2.7. Dinamik Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Dinamik YSARP, zaman içerisinde ortaya çıkan yeni ve değişen amaç ya da amaçlara problemin adapte edilmesine dayalı olarak uygulanmaktadır. Gerçek hayat süreçlerinde gözlenen bu değişim, daha çok gerçek çevresel faktörler ya da işletme politikaları doğrultusunda ortaya çıkabilmektedir. İşletmeler için ortaya çıkabilecek bu yeni durumlara kısa bir süre içerisinde uyum sağlamak oldukça önemlidir. Aksi takdirde bu yeni durumlar (amaçlar) işletmeler için ciddi seviyelerde kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle dinamik YSARP çeşidinde belirsizlik durumları ile baş edebilecek esnek çözüm metotlarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Gao ve diğ., 2016).

3. KAPASİTE KISITLI YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

YSARP ile ilgili ilk çalışmalar Salt ve Burke'nin (1999) çalışmasında belirtmiş olduğu gibi genellikle kapasite kısıtsız YSARP ile ilgili olmasına rağmen daha sonraki dönemlerde probleme depo ve araç kapasite kısıtlarının eklenmiş olduğu versiyonu olan kapasite kısıtlı YSARP'ye odaklanmış çalışma sayısında bir artış gözlenmektedir.

Bu tez çalışmasında, aşağıdaki notasyonları ve matematiksel modeli Prins ve diğ. (2007) tarafından kullanılmış olan araç ve depo kapasiteleri üzerinde sınırlandırılmış kapasiteli homojen bir araç filosuna sahip bir tam, ağırlıklandırılmış ve yönlendirilmemiş bir şebekeli kapasite kısıtlı YSARP'nin optimal çözümüne odaklanıldı.

3.1. Matematiksel Model

Klasik bir YSARP'de problemin değişik versiyonlarına göre yapısal olarak değişebilmekle beraber temel bileşenlerini, bilinen bir talebe sahip bir müşteri kümesi, ağ üzerindeki olası depo yerleşimleri kümesi ve özdeş ya da farklı bir araç filosu kümesinden oluşmaktadır. Problemin depo ve araç kapasitesi eklenmiş hali olan kapasite kısıtlı YSARP'de temel amaçlar müşterilere hizmet verilecek olası depoların, depolara atanacak müşterilerin ve müşteriler ile depolar arasındaki araç rotalarının belirlenmesidir. Bu amaçlara yönelik olarak depoların açılmasından ve açık depolara atanmış olan müşteri taleplerinin araçlar vasıtasıyla dağıtımından kaynaklanacak maliyetlerin toplamında en küçüklenmesi gerekmektedir.

Bu süreçte oluşan maliyetler aşağıda verilmektedir:

- i) Bir depo açmaya yönelik bir sabit maliyet,
- ii) Araçların rotalama süreçlerinde hazırlık maliyetlerine ilişkin bir dağıtım maliyeti,
- iii) Araçların katettiği toplam mesafelere ilişkin bir doğrusal taşıma maliyeti.

Kapasite kısıtlı YSARP probleminin temel varsayımları aşağıdaki gibidir:

- Her müşteriye kesinlikle bir kez uğranmalı,
- Her bir araç rotasında bir kez kullanılmalı,
- Her bir rota bir depodan başlamalı ve tekrar aynı depoda son bulmalı,
- Rota üzerindeki herhangi bir hat üzerinde taşınan yük miktarı araç kapasitesini aşmamalı,
- Depoya atanan müşterilerin talepleri toplamı atanmış oldukları deponun kapasitesini aşmamalı.

Bu maliyetlerle ilgili örnek vermek gerekirse, belirli bir yönlendirilmemiş $G = (V, E)$ şebekesi verilmiş olsun. Bu şebeke üzerindeki bir V kümesi, $V = I \cup J$ olmak üzere m sayıda potansiyel depo yerleşiminin bir I alt kümesinden ve n sayıda müşterinin bir $J = V/I$ kümesi birleşiminden oluşmaktadır. E ise V kümesi içinde bulunan her bir düğüm çifti arasındaki arkları temsil eder. Negatif olmayan (mesafe odaklı) bir c_{ij} maliyetine sahip tüm (i, j) arkları $((i, j) \in E)$, $c_{ij} = c_{ji}$ olmak üzere bir mesafe maliyetini temsil etmektedir. Şebeke üzerindeki her bir $i \in I$ deposu bir W_i kapasitesine ve O_i depo açma maliyetine sahiptir. Her bir $j \in J$ müşterisi bir d_j talebine sahip olup bu talep, tek bir araç tarafından tedarik edilmelidir. Homojen ve mevcut araç kümesi (K) içindeki her bir araç, Q kapasitesine sahiptir. Araçlardan herhangi biri i deposuna atandığı zaman, tek bir rotadaki ilgili depoya bağlı olarak bir F_i sabit maliyeti oluşur. Her bir aracın rotadaki başlangıç noktası ve bitiş noktası aynı depo olmalı ve bir rota üzerindeki müşterilerin toplam talebi, rotaya atanmış olan aracın kapasitesini aşmamalıdır.

Kapasite kısıtlı YSARP'de temel amaçlar daha önce de belirtildiği gibi açılacak olan depo yerleşimlerinin belirlenmesi, müşterilerin bu depolara atanması ve teslimatlar için araç rotalarının oluşturulmasıdır. Tüm bu süreçler de en düşük maliyetle gerçekleştirilmelidir. Kapasite kısıtlı YSARP'nin matematiksel formülasyonunda kullanılan parametreler şunlardır:

- V : Düğümlerin kümesi, $V = I \cup J$
 E : Bağlantıların (arkların) kümesi, $((i, j) \in E)$
 I : Potansiyel depo düğümleri kümesi, $I = \{1, 2, \dots, m\}$
 J : Müşterilerin kümesi, $J = \{1, 2, \dots, n\}$

- O_i : i deposunu açma maliyeti
 W_i : i deposunun kapasitesi
 d_j : j müşterisinin talebi
 K : Mevcut araç sayısı (filo ölçüğü)
 Q : Araç kapasitesi
 F : Kullanılan araç başına sabit maliyet
 c_{ij} : Her bir (i, j) arkı için ulaştırma maliyeti

Kapasite kısıtlı YSARP'nin formülize etmek için kullanılan karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 y_i &= \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ deposu açılırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \\
 f_{ij} &= \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ müşterisi } i \text{ deposuna atanırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \\
 x_{jlk} &= \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ aracı } (k \in K) \text{ rotadaki } (j, l) \text{ arkında } j' \text{ den } l' \text{ ye geçerse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Kapasite Kısıtlı YSARP'nin tamsayı programlama formülasyonu aşağıdaki gibidir.

Amaç fonksiyonu,

$$\min z = \sum_{i \in I} O_i y_i + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} F_i x_{ijk} \quad (3.1)$$

Kısıtlayıcılar,

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in V} d_j x_{ijk} = Q \quad \forall k \in K \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in J} d_j f_{ij} = W_i y_i \quad \forall i \in I \quad (3.4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} - \sum_{j \in V} x_{jik} = 0, \quad \forall i \in V, k \in K \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall k \in K \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subseteq J, k \in K \quad (3.7)$$

$$\sum_{u \in J} x_{iuk} + \sum_{u \in V/\{j\}} x_{ujk} \leq 1 + f_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (3.8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (3.9)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (3.10)$$

$$f_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in V \quad (3.11)$$

Denklem (3.1), sırası ile depo açma maliyetleri, kullanılan araçların sabit maliyetler ve rotalama maliyetlerinin toplamından oluşan amaç fonksiyonunu en küçükler. Denklem (3.2), her bir müşterinin tamamen bir rotaya ait olduğunu ve her bir müşterinin rotada sadece bir kere öncelikli olduğunu garanti eder. Denklem (3.3) ve Denklem (3.4), sırası ile rotalar ve depolar için derece kısıtlayıcıları olarak bilinen kapasite kısıtlayıcılarıdır. Denklem (3.5) ve Denklem (3.6), her bir rotanın sürekliliğini garanti etmektedir ve bu kısıtlayıcılara göre her bir rota, rotanın başladığı yerde biter. Denklem (3.7), alt tur eleme kısıtıdır. Denklem (3.8), müşteri ve depo arasında mevcut bir rota olması durumunda müşterinin o depoya atanmasını garanti eder. Sonda bulunan Denklem (3.9), Denklem (3.10) ve Denklem (3.11), formülasyonda kullanılan ikili değişkenleri (tamsayılık kısıtlayıcıları) tanımlar.

3.2. Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi Literatürü

Depo ve araç kapasitesinin göz önünde bulundurulduğu kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümüne yönelik olarak tez çalışması sürecinde analiz edilen literatürde yer alan kesin, sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Kapasite kısıtlı YSARP çözümüne yönelik çalışmalar

No	Araştırmacı	Versiyon	Çözüm şekli	Çözüm yöntemi
1	Melechovský ve diğ. (2005)	-	Metasezgisel	Değişken komşuluk arama - Tabu arama
2	Prins ve diğ. (2006)	-	Metasezgisel	Genetik algoritma- Mesafe temelli yaklaşım
3	Bouhafs ve diğ. (2006)	-	Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Karınca kolonisi algoritması
4	Prins ve diğ. (2007)	-	Kesin - Metasezgisel	Lagranj gevşetmesi - Tanecikli tabu arama yaklaşımı
5	Barreto ve diğ. (2007)	-	Sezgisel	Kümeleme tabanlı ardışık sezgisel
6	Marinakis ve diğ. (2008)	-	Metasezgisel	Bal arısı algoritması
7	Yan ve diğ. (2008)	-	Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Karınca kolonisi algoritması
8	Lopes ve diğ. (2008)	-	Sezgisel	Önce dağıt sonra yer seçimi sezgiseli
9	Peng (2008)	-	Metasezgisel	Genetik algoritma
10	Bouhafs ve diğ. (2008)	-	Metasezgisel	Tabu arama - Karınca kolonisi algoritması
11	Duhamel ve diğ. (2010)	-	Metasezgisel	İteratif evrimsel yerel arama
12	Vincent ve diğ. (2010)	-	Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Komşuluk arama algoritması
13	Belenguer ve diğ. (2011)	-	Kesin	Dal-kesme algoritması
14	Baldacci ve diğ. (2011)	-	Kesin	Küme ayırma - Dual tırmanma metodu
15	Zarandi ve diğ. (2011)	Çoklu depolu	Metasezgisel	Güvenilirlik teorisi- Tavlama benzetim
16	Contardo ve diğ. (2012)	İki kademeli	Kesin - Sezgisel	Dal-kesme algoritması - Uyarlanabilir geniş komşuluk arama
17	Contardo ve diğ. (2013)	-	Kesin	Dal-kesme algoritması
18	Mehrjerdi ve Nadizadeh (2013)	Bulanık talepli	Metasezgisel	Aç gözlü kümeleme - Karınca kolonisi algoritması
19	Golozari ve diğ. (2013)	Bulanık kapasiteli	Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Mutasyon operatörü
20	Escobar ve diğ. (2013)	-	Metasezgisel	Tanecik değişkenli yerel arama
21	Zarandi ve diğ. (2013)	Belirsizlik altında zaman çerçeveli	Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Güvenilirlik teorisi
22	Ghaffari-Nasab ve diğ. (2013)	Olasılıksal ulaşım süreli iki amaçlı	Metasezgisel	Değişken komşuluk arama
23	Ting ve Chen (2013)	-	Metasezgisel	Karınca kolonisi algoritması
24	Nadizadeh ve Nasab (2014)	Bulanık talepli dinamik	Kesin - Metasezgisel	Bulanık şans kısıt ve güvenilirlik teorisi - Karınca kolonisi algoritması
25	Contardo ve diğ. (2014)	-	Metasezgisel	Tanecik tesadüf uyarlanabilir arama prosedürü - İteratif öğrenme prosedürü

Tablo 3.1. (Devam) Kapasite kısıtlı YSARP çözümüne yönelik çalışmalar

26	Escobar ve diğ. (2014b)	-	Metasezgisel	Tanecik değişkenli tabu arama
27	Escobar (2014a)	-	Metasezgisel	Tanecik değişkenli tabu komşuluk arama
28	Winkenbach ve diğ. (2015)	İki kademeli	Kesin	Karışık tamsayılı programlama
29	Vincent ve diğ. (2015)	Açık	Metasezgisel	Tavlama benzetimi
30	Karaoglan ve Altıparmak (2015)	Geri dönüş yüklemeli	Kesin - Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Genetik algoritma - Karışık Tamsayılı programlama
31	Liu ve Kachitvichyanukul (2015)	Çok amaçlı	Metasezgisel	Parçacık sürü optimizasyonu
32	Marinakis (2015)	-	Metasezgisel	Geliştirilen parçacık sürü optimizasyonu
33	Huang (2015)	Dağıtmalı-toplamalı ve stokastik talepli	Metasezgisel	Uyarlanmış tabu arama
34	Lopes ve diğ. (2016)	-	Metasezgisel	Hibrit genetik algoritma
35	Bashiri ve diğ. (2016)	Yardımcı araçlı	Kesin - Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Karışık tamsayılı programlama
36	Toro ve diğ. (2017)	Çoklu amaçlı yeşil	Kesin	Karışık tamsayılı doğrusal programlama
37	Peng ve diğ. (2017)	-	Metasezgisel	Parçacık sürü optimizasyonu
38	Ferreira ve de Queiroz (2018)	-	Metasezgisel	Tavlama benzetimi - Lin-Kernighan sezgiseli
39	Hosseini ve diğ. (2019)	Teşviğe bağlı geri dönüşlü seçici toplamalı	Kesin ve Sezgisel	İteratif yerel arama - Karışık tamsayılı programlama
40	Pekel ve Kara (2019)	Bulanık kapasiteli	Metasezgisel	Değişken komşuluk arama - Evrimsel yerel arama
41	Yu ve diğ. (2019)	Sıkı kapasite kısıtlayıcı	Metasezgisel	Hibrit genetik algoritma
42	Alvares ve diğ. (2020)	Bölünmüş teslimatlı iki kademeli	Kesin-Metasezgisel	Değişken komşuluk iniş alg.- KTP
43	Akpınar ve Akpınar (2020)	-	Metasezgisel	Uyarlanabilir geniş komşuluk arama - Değişken komşuluk arama

4. ÖNERİLEN ALGORİTMADA KULLANILAN METASEZGİSELLER

Kapasite kısıtlı YSARP, iki ayrı problemin (stratejik olarak TYSP ve operasyonel-taktiksel olarak ARP) eş zamanlı incelenmesi ile ortaya çıkan bir problem tipidir. NP-Zor yapıya sahip iki problemin bileşiminde oluşan kapasite kısıtlı YSARP’de NP-Zor yapıya sahiptir. Bir çok kısıt, şart ve işlem adımı içeren bu problemin çözümü içinde literatürde çok sayıda farklı algoritma ve teknik kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında kapasite kısıtlı YSARP’nin çözümü için Dağıtık Arama (DA) ve Genetik Algoritmanın (GA) hibrit bir yapıda kullanıldığı bir çözüm metodu önerilmektedir. Aşağıda çözüm sürecinde kullanılan metasezgisel yöntemler ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

4.1. Dağıtık Arama Algoritması

Zor optimizasyon problemlerine başarıyla uygulanan evrimsel bir metasezgisel yöntem olan “Dağıtık Arama” (DA) algoritması literatürde ilk olarak doğrusal programlama yöntemi için bir sezgisel algoritma olarak Glover (1977) tarafından tanıtılmıştır. Ancak algoritmanın dayandığı ve karar kurallarını ve problem kısıtlamalarını birleştiren formülasyonlar 1960’lara kadar geri gitmektedir. Glover’in 1977’deki çalışmasındaki çözümler, arama uzayının değişik bölümlerindeki nitelikleri dikkate aldığı için tesadüfse olarak elde edilmemiştir. Genetik algoritmalar gibi diğer evrimsel yöntemlerin aksine, DA yeni çözümler üretim sürecinde önemli faydalar sağlayan sistematik tasarım ve yöntemler kullanmaktadır. DA algoritmasının odağı sistematik olarak problemin çözüm süreçlerinde elde edilmiş kaliteli çözümlerin içerisinde yer aldığı bir referans noktası kümesi ile yakından ilişkilidir. Kaliteli bir çözüm için kriter sadece amaç fonksiyonu değerleri ve tekli bir çözüm ile sınırlandırılmaz, aynı zamanda belirli özelliklere göre birbirlerinden farklılaşan çözümlerin oluşturduğu alt kümelerde arama uzayı içerisinde yer alırlar.

Glover’in (1998) sunmuş olduğu DA şablonu, araştırmacılar tarafından bugüne kadar olan DA algoritması uygulamalarının çoğu için bir ana referans olarak görülmektedir.

4.1.1. Temel dağıtık arama algoritması tasarımı

DA algoritması metodolojik olarak oldukça esnek bir yapıya sahiptir. Bu esneklik sayesinde algoritmanın her bir değişik versiyonu çeşitli şekillerde ve gelişmişlik derecelerinde uygulanabilir. DA yönteminin temel tasarımı beş farklı metoda dayanmaktadır. Algoritmanın gelişmiş özellikleri, bu beş metodun uygulanma şekli ile yakından ilgilidir.

DA yönteminin uygulama mekanizmalarının tek bir düzgün tasarımla sınırlı olmaması, belirli bir uygulamada etkili olabilecek stratejik olasılıkların araştırılmasına olanak sağlar. Beş metottan oluşan DA algoritmasının uygulama süreci aşamaları aşağıda verilmektedir (Glover, 1998):

1. Farklılaştırma üretim metodu, girdi aşaması için tesadüf sel olarak seçilmiş bir alt çözüm (çocuk birey) kullanarak farklı alt çözümleri oluşturulur ve bu çözümler bir havuzda toplanır.
2. İyileştirme metodu, bir alt (çocuk) çözümü bir ya da daha fazla geliştirilmiş alt çözüme dönüştürür. Süreçte girdi ve çıktı olarak yer alan çözümlerin olurlu çözümler olması beklenmez, ancak çıktı çözümlerinin daha kaliteli olması genel olarak beklenen bir durumdur. Girdi alt çözümde bir gelişme sağlanmaz ise elde edilen geliştirilmiş alt çözüm, devam eden süreç içerisinde girdi çözüm ile aynı olarak değerlendirilir.
3. Referans kümesi güncelleme metodu, çözüm sürecinde elde edilen b sayıdaki (genellikle $b \leq 20$ olması beklenir) en iyi çözümden oluşan bir referans kümesi oluşturmakta ve devamlılığını sağlamaktadır. Çözümler, kalite ve farklılık düzeylerine göre referans kümesine eklenir.
4. Alt küme üretim metodu, referans kümesi üzerinden işlem görmekte ve oluşturulan kombine çözümler için bir temel noktası olarak çözümlerden bir alt küme oluşturma fonksiyonunu sağlamaktadır.
5. Çözüm kombinasyon metodu, alt küme üretim metodu vasıtasıyla elde edilen çözümlerin belirli bir alt kümesini bir ya da daha fazla kombine çözüm vektörüne dönüştürür.

Bu beş metot arasındaki etkileşim mekanizması süreci bir P (popülasyon ölçeği) sayıdaki başlangıç çözüm popülasyonu oluşturulması ile başlamakta ve çözümlerden elde edilen bir referans kümesi (RefSet) üzerinden işlem görmektedir. Farklılaştırma üretim metodu, farklı çözümlerin P sayıdaki geniş bir kümesini oluşturmak için kullanılır. P ölçeği genel olarak RefSet ölçeğinin en az 10 kat büyüğü olarak belirlenir. Başlangıç referans kümesi, referans küme güncelleme metoduna göre oluşturulmaktadır. Yukarıda belirtilen beş metodun yer aldığı DA algoritmasının sahte kodu aşağıdaki gibidir (Marti ve diğ., 2006):

1. $P = \emptyset$ ile başla. Farklılaştırma üretme metodunu bir çözüm elde etmek için kullan ve iyileştirme metodunu uygula. Eğer $x \notin P$ ise daha sonra x değerini P değerine ekle ($P \cup x$), aksi takdirde x değerini terk et. Bu adımı $|P| = P_{ölçek}$ olana dek devam ettir.
2. P'deki en iyi b çözümleri ile beraber, referans küme güncelleme metodunu kullanarak $RefSet = \{x^1, \dots, x^b\}$ oluştur. x^1 en iyi çözüm ve x^b en kötü çözüm olmak üzere amaç fonksiyonu değerlerine göre RefSet içerisindeki çözümleri sırala ve “yeni çözümler” = doğru yap.
3. while (“yeni çözümler”) do
4. Alt küme üretme metodu ile yeni alt kümeler üret.
5. “yeni çözümler” = yanlış yap.
6. while (“yeni alt kümeler” $\neq \emptyset$) do
7. “yeni alt kümeler” içinde bir sonraki alt kümeyi (s) seç.
8. Bir veya daha fazla yeni alt çözüm (x) elde etmek için s’ye çözüm kombinasyon metodunu, alt çözümlerde iyileştirme metodunu uygula.
9. Referans küme güncelleme metodunu uygula.
10. if (RefSet değişikliğe uğradı) then
11. “yeni çözümler” = doğru yap.
12. end if
13. s’yi “yeni alt kümeler” den sil.
14. end while
15. end while

Referans çözümleri seçmek için kullanılan kurallardan bağımsız olarak, RefSet içerisindeki çözümler kaliteleri ile ilişkili olarak sıralanır ve en iyi çözüm bu listenin başında yer alır. Arama süreci daha sonra “yeni çözümler” (Boolean değişkeni) için doğru ifadesini atanarak başlatılır. Adım 3’te, “yeni alt kümeler” üretilir ve “yeni çözümler” yanlış ifadesi ile değiştirilir. Alt küme üretme metodunun en basit şekli referans çözümlerin tüm ikili çiftlerinin oluşturulması ile elde edilir. Böylece, metod $(b^2 - b)/2$ sayıda ikili “yeni alt küme” ile sonuçlanan alt küme ölçeğine odaklanmaktadır. Tüm “yeni alt küme” çiftlerinden sözlüksel sıralamada her seferinde bir tane seçilir ve çözüm kombinasyonu metodu uygulanarak bir ya da daha fazla alt çözüm üretilir (Adım 5). Bu alt çözümler eğer mevcutsa iyileştirme metoduna tabi tutulur. Referans güncelleme metodu Adım 6’da bir kez daha uygulanır. Bu adımdaki en basit referans küme güncelleme metodu uygulaması, mevcut RefSet ve devam eden çözüm kümesinden amaç fonksiyonu değerine göre en iyi çözümler ile yeni bir RefSet oluşturmaktadır. Referans kümesi güncelleme metodunun uygulanmasından sonra eğer RefSet değişmişse, en az bir yeni çözümün referans kümesine eklenmesi sürecini temsilen “yeni çözümler” doğru ifadesi ile değiştirilir (Adım 7). Kombinasyon metoduna yeni tabi tutulan s alt kümesi, Adım 8’de “yeni alt kümeler” den silinir. Algoritmadaki temel prosedür, “yeni alt kümeler” içindeki tüm alt kümelerin kombinasyon yöntemine tabi tutulması ve geliştirilmiş alt çözümlerin hiçbirinin RefSet’e referans küme güncelleme metodu kuralları altında kabul edilmemesi durumunda sona ermektedir.

RefSet, kombinasyon yönteminde yeni çözümler üretmek için kullanılan yüksek kaliteli ve farklı çözümlerin her ikisinin bir toplamıdır. Bu temel tasarımda, bir başlangıç referans kümesi oluşturulabilir ve sonrasındaki arama sırasında bu başlangıç referans kümesini güncellemek için basit bir mekanizma kullanılabilir. Referans kümesi $b = b_1 + b_2 = |\text{RefSet}|$ şeklinde gösterilir. Başlangıç referans kümesinin oluşturulması, P içerisinde b_1 sayıdaki en iyi çözümlerin seçilmesiyle başlar ve bu çözümler RefSet’e eklenir ve P’den silinir. P-RefSet’teki her çözüm için RefSet’teki çözümlere olan en küçük mesafeler hesaplanır. Daha sonra, bu en küçük mesafelerin en büyüğüne sahip olan çözüm seçilmekte, daha sonra RefSet’e eklenerek P’den silinmekte ve nihayetinde en küçük mesafeler güncellenmektedir.

Başlangıç referans kümesi oluşturulduktan sonra, kombinasyon metodu, Adım 7’de olduğu gibi üretilen alt kümelere uygulanır. Temel tasarımda, kombinasyon yönteminin uygulanmasından sonra referans kümesinin statik güncellemesi adlı işlem kullanılır. Referans çözümlerin bir kombinasyonu olarak oluşturulan alt çözümler, bir çözüm havuzuna yerleştirilir. Hem kombinasyon metodu hem de iyileştirme metodu uygulandıktan sonra, çözümler havuzda toplanmakta ve sonrasında referans kümesi güncellenmektedir. Yeni referans kümesi, mevcut referans kümesi çözümleri ve havuz çözümlerindeki en iyi b çözümlerinden oluşur, yani güncelleme referans kümesi, $RefSet \cup$ havuz) içerisindeki en iyi b çözümlerini içermektedir.

DA metodolojisindeki beş metottan sadece dördü kesinlikle gereklidir. İyileştirme metodu genellikle yüksek kaliteli sonuçlar isteniyorsa gereklidir, ancak onsuz bir DA prosedürü uygulanabilmektedir. Öte yandan, iyileştirme metodu olarak kısa vadeli bir Tabu Arama prosedürü de kullanılabilir (Laguna ve Marti, 1999).

4.1.2. Gelişmiş dağıtık arama algoritması tasarımları

Metasezgisel bir çerçevede gelişmiş stratejiler göz önüne alındığında, performansı artırma hedefi genel olarak uygulama ve ayarlama açısından kolay bir prosedür tasarlama hedefi değildir. Gelişmiş tasarımlar her zaman olmasa da genellikle daha yüksek karmaşıklığa ve ek arama parametrelerine ihtiyaç duymaktadır.

4.1.2.1. Dinamik referans küme güncelleme

Referans kümesi, bir DA prosedürü için temel ve vazgeçilmez bir bileşendir. Çözüm arama sırasındaki herhangi bir zamanda, tüm referans çözümler, uygun bir metrikle ölçüldüğü için birbirine benziyorsa, DA kombinasyonları gerçekleştirmek veya yeni alt çözümleri geliştirmek için karmaşık bir prosedür uygularken bile bulunan en iyi çözüm üzerinde iyileştirme yapamaz. Kombinasyon metodu, girdi olarak kullandığı referans çözümlerle sınırlıdır. Bu nedenle, referans küme dikkatli bir şekilde oluşturulmaz ve arama sırasında korunmazsa, en gelişmiş kombinasyon yöntemine sahip olmak bile oldukça az avantaj sağlar. Temel tasarımda, $RefSet$ ’e üye olan yeni çözümler, Yeni alt çözümlerdeki tüm çözüm çiftler kombinasyon metodu sürecine girene kadar birleştirilmez. Yeni referans kümesi, havuz içerisindeki en iyi çözümler ve şu anda $RefSet$ ’teki mevcut çözümlerin birleşiminden oluşturulmuştur. Bu stratejiye,

referans kümesinin statik güncellemesi denir. Statik güncelleme stratejisinin alternatifi, yeni çözümlere Kombinasyon metodunun uygulayan, yani yeni çözümleri temel tasarımdakinden daha hızlı bir şekilde birleştiren dinamik güncelleme stratejisidir (Marti ve diğ., 2006). Bu durumda, referans kümesine yeni bir çözüm kabul edilirse amaç, bu yeni çözümün mümkün olan en kısa sürede kombinasyon metoduna tabi tutulmasına izin vermektir. Başka bir deyişle, referans kümesini güncellemek için tüm kombinasyonlar yapılarına kadar beklemek yerine, yeni bir alt çözümün referans kümesine kabul edilmesini gerektiriyorsa, küme bir sonraki kombinasyon yapılmadan hemen önce güncellenir. Bu nedenle çözümler üretilir üretilmez, ya RefSet'in bir parçası haline geldiği ya da RefSet'ten çıkarıldığı için bu tasarımda bir ara havuza gerek yoktur. Dinamik güncellemenin avantajı, referans seti düşük kalitede çözümler içeriyorsa, bu çözümlerin hızla değiştirilmesi ve gelecekteki kombinasyonların iyileştirilmiş çözümlerle yapılmasıdır. Dezavantajı, potansiyel olarak umut vaat eden bazı kombinasyonların dikkate alınmadan önce ortadan kaldırılmasıdır (Marti ve diğ., 2006).

4.1.2.2. Referans küme yeniden oluşturma

Referans kümesine yeni alt çözümler kabul edilmediğinde tetiklenen, bir güncelleme prosedürüdür. Bu sayede Kombinasyon ve Geliştirme Metotlarının mevcut referans çözümlerini değiştirmek için yeterli kalitede çözümler sağlamadığı durumda referans kümesini kısmen yeniden oluşturmak için bir mekanizma eklenir.

RefSet aşağıdaki gibi çalışan ve boyutunun $b = b_1 + b_2$ olduğunu varsayan bir farklılaştırma güncellemesi ile kısmen yeniden oluşturulur. x^{b_1+1}, \dots, x^b çözümleri RefSet'ten silinir. Farklılaştırma üretim metodu, hedefin x^1, \dots, x^{b_1} referans çözümlerine göre farklı çözümler üretmek olduğu düşünülerek yeniden başlatılır. Daha sonra, yeni çözümlerin bir P kümesini oluşturmak için farklılaştırma üretim metodu kullanılır. RefSet içerisindeki b_2 çözümleri x^{b_1+1}, \dots, x^b farklılığı maksimuma çıkarma kriteri ile sırayla P'den seçilir. Genellikle çözülmekte olan problem bağlamında tanımlanan bir mesafe ölçüsü ile uygulanır. Ardından, en küçük mesafe en büyüklenerek farklılık en üst düzeye çıkarılır. Referans Küme Güncelleme Metodunun bir parçası olan enb-enk kriteri, x^{b_1+1} çözümü seçilirken

x^1, \dots, x^{b_1} çözümlerine göre uygulanır, ardından x^{b_1+2} çözümü seçilirken x^1, \dots, x^{b_1+1} çözümlerine göre uygulanır ve bu şekilde devam eder (Marti ve diğ., 2006).

4.1.2.3. Referans küme katmanları

Alt düzey DA uygulamalarında, referans kümesi, en kötü amaç fonksiyon değerine sahip referans çözümü, daha iyi bir amaç fonksiyon değerine sahip yeni bir alt çözüm ile değiştirilerek güncellenir. RefSet'in her zaman sıralanmış olduğunu varsaydığımız için, en iyi çözüm x^1 ve en kötü çözüm x^b olarak kabul edilir. Bu nedenle, kombinasyon ve iyileştirme metotlarının uygulanması sonucunda yeni bir alt çözüm x üretildiğinde, RefSet'in güncellenmesi gerekip gerekmediğini belirlemek için yeni alt çözümün amaç fonksiyonu değeri dikkate alınır. Bu adım, x^{b_1} 'yi bırakarak ve kümenin belirtilen sırasını koruyan bir konuma x ekleyerek x 'in x^{b_1} 'den daha iyi olduğu zaman ayarlanarak oluşur. Amaç fonksiyon değerine dayalı olmayan ek değer ölçekleri kullanarak çözümleri farklılaştıran mekanizmaları incelendiğinde aşağıdaki durumlar gözlenir (Marti ve diğ., 2006).

Referans kümesi birleşene kadar beklemek yerine, yani yeni çözümlerin kabul edilmediği bir duruma gelene kadar beklemek yerine, proaktif olarak aramaya farklılaştırma ekleyen bir güncelleme prosedürü kullanılabilir. Güncelleme prosedürü ilk katman RefSet₁'in b_1 kadar yüksek kaliteli çözümlerden ve RefSet₂'nin b_2 kadar farklı çözümlerden oluştuğu 2 katmanlı bir tasarım kullanır. Güncelleme sadece bazı uygulamalarda birbirine çok benzeyen yüksek kaliteli çözümler sunarak, homojen hale gelmesini sağlamak yerine referans kümesindeki farklılığı dinamik olarak koruma amacına sahiptir. Bu nedenle, kombinasyon ve iyileştirme Metotları ile yüksek kalitede yeni alt çözümler elde edildiğinde referans kümenin güncellenmesine ek olarak, referans seti çok farklı çözümlerle de güncellenir.

Spesifik olarak güncelleme prosedürü iki alt kümenin ayrışması ile oluşur. Bunlar sırası ile RefSet₁ = $\{x^1, \dots, x^{b_1}\}$ ve RefSet₂ = $\{x^{b_1+1}, \dots, x^b\}$ kümeleridir. İlk alt küme "yüksek kaliteli" alt küme, ikinci alt küme "farklı" alt küme denir. RefSet₁'deki çözümler amaç fonksiyon değerlerine göre sıralanır ve küme, temel DAA tasarımı kriteri kullanılarak kaliteyi artırmak amacıyla güncellenir. Yani, bir en küçükleme probleminde $f(x) < f(x^{b_1})$ ise x yeni bir çözüm olarak x^{b_1} referans

çözümünün yerini alır. RefSet₂'deki çözümler farklılık değerlerine göre sıralanır ve güncelleme farklılığı artırma hedefine sahiptir. Bu nedenle, eğer $d_{enk}(x) > d_{enk}(x^b)$ ise yeni bir x çözümü x^b referans çözümünün yerini alır. 2 katmanlı güncelleme, yeniden oluşturma mekanizması ile birlikte kullanılabilir. Uygulama, RefSet₁'i tutarak ve RefSet₂'yi aralarında farklılık gösteren çözümlerle ve RefSet₁'e göre yeniden oluşturmak için farklılaştırma üretim metodunu yeniden başlatarak işlem görmektedir.

4.1.2.4. Farklılık kontrolü

DAA, referans kümesinde yinelemelere izin vermez ve birleştirme yöntemleri bu yineleme eksikliğinin avantajından yararlanmak üzere tasarlanmıştır. Bozma, genellikle yinelenen çözümleri denetleme amaçlı hesaplama çabalarını azaltmak için kullanılır. Denklem (4.1)'de yer alan bozma fonksiyonu, çözümleri m ölçeğinde bir p permütasyon ile temsil edilebilen problemlerin çözümü ile ilgilenirken, çözümleri karşılaştırmak ve tekrarlardan kaçınmanın etkili bir yoludur.

$$\text{bozma}(p) = \sum_{i=1}^m ip(i)^2 \quad (4.1)$$

Campos ve diğ. (2001) bu tür bozma yapısının faydalarını doğrusal sıralama problemi bağlamında rapor etmişlerdir. Daha basit DAA uygulamaları, referans kümesinin kopya içermediğini kontrol etmek için tasarlanmış olsa da başlangıç RefSet oluşturulurken genellikle b_1 sayıdaki yüksek kaliteli çözümlerin farklılıklarını izlemezler. Öte yandan b_2 sayıdaki farklı çözümlerinin mak-min kriteri ile sıkı bir farklılık kontrolüne tabi tutulur. Başlangıç RefSet üyeleri olarak seçilen b_1 sayıdaki yüksek kaliteli çözümlere minimum farklılık testi aşağıdaki gibi uygulanabilir. P kümesi oluşturulduktan sonra, amaç fonksiyon değerine göre en iyi çözüm, referans kümesinde x^1 olacak şekilde seçilir. Daha sonra, x^1 P'den silinir ve P'deki bir sonraki en iyi çözüm x seçilir ve RefSet 'e yalnızca aşağıdaki durumlarda eklenir.

$$d_{enk}(x) \geq \text{eşik_değer_mesafesi} \quad (4.2)$$

Diğer bir deyişle, her adımda, Denklem (4.2)'de de görüldüğü gibi P'deki bir sonraki en iyi çözüm, sadece seçilen çözüm x ile mevcut RefSet 'teki çözümler arasındaki en

küçük mesafe, en azından eşik mesafesi değeri kadar büyük olduğu durumda eklenmektedir (Campos ve diğ., 2001).

4.1.2.5. Alt küme üretim metodu

DAA'da çözüm kombinasyon metodları birleştirme yöntemleri tipik olarak sadece iki çözümün birleştirilmesiyle sınırlı değildir ve bu nedenle alt küme üretim yöntemi daha genel formunda farklı boyutlarda alt kümeler oluşturmayı içerir. Dağıtık arama metodolojisi, kombine edilmiş çözümler kümesinin bütünüyle referans çözümlerin alt kümelerinin oluşturulduğu noktada üretilebileceğini varsayar. Bu nedenle belirli bir alt küme oluşturulduktan sonra, yeniden oluşturmanın bir değeri yoktur. Bu durum, kombinasyonların tipik olarak bir rulet tekerleğinin dönüşüyle belirlendiği genetik algoritmalar bağlamında dikkate alınanlardan belirgin bir şekilde farklı bir durum oluşturur. Aşağıdaki alt küme türleri oluşturmak için farklı boyutlardaki örnek alt kümeler görülmektedir (Marti ve diğ., 2006).

- Alt küme tipi - I: Her 2 elemanlı alt kümelerden oluşur.
- Alt küme tipi - II: Her bir 2 elemanlı alt kümeyi bu alt kümede bulunmayan en iyi çözümü içerecek şekilde bir araya gelmesiyle 2 elemanlı alt kümelerden türetilen 3-elemanlı alt kümelerden oluşur.
- Alt küme tipi - III: Her bir 3 elemanlı alt kümeyi bu alt kümede bulunmayan en iyi çözümü içerecek şekilde bir araya gelmesiyle 3 elemanlı alt kümelerden türetilen 4 elemanlı alt kümelerden oluşur.
- Alt küme tipi - IV: $i = 1$ 'den 5 'e, en iyi i elemanlarını içeren alt kümelerden oluşur.

4.2. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA), metasezgisel yöntem olarak literatürde en çok bilinen, üzerinde çalışılan ve halen oldukça güncel olan bir metottur. Daha çok genetik algoritmalar şeklinde ifade edilen GA'nın temel prensipleri, John Holland tarafından 1970'lerde keşfedilmiştir (Luke, 2009). Daha sonrasında ise GA'nın özellikleri Goldberg (1989) tarafından ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Evrimsel algoritmaların bir türü olan GA, literatürde çok farklı uygulama alanları bulmuştur. GA'ların modellenmesinde doğal evrim süreci ilham kaynağı olmuş ve temel alınmıştır.

Bu doğal evrim, biyolojik organizmaların genetik sürecine dayanır. Bu süreç içerisindeki evrimleşme, birçok kuşak boyunca doğal popülasyonlar, doğal seçim ve en iyinin hayatta kalması ilkesine dayandırılmıştır (Goren ve diğ., 2010). Biyolojik organizmalardaki bu genetik süreç, uygun bir kodlama yapılarak bilgisayar ortamında uyarlanabildiğinde, değişik problemlere uygulanabilir ve optimum veya optimuma yakın bir sonuç elde edilmeye çalışılır. Genetik algoritmalar temel olarak popülasyondaki bireylerin birbiri ile etkileşimini de kullanan algoritmalarlardır (Karaboğa, 2014).

GA'nın çalışması popülasyon olarak tanımlanan bir dizi aday çözümün oluşturulması ile başlatılır. Popülasyon içerisinde yer alan her bir çözüm, bir birey olarak temsil edilir. Bu bireylerin temsil edilmesinde ise kromozom olarak ifade edilen karakter dizileri (genler) kullanılır. Bir gen, kodlama yapısına göre tek bir değişkene karşılık gelebileceği gibi birkaç gen birlikte tek bir değişkene de karşılık gelebilir. Klasik bir genetik yapıda bir probleme aday çözümler öneren bit dizilerine kromozom denir. Her bir kromozom, genlerden (örneğin bitlerden) oluşur ve her gen bir allel (örneğin 0 veya 1) örneğidir (Bajpai ve Kumar, 2009). Bazı kodlama yapılarında ise genler değişkenlere karşılık gelmemekte, genlerin sıralaması değişkenlere karşılık gelmektedir. Bu, tamamen problem türü ve problemin nasıl modelleneceği ile ilgili bir durumdur. Genler birleşerek kromozom dizisi oluşturur. Genel olarak kullanılan kromozom kodlama yapıları ikil, reel ve devşirim kodlama türleridir.

Nüfus büyüklüğü her nesilde (generation) korunmaktadır. Yeni nesillerin oluşturulmasında her bir bireyin (kromozomun) uygunluk durumu belirlenir ve bu uygunluk değerlerine göre her bir bireyin seçilme olasılığı bulunur. Bu olasılık uygunluk değeri yüksek olan bireylerde daha yüksek olduğundan, yeni neslin bireyleri eski neslin bireyelerine oranla daha yüksek ortalama uyum değerine sahip olabilir. Bu süreç algoritma durma koşulu sağlanıncaya kadar devam eder (Kumar ve diğ., 2010). Seçilen bireylerin eşleştirmeleri ile çocuk bireyler (offspring) üretilir. GA'nın kullanımı ile arama uzayındaki en iyi genetik materyale sahip bireyin bulunması araştırılmaktadır (Larranaga ve diğ., 1999).

GA'ların çalıştırılmasında kullanılan en önemli bileşenler genetik operatörlerdir. Bu operatörler seçim (selection), çaprazlama (crossover) ve mutasyon (mutation)

operatörleri olarak bilinmektedir. Seçilim operatörü, yüksek uygunluk değerine sahip bireylerin seçiminde kullanılır. Çaprazlama operatörü ile seçilmiş iki birey arasında belli bir kural ya da kurallara göre gen alışverişi sağlanır. Mutasyon operatörü ise bireyin gen diziliminde tesadüfisel değişiklikler yaparak yeni bireyler (çocuklar) üretir (Aytug ve diğ., 2003).

Seçilim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri, GA'nın yerel en iyi yakalanma ihtimalinin düşürülmesine yardım eder ve optimal ya da optimale yakın bir sonucun elde edilmesinde matematiksel tabanlı optimizasyon algoritmalarından çok daha verimli tesadüfisel davranışlara sahiptir. En iyi bireylerin seçim ve yeniden üretilme olasılığı, en kötü bireylere oranla daha yüksek olduğundan popülasyonun ortalama uygunluk değerinde nesiller boyunca iyileştirme sağlanır. GA'nın kullanım sürecinde problemin gradyan bilgisine gerek duyulmadığından bilinmeyen arama uzayına sahip gerçek problemlerin çözümü kolaylaşır. Bu durum, GA'nın çok farklı uygulama alanları bulmasına yol açar (Mirjalili, 2015). GA'nın çalışma sürecine ilişkin adımlar aşağıdaki gibidir (Bajpai ve Kumar, 2009):

Adım 1. Başlangıç: Tesadüfisel olarak n sayıda bireye (kromozoma) sahip bir popülasyon oluştur.

Adım 2. Uygunluk değerinin hesaplanması: Popülasyondaki her birey için uygunluk değerleri hesapla.

Adım 3. Yeni popülasyon oluşturma: Aşağıdaki adımları yeni popülasyon tamamlanana kadar tekrar ederek başlangıç popülasyonu ile aynı büyüklükte yeni bir popülasyon oluştur.

Adım 3.1. Doğal seçim: Uygunluk değeri ve seçilme olasılığına göre mevcut popülasyondan bireyler (ebeveyn) seç.

Adım 3.2. Çaprazlama: Belirlenen bir çaprazlama olasılığı ve yöntemi ile seçilen bireylerden (ebeveyn) çocuk bireyler üret.

Adım 3.3. Mutasyon: Belirlenen bir mutasyon oranı ve yöntemi ile çocuk bireyin gen diziliminde değişiklikler yap.

Adım 3.4. Mutasyon işleminde üretilen çocuk bireyleri yeni popülasyona aktar.

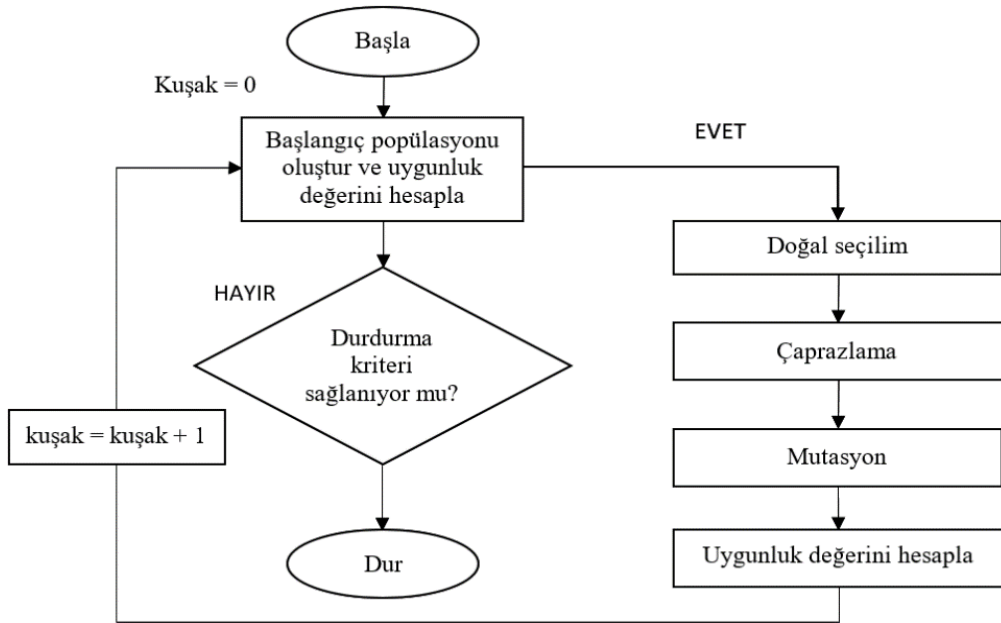
Adım 4. Yeni popülasyon için uygunluk değerinin hesaplanması: Yeni popülasyonu mevcut popülasyon olarak kabul et ve bireyler için uygunluk değerlerini hesapla.

Adım 5. Test: Durdurma koşulu sağlandıysa işlemi durdur ve çözüm olarak global optimum değere sahip bireyi kabul et.

Adım 6. Döngü: Eğer durdurma koşulu sağlanmadıysa Adım 2.'ye dön ve durdurma kriteri sağlanıncaya kadar sürece bu şekilde devam et.

Geleneksel arama tekniklerinin kullanıldığı yaklaşımlarda arama uzayı çok sayıda parametreyi içermekte ve tek bir olası çözüme odaklanılmaktadır. GA ise popülasyon olarak adlandırılan bir dizi potansiyel çözümü kapsar ve genel olarak popülasyon büyüklüğü nesiller boyunca sabit kalır. Problem yapısına özgü olan ve çözümün değerlendirildiği bir modeli temsil eden amaç fonksiyonu, nesildeki aday çözümlerin uygunluk değerlerine göre sıralanır (Galletly, 1992).

GA'nın akış diyagramı Şekil 4.1'de yer almaktadır.



4.2.1. Genetik operatörler

Genetik operatörler GA'nın temel işleyişini oluşturan ve yürütücülüğünü belirleyen kısımdır. Mevcut popülasyonlar üzerinde uygulanan bu operatörler, problemin çözüm sürecinde arama uzayı araştırılırken yerel en iyi noktalardan kaçınmayı sağlar. Aynı zamanda daha iyi özelliklere sahip yeni nesillerin üretimi ve arama algoritmasının alanını genişletme işlevi görürler. İşlem sırasına göre temel genetik operatörler, doğal seçilim veya çoğalma, elitizm, çaprazlama ve mutasyon operatörleridir (Emel ve Taşkın, 2002).

4.2.1.1. Doğal seçilim operatörü

Çoğalma operatörü olarak da tanımlanabilen doğal seçilim, uygunluk değerlerine göre yavru birey (offspring) üretmek için ebeveyn bireylerin seçildiği olasılıklı bir seçim sürecidir. Bu süreç içerisinde, yüksek uygunluk değerine sahip olan ebeveyn bireylerin bir sonraki nesle aktarılma şansı daha yüksektir (Konak ve diğ., 2006). Yüksek kaliteli aday çözümlerin sonraki nesle kopyalanması ve bu sayede yerel en iyiden kaçınılmasında doğru seçilim operatörünün seçimi oldukça önemlidir. Literatürde seçim operatörleri olarak rulet tekerleği seçimi, sıralama seçilimi ve turnuva seçilimi yöntemleri kullanılmaktadır.

4.2.1.2. Elitizm Operatörü

Elitizm operatörü, yeni bir nesil üretiminde en iyi bireylerin korunması ve herhangi bir değişikliğe uğramadan sonraki kuşağa aktarılması (kopyalanması) metodudur. Bu yöntem genellikle çaprazlama ve mutasyonla yeni nesil üretildiğindeki en iyi bireyler için kullanılmakla beraber bu operatörler yürütülmeden önceki kuşaktaki en iyi bireylerin aktarımı şeklinde de kullanılabilir. Geriye kalan bireyler için diğer yöntemler uygulanmaya devam eder. Elitizm yöntemi, en iyi çözümü sağlayan bireyi sakladığı için GA'nın performansını artırır (Nabiyev, 2012).

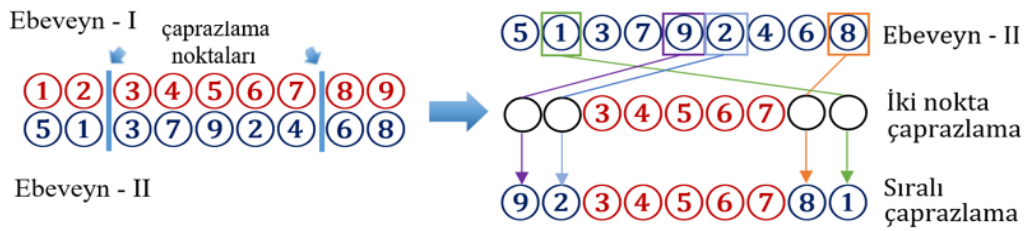
4.2.1.3. Çaprazlama Operatörü

Biyolojik sistemlerde yanyana gelen iki kromozomda (ebeveyn bireyler) karşılıklı segment değişimi aracılığıyla allellerin yeniden birleştirilmesini sağlayan işlem,

çaprazlama olarak tanımlanır (Holland, 1992). Bu işlem sayesinde ebeveyn bireyleri çaprazlanarak anne ve babanın genetik materyaline benzemeyen çocuk bireyler üretilerek tür değişimi sağlanır (Goldberg, 1989). Çaprazlama operatörü kullanımı ile popülasyonu oluşturan gen havuzunun potansiyelinin araştırılması ve bu popülasyondan gelecek vaad eden yeni bireylerin oluşturulması amaçlanır.

Literatürde kodlama türüne göre değişiklik gösteren birçok çaprazlama operatörü metodu geliştirilmiştir. Genel olarak kullanılan çaprazlama yöntemleri şunlardır: Bir noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama, tekdüze çaprazlama, düzgün çaprazlama, çevrim çaprazlama, parçalı haritalamalı çaprazlama, tekdüze parçalı haritalamalı çaprazlama, sıralı çaprazlama, sarılı olmayan sıralı çaprazlamadır (Cihan, 2015).

Bu çalışmada kullanılan sıralı çaprazlama metodu da permütasyon tipi kromozom yapılarında kullanılmak üzere tasarlanmış bir diğer çaprazlama türüdür. Bu metot, tesadüf sel olarak iki nokta belirlenerek bu noktalar aralığında kalan genlerin referans ebeveyn bireyden çocuk bireye olduğu gibi aktarılması ve bu aralık dışındaki genlerin silinmesi ile başlar. Daha sonra ise bu silinmiş genler, diğer ebeveyn birey üzerinde aralığın sonundan itibaren başlanarak oluşturulan ve korunan bir gen sırası dikkate alınarak değiştirilir (Otman ve Jaafar, 2011). Tekrarlardan kaçınılan bu değişim ile permütasyon yapısının korunması sağlanır. Sıralı çaprazlama yöntemi Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Sıralı çaprazlama

Şekil 4.2 incelendiğinde; ilk olarak çaprazlama işlemi için belirlenen aralık birinci ebeveyninden olduğu gibi alınarak çocuk bireye aktarılır ve diğer genler silinir. Daha sonra Ebeveyn – II genleri aralığın sonundan itibaren tespit edilerek sıralanır. Bu genlerin sıralaması 6 8 5 1 3 7 9 2 4 şeklindedir. Son adım olarak bu sıralamadaki genlerden korunmaya alınmış olan aralık içindeki genlerle tekrar

yapanlar belirlenir ((6)(8)(5)(1)(3)(7)(9)(2)(4)) ve bu genler sıraları korunarak aralığın sonrasında itibaren silinmiş olan genlerin yerine (8)(1)(9)(2) genleri yerleştirilerek çocuk bireyin üretimi tamamlanır.

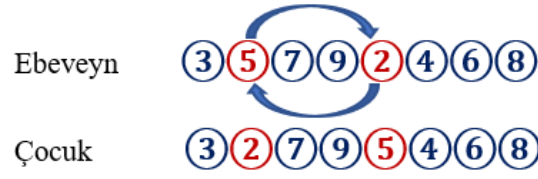
4.2.1.4. Mutasyon operatörü

Mutasyon, genin sahip olduğu bir allelin yeni bir yapı oluşturulması amacıyla tesadüf sel olarak başka biri ile değişim süreci olarak tanımlanır (Holland, 1992). Mutasyonun en önemli sonuçlarından biri, bir sonraki kuşağa farklı genetik özellikler aktarılmasına neden olmasıdır. Doğal seçim ve çaprazlama gibi evrimsel süreçler üzerinde işledikleri kalıtılabilir varyasyonların temel kaynaklarından olmasına rağmen bazen fayda sağlayabilecek potansiyele sahip genetik materyalleri kaybedebilirler.

Mutasyon operatörü ile popülasyonun rastgele genetik çeşitliliği sağlanarak bir daha elde edilemeyebilir bir çözüm korunarak olası kayıplara karşı koruma sağlanır. Mutasyon işlemi erken yakınsamayı önleyip yeni çözüm uzayları keşfederken aynı zamanda yerel en iyiye takılmayı engeller (Deep ve Thakur, 2007). Mutasyon operatörü seçiminde önemli olan faktörlerden biri de olurlu çözümler üretebilme durumudur. Mutasyon yöntemlerinde genel olarak permütasyon kodlama, ikili kodlama, reel ya da tamsayı kodlama ile temsil edilen kromozom yapıları kullanılmaktadır.

Literatürde genel olarak kullanılan mutasyon operatörleri şunlardır: Bit değiştirme mutasyonu, tesadüf sel mutasyonu, sınır mutasyonu, tekdüze mutasyonu, tekdüze olmayan mutasyonu, gauss mutasyonu, novel mutasyonu, bit dizisi mutasyonu, tek noktalı mutasyon, iki noktalı mutasyon, komşu mutasyonu, öteleme mutasyonu, takas (değiş tokuş) mutasyonu, alt liste karıştırma mutasyonu, permütasyon için ekleme mutasyonu, permütasyon için değiştirme mutasyonu, permütasyon için tersleme mutasyonu ve permütasyon için karıştırma mutasyonudur (Cihan, 2015).

Bu çalışmada kullanılan takas mutasyon metodu; bireyin kromozom dizilimi üzerindeki iki genin tesadüf sel olarak değiştirilmesi ve bu iki gen dışında kalan diğer genlerin korunması işlemidir (Geetha ve Muthukumaran, 2013). Tüm kromozom yapılarında kullanılabilen bu yöntem, Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Takas mutasyon

4.2.2. Genetik algoritma kontrol parametreleri

Popülasyon tabanlı metasezgisel bir optimizasyon yöntemi olan GA'da popülasyon büyüklüğü, hangi doğal seçilim, çaprazlama veya mutasyon metodunun seçileceğine yönelik seçim stratejisi kararı, çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığı gibi önemli kontrol parametreleri bulunmaktadır. GA'larda parametrelerin kontrolü ve uygun olanlarının tespit edilmesi problemin çözümünde kritik bir rol oynar. Uygun kontrol parametrelerinin seçiminin önemli olmasının nedeni, keşfetme (exploration) ve kullanma (exploitation) kavramlarının varlığıdır (Türk, 2019). Bu kavramlar metasezgisel bir algoritmanın çözüm kalitesinin temel esasları olmalarının yanı sıra aynı zamanda dengelenmesi gerekli zıt kavramlardır (Eiben ve Schippers, 1998). Bu kavramlar popülasyon temelli algoritmaların hepsinde problemin çözümünde mutlak bir etki sağlar. Keşfetme mekanizması ile aday çözümler üzerinde tesadüfisel olarak ve hızlı bir şekilde değişim sağlanır. Bu durum, çözümleri farklılaştırarak arama uzayının daha iyi araştırılmasına katkıda bulunur. Yüksek çaprazlama olasılığı keşfetme mekanizmasında anahtar faktördür. Kullanma mekanizmasında ise amaç keşfetme mekanizması sonucu elde edilmiş gelecek vaad eden çözümlerin iyileştirilmesidir. Hızlı değişimlerin daha az tercih edildiği kullanma mekanizmasında yerel arama gerekli bir işlemdir. GA'da kullanma mekanizması mutasyon operatörü aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu iki temel esas arasında yapılan doğru denge, popülasyon tabanlı algoritmalar kullanılarak global optimum çözümün en doğru bir şekilde bulunabilmesini garanti edebilir (Türk, 2019). Arama uzayında sadece keşfetme mekanizmasının yürütülmesi global optimum çözümün doğru bir şekilde bulunmasına engel olurken aynı şekilde sadece kullanma mekanizmasının çalıştırılması yerel en iyiye ve çözümün kalitesinin düşmesine neden olur. Optimizasyon problemlerinde bu iki temel esas arasındaki geçiş zamanlaması, arama uzayındaki belirsizliklerden dolayı tam olarak bilinemez. Bunun için popülasyon tabanlı algoritmalarda ilk olarak

yapılması gereken global optimumun çözümünü kabaca bulmak ve sonrasında ise çözümün doğruluğunu arttırmaktır (Mirjalili, 2015).

GA'da kontrol parametrelerinin doğru bir şekilde seçiminde genetik operatörler arasındaki etkileşimin ve amaç fonksiyonunun yapısının dikkate alınması oldukça önemlidir. Keşfetme mekanizmasında çaprazlama olasılığının artması ile aday çözümlerde gen oluşumunu artırabilirken aynı zamanda iyi kromozom dizilime sahip aday çözümlerde de bozulmaya neden olabilir. Kullanma mekanizmasında kullanılan mutasyon operatörü kayıp genetik materyalin yeniden oluşumuna katkı sağlarken aynı zamanda genetik aramayı daha fazla tesadüfsellik eğilimine zorlar (Türk, 2019).



5. HİBRİT DAĞITIK GENETİK ARAMA ALGORİTMASI

Metasezgiselleri klasik sezgisellerden ayıran en büyük özellik, çözüm uzayının farklı noktalarında arama yapabilme kabiliyetine sahip olması ve böylece yerel optimum değerlerden uzaklaşabilmesidir (Bozyer ve diğ., 2014). Çoğu metasezgisel yöntemde komşu çözümler aranırken, yerel optimumlardan kaçmak için bazı prosedürler, kısıtlar, bellekler tanımlanmıştır. Bu nedenle daha iyi sonuç üretirler. Etkin bir metasezgisel algoritmanın tasarım süreçlerinde; probleme uygunluk, diğer algoritmalarla kullanılabilme düzeyi, başlangıç çözüm kalitesi, yerel en iyiden kaçınma prosedürleri, farklılık üretebilme yeteneği, etkin parametre tasarımı, daha az karmaşıklık ve ek işlem olması ve düşük işlem sürelerinde sonuç üretebilmesi gibi durumlar oldukça önemlidir.

Kapasite kısıtlı YSARP'ye yönelik çözüm yöntemleri (Tablo 3.1) incelendiğinde metasezgisellerin kullanımının çok daha fazla olduğu görülmektedir. Son yıllarda daha çok popülasyon tabanlı ve komşuluk temelli metasezgisel çalışmaların arttığı dikkat çekmektedir. Ayrıca çözüm kalitesinin artırılmasında metasezgisellerin hibrit yapıda birlikte kullanıldığı yaklaşımlar da artmaktadır (Değişken Komşuluk Arama - Tabu Arama (Melechovský ve diğ., 2005), Tavlama Benzetimi - Karınca Kolonisi Algoritması (Yan ve diğ., 2008), Tabu Arama - Karınca Kolonisi Algoritması (Bouhafs ve diğ., 2008), Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Arama - Değişken Komşuluk Arama (Akpınar ve Akpınar, 2020). Çalışmalar incelendiğinde literatürde bilinen çoğu metasezgisel çözüm metodunun kapasite kısıtlı YSARP'nin çözüm sürecinde yer aldığı görülmektedir. İlaveten YSARP çalışmalarında yoğun olarak kullanılan GA temelli çalışmaların problemin tez çalışmasında odaklanılan versiyonu olan kapasite kısıtlı YSARP'de çok fazla kullanılmadığı (Prins ve diğ., (2006), Peng (2008), Karaoglan ve Altıparmak (2015), Lopes ve diğ., (2016) ve Yu ve diğ., (2019)) ve kullanılanların ise tekil yapıda olduğu gözlenmiştir.

Diğer taraftan literatürde kombinatoriyel problemlerin çözümlerinde sıklıkla kullanılan Dağıtık Arama (DA) algoritmasının standard hipotetik veri örneklerinin kullanıldığı kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümünde yer almadığı gözlemlenmiştir. Problemin

çoklu amaçlı (Tavakkoli-Moghaddam ve diğ., 2010) ve çoklu amaçlı-ara katmanlı (Martinez-Salazar ve diğ., 2014) iki versiyonunun çözüm sürecinde DA yer almış ve her iki çalışmada da hipotetik veriler kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak literatüre bu bağlamda katkı sağlamak için kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümüne yönelik olarak DA algoritması tabanlı bir algoritma geliştirilerek performansının analiz edilmesi planlandı. Daha sonra ise çok fazla işlem karmaşıklığına sahip olmayan ve diğer algoritmalar ile kolay bir şekilde hibrit bir yapıya evrilebilen bir arama algoritması olan DA'nın kombinasyon, iyileştirme ve farklılaştırma süreçleri için genetik operatörlerin kullanılabilceği varsayıldı. Literatür incelendiğinde, değişik problem türlerinin çözüm sürecinde DA ile GA'nın hibrit bir yapıda kullanıldığı çalışmalar olduğu analiz edildi (Marichelvam ve Prabakaran (2014), Hu ve diğ. (2013), Duman ve Ozelik (2011), Ochi ve diğ. (1998), El-Sayed ve diğ. (2008), Euchi (2017), Nepomuceno ve diğ. (2009), Kim ve Geem (2014), Hariharan ve Nimal (2014), Trafalis ve Kasap (2002)). Bu amaçla, kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümü için genetik operatörler ile güçlendirilmiş DA temelli hibrit bir algoritma tasarlandı ve Hibrit Dağıtık Genetik Arama (HDGA) olarak adlandırıldı.

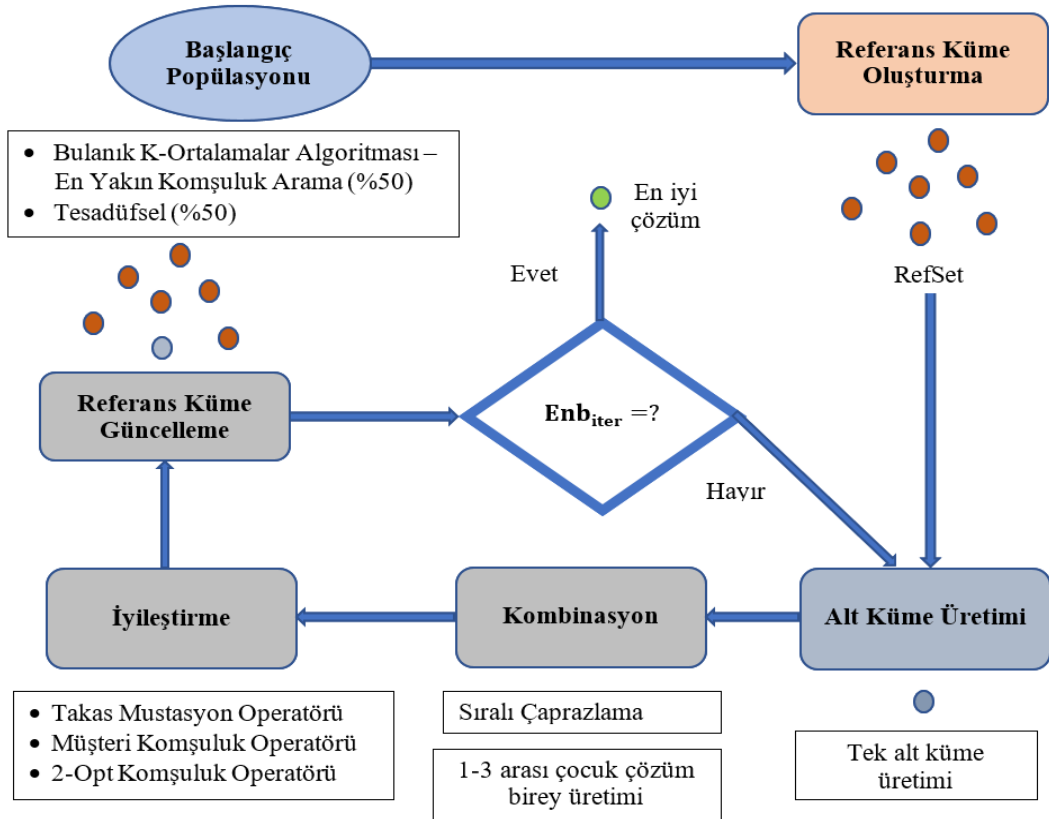
Başlangıç çözüm üretme aşamasında kullanılan yöntemler incelendiğinde daha çok tesadüf sel, aç gözlü yaklaşımlar ve Clarke ve Wright Algoritmasının (CWA) kullanıldığı tespit edildi. Bu yaklaşımların problemin karmaşık yapısı dikkate alındığında yetersiz kalabileceği ve geliştirmesi gereken bir yön olduğu varsayıldı. Bu amaçla bu çalışmada, öncelikli olarak Karaoglan ve Altıparmak (2015) tarafından kullanılan genişletilmiş CWA ve katı olmayan etkin bir kümeleme metodu olan Bulanık K-Ortalamlar Algoritması (BKO) deneysel ön çalışmalarda kullanıldı. Genişletilmiş CWA'nın kolay uygulanabilir olması ve daha az işlem süresi tüketmesine rağmen BKA'nın daha iyi çözümler ürettiği gözlemlendi. Bu doğrultuda başlangıç popülasyonunun yarısı bulanık kümeleme tabanlı üç aşamalı bir başlangıç çözüm metodu ile diğer yarısı da tesadüf sel çözümler ile üretildi.

Diğer metasezgisel algoritmalarda yer alan bazı mekanizmalar (TB'da yer alan belirli olasılıklar dahilinde kötü çözümü kabul etme ve DKA'da kullanılan çözümü bozma (perturbation) vb.) yerel en iyiden kaçınmak için oldukça önemli olan farklılaştırma

teknikleridir. Geliştirilen HDGA'nın b_1 sayıdaki elit ve b_2 sayıdaki farklı çözümlerden oluşan toplam b sayıdaki referans kümeden alt küme üretme ve kombinasyon adımları da farklılaştırmayı sağlayan güçlü teknikler olarak çözüm sürecinde yer almaktadır.

Yerel arama, metasezgisel algoritmaların çözüm kalitesinin artırılmasında oldukça önemli bir süreçtir. Çalışmaların çoğunda çoklu komşuluk yapıları ya da farklı sezgisel yapılar belirli olasılıklar dahilinde ya da ayrı ayrı kullanılmıştır. Bazen çözüm geliştirmede farklı sezgisel yapılar da kullanılmıştır (Zarandi ve diğ., 2011). En çok kullanılan komşuluk operatörlerinden biri 2-Opt sezgiselidir. Çoklu komşuluk yapıları kullanımları, çözüm kalitesini artırmakla beraber işlem sürelerini de nispeten artırmaktadır (Ferreira ve de Queiroz, 2018). Bu çalışmada, 5 farklı komşuluk operatörü çözüm kaliteleri ve işlem süreleri bakımından denendi ve 2-Opt ile müşteri operatörü iyileştirme aşamasındaki yerel aramaya entegre edildi.

Önerilen HDGA'nın iş akış şeması Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1. Önerilen HDGA iş akış şeması

İlaveten bu çalışmada kullanılan parametrelerin seviyelerine yönelik olarak parametre optimizasyonu yapıldı. Literatür incelendiğinde genel olarak parametre seviyelerin deneysel çalışma tabanlı olarak belirlendiği gözlemlendi. Seviyeler daha çok kullanılan problem ölçekleri ile ilişkilendirilmiş bazı çalışmalarda ise ölçek tabanlı matematiksel formülasyon geliştirilmiştir (Lopes, 2016). Etkin bir parameter tasarımı sağlamak için tez çalışmasında kullanılacak parametreler sabit seviyeli ve değişken seviyeli olarak belirlendi ve küçük, orta ve büyük ölçekli problemler için ayrı ayrı tasarım yapmak yerine üç farklı büyüklüğün tekil bir yaklaşımla dikkate alındığı bir Taguchi yöntemi uygulandı. Ayrıca deney tasarımı yapılan parametreler için varyans analizi de yapılarak çözüm üzerindeki en etkin parametre belirlendi.

5.1. Çözüm Gösterim Şekli

YSARP'de olduğu gibi farklı problem türleri için de çözüme yönelik olarak değişik veri yapıları ve gösterim şekilleri mevcuttur. Gösterim şeklinin etkin bir şekilde tasarlanması, algoritmaların performansı üzerinde önemli bir etki sağlar. Tez çalışmasında, Prins ve diğ. (2006b) tarafından geliştirilmiş olan bir kodlama şeması kullanıldı. Kromozomsal bir yapıya sahip olan bu kodlama şeması, sırasıyla depo statüsü ($d(s)$) ve müşteri sıralaması ($c(s)$) parçalarından oluşmaktadır. Açılması olası olan depoları temsilen depo statüsündeki genlerden oluşan bir $|DV|$ vektörü tanımlanmaktadır. Bu vektör üzerindeki genin değerinin 0'a eşit olması, ilişkili deponun kapalı olacağı anlamına gelmektedir. Gen değerinin aldığı bir tamsayı değeri ise ilişkili deponun açılacağını ve bu depoya atanmış olan ilk müşterinin müşteri sıralamasındaki indisi temsil eder. Kodlama şemasında, müşterilerin bağlı oldukları depoları temsil eden bir müşteri sıralaması ise bir $|CV|$ vektörü ile temsil edilmektedir.

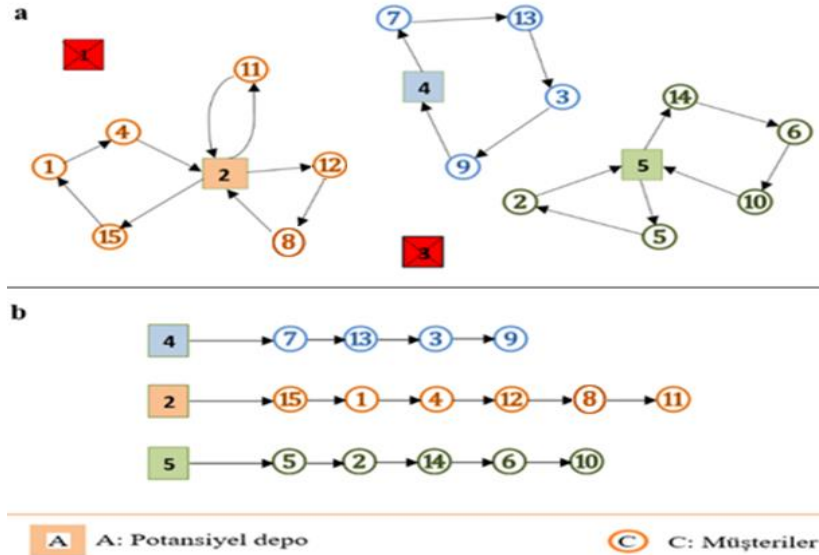
Bu kromozom gösterimi, kapasite kısıtlı YSARP probleminin çözümüne yönelik olarak önemli kararlara ilişkin bilgileri içermektedir. Bu kararlar, sırası ile açılacak olan depoların belirlenmesi, depo kapasitelerini dikkate alınarak bu depolara atanacak müşterilerin belirlenmesi ve müşteriler için atandıkları depolara ilişkin alt rotaların belirlenmesinden oluşmaktadır. Kullanılan kromozom yapıya ilişkin bir örnek Şekil 5.2'de görülmektedir. Bu örnekte, kapasite kısıtlı YSARP örneği 3'ü açık depo olmak üzere 5 farklı depodan ve 15 müşteriden oluşmaktadır. Depo statüsü parçası incelendiğinde; 2, 4 ve 5 numaralı depolar açık durumda iken 1 ve 3 numaralı depolar

kapalı durumdadır. İndis “1” ilk açılacak 4 numaralı depoyu işaret etmektedir. Sonraki kendinden büyük tamsayı değeri olan indis “5”, 2 numaralı deponun indis “11” ise 5 numaralı deponun açılacağını göstermektedir.

$$\left[\begin{array}{c} \leftarrow \text{depo statüsü} \rightarrow \\ |1| |2| |3| |4| |5| \\ \mathbf{0} \ \mathbf{5} \ \mathbf{0} \ \mathbf{1} \ \mathbf{11} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \leftarrow \text{müşteri sıralaması} \rightarrow \\ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \\ \textcircled{7} \ \textcircled{13} \ \textcircled{3} \ \textcircled{9} \ \textcircled{15} \ \textcircled{1} \ \textcircled{4} \ \textcircled{12} \ \textcircled{8} \ \textcircled{11} \ \textcircled{5} \ \textcircled{2} \ \textcircled{14} \ \textcircled{6} \ \textcircled{10} \end{array} \right]$$

Şekil 5.2. Kromozom yapı örnek birey

Açılacak depolar tespit edildikten sonra sıra, müşterilerin atanması işlemine gelmektedir. Depo statüsü parçasındaki 1, 5 ve 11 tamsayı değerli indislere göre açılması gereken depolar belirlendikten sonraki işlem müşterilerin bu depolara atanmasıdır. Şekil 5.3a’da müşterilerin depolara atanma süreci yardımcı bir şekil üzerinde görülmektedir. Kromozomun müşteri sıralaması parçasında yer alan müşterilerden, 1’den başlayıp 5’e kadar sıralanan müşteriler ((7)-(13)-(3)-(9)) 4 numaralı depoya, 5’ten başlayıp 11’e kadar sıralanan müşteriler ((15)-(1)-(4)-(12)-(8)-(11)) 2 numaralı depoya ve 11’den sonraki sıralanan tüm müşteriler ise ((5)-(2)-(14)-(6)-(10)) 5 numaralı depoya atanmaktadır (Şekil 5.3b).



Şekil 5.3. Depo, müşteri ve alt rotaların şekil üzerinde gösterimi

Bu atanma işlemlerinden sonra, bir yardımcı grafik oluşturularak daha önce bahsedilen en yakın arama algoritması kullanılarak açılacak her bir depoya atanan müşteriler için alt rotalar oluşturulmaktadır.

5.2. Başlangıç Popülasyon Oluşturma

GA gibi popülasyon tabanlı algoritmalar için genel olarak tesadüf sel başlangıç çözümler kullanılması na rağmen bu tarz metasezgisel yaklaşımlarda etkili bir başlangıç popülasyonunun üretilmesi, yakınsamayı hızlandırmak açısından oldukça önemli bir süreçtir. Literatür incelendiğinde, başlangıç çözüm metodu olarak ilk dört sırayı tesadüf sellik, CWKA, Açgözlü Tesadüf sel Uyumlu Arama (AGTUA) ve kümeleme yaklaşımlarının aldığı görülmektedir. YSARP çalışmalarında başlangıç çözüm oluşturma sürecinde kümeleme tabanlı yöntemler Zarandi ve diğ. (2013), Torfi ve diğ. (2016), Lopes ve diğ. (2008), Mokhtarinejad ve diğ. (2015), Wang ve diğ. (2018), Lam ve Mittenthal (2013), Escobar ve diğ. (2014), Escobar ve diğ. (2014), Ambrosino ve diğ. (2009), Gao ve diğ. (2016) ve Akpunar ve Akpinar (2020)) tarafından kullanılmıştır. Bunlar arasında Bulanık K-Ortalamlar algoritmasının (BKA) yer aldığı tek çalışma, Zarandi ve diğ. (2013) tarafından belirsizlik altında zaman çerçeveli kapasite kısıtlı YSARP için başlangıç çözüm olarak yer almıştır.

Bu tez çalışmasında problemin ana bileşenlerinden olan depo düğümlerinin belirlenmesi ve popülasyon üretiminde farklılaştırma sağlayacak esnek bir kümeleme tekniğinin kullanılması amaçlandı. Bu doğrultuda, kaliteli başlangıç çözümler üretebilmek için sert olmayan bir kümeleme tekniği olan Bulanık K-Ortalamlar Algoritmasının (BKA) temel alındığı üç aşamalı bir yaklaşım geliştirildi. İlk aşamada, müşterilerin gruplara bölünmesi amaçlandı ve müşteriler, depo sayısı kadar kümeye ayrıştırıldı. İkinci aşamada, öklid tabanlı olarak küme merkezleri belirlendi ve müşteri gruplarını oluşturan kümeler en yakın depolara atandı. Üçüncü aşamada, kümelerin düşük aidiyet değerli müşterileri diğer kümelerdeki belli bir aidiyet değeri üzerindeki müşteriler ile takas ettirilerek yeterli sayıda çözüm bireyi oluşturularak popülasyon çeşitliliği sağlandı.

Sonraki aşamada, tüm başlangıç çözüm bireyleri için En Yakın Komşuluk Arama (EYKA) sezgiseli kullanılarak alt rotalar oluşturuldu. Çalışmada ayrıca tüm arama uzayını etkin şekilde aramak ve yerel en iyiye yakalanmamak için popülasyonun yarısı da tesadüf sel bir şekilde üretildi.

5.2.1. Bulanık k-ortalamlar algoritması

Bulanık K-Ortalamlar Algoritması (BKA), literatürde bulanıklığın kullanıldığı bölünmeli kümeleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Nu yöntem ilk olarak Dunn (1973) tarafından ortaya konulmuş ve Bezdek (1981) tarafından geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu temelli bir yöntem olan BKA algoritması, nesnelerin iki veya daha fazla kümeye ait olabilmesine izin vermektedir (Kruse ve diğ., 1999). Bulanık mantık prensibi gereği her veri, kümelerin her birine $[0,1]$ arasında değişen birer üyelik değeri ile aittir. Bir verinin tüm sınıflara olan üyelik değerleri toplamı “1” olmalıdır. Nesne hangi küme merkezine yakın ise o kümeye ait olma üyeliği diğer kümelere ait olma üyeliğinden daha büyük bir değere sahiptir. Temel olarak BKA, Denklem (5.1)’de verilen amaç fonksiyonunun en küçüklenmesine dayanmaktadır (Chen ve diğ., 2009).

$$J(X, U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N (u_{ij})^b \|x_j - v_i\|^2, \quad 1 < m < \infty \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)’de, X değişkeni ($X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$) talep noktaları kümesi iken V ($V = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$) kümelerin merkez noktalarının kümesidir. Kümeye ait bulanıklık derecesini b değeri temsil eder ve bu değerın büyüklüğü ile fonksiyonun bulanıklılığı doğru orantılıdır. Bu değer, genellikle 2 olarak alınmaktadır (Wang ve diğ., 2004). u_{ik} değişkeni, k . verinin i . kümeye üyelik derecesini gösterir ve 0 ile 1 arasında bir değer alır (Denklem (5.2)).

$$u_{ik} \in [0,1], \quad 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq j \leq N \quad (5.2)$$

Ayrıca bir talep noktasının tüm kümelere üyelik dereceleri toplamı 1 olmalıdır (Denklem (5.3)).

$$\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, \quad 1 \leq j \leq N \quad (5.3)$$

Denklem (5.3)’deki c küme sayısını temsil eden bir değerdir. d_{ik} , k . sıradaki verinin i . küme merkezine olan dik uzaklığıdır ve Denklem (5.4) kullanılarak hesaplanır.

$$d_{ik} = \sqrt{(x_k - v_i)^2} \quad (5.4)$$

u_{ik} ve v_i değişkenleri aşağıda verilen Denklem (5.5) ve Denklem (5.6) ile hesaplanmaktadır.

$$u_{ik}^{r+1} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - v_i^{r+1}\|}{\|x_j - v_k^{r+1}\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}, \quad 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq j \leq N \quad (5.5)$$

$$v_i^{r+1} = \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij}^r)^m (x_j)}{\sum_{j=1}^N (u_{ij}^r)^m}, \quad 1 \leq i \leq c \quad (5.6)$$

BKA, ancak ε gibi bir değere ulaşıldığında ya da belirlenecek olan değerine ulaşılınca durmaktadır (Denklem (5.7)). Aksi halde algoritma sürekli yeni v_i ve u_{ij} değerleri hesaplayarak sonuç iyileştirilmeye çalışılacaktır. Durma ölçütü 0,01 gibi küçük bir sayıdır ve r değeri, algoritmanın iterasyon sayısını ifade eder.

$$\|U^{r+1} - U^r\| \leq \varepsilon \quad (5.7)$$

Bu tez çalışmasında başlangıç çözüm için popülasyon oluşturma sürecinde BKA temelli üç aşamalı bir çözüm metodu uygulandı. Bu aşamalar sırası ile müşterilerin kümelere ayrıştırılması, müşteri grupları için uygun depoların seçilmesi, takas yöntemi ile kümeler arası müşteri takası ile yeterli sayıda çözüm üretiminden oluşmaktadır. Bu aşamaların oluşturulmasına yönelik adımlar aşağıda verilmektedir:

Adım 1. $C_0 \leftarrow C \left(C_0 \geq \frac{n}{m} \right)$, $2 \leftarrow b$ ve $0,002 \leftarrow \varepsilon$ başlangıç parametre değerleri olmak üzere müşterileri başlangıçta C_0 sayıda kümeye ayrıştır ($n \in I$: müşteri sayısı)($m \in J$: depo sayısı).

Adım 1.1. $U_{(c \times N)}$ üyelik matrisini $r = 0$ iterasyonu için oluştur (Denklem (5.2) ve Denklem (5.3)).

Adım 1.2. $r = r + 1$ yaparak iterasyon değerini artır.

Adım 1.3. u_{ij}^{r+1} ve v_i^{r+1} değerlerini hesapla (Denklem (5.5) ve Denklem (5.6)).

Adım 1.4. $\|U^{r+1} - U^r\| \leq \varepsilon$ ya da r_{\max} ise bulanık kümeleme işlemini bitir ve bir (S) olurlu çözümü üret. Aksi takdirde Adım 3'e git.

Adım 1.5. Üyelik değerlerini $A[i][j]$ matrisine ekle (i kümeler j müşteriler).

Adım 2. Müşteri kümeleri için uygun depoları belirle.

Adım 2.1. (x_i, y_i) ve n_i değerlerini kullanarak her bir küme için ağırlık merkezini $(X_{(1)}, Y_{(1)})$ bul (Denklem 5.8).

Adım 2.2. $j = 1, \dots, PDS$ için en küçük w_j değerlerini hesapla ve her bir müşteri kümesi için en küçük w_j değeri olan depoyu açmak için seç.

Adım 2.3. $i = 1, \dots, SDS$ (seçilen depo sayısı) için toplam $d_i x_{ci}$ değerini her bir kümedeki müşteriler için hesapla ve W_{kc} değerini aşp aşmadığını kontrol et (Denklem 5.9). Eğer bir aşım söz konusu ise küme sayısını bir artır ($C = C + 1$) aksi takdirde Adım 1'e dön.

Adım 3. Kümeler arası müşteri takası metodu ile yeterli sayıda çözüm üret.

Adım 3.1. $S_k = \{u_{ik}^1, u_{i+1,k+1}^2, \dots, u_{nc}^c\}$ listesindeki her bir küme için $u_{ik} \leq 0,5$ üyelik derecesine sahip müşterileri seç (T_k) ve takas için işaretle.

Adım 3.2. T_k içinden tesadüf sel olarak p kümesindeki i müşterisi ile aynı müşterinin üyelik derecesi ikinci en büyük olduğu t kümesindeki müşterilerden p kümesine ait üyelik derecesi en büyük olan j müşterisi ile takas et.

Adım 3.3. Elde edilen çözüm bireydeki toplam müşteri talebinin atandığı depo kapasitesini aşp aşmadığını kontrol et (Denklem 5.10).

Adım 3.4. Uygun çözüm bireyin $f(S)$ amaç fonksiyonu değerini hesapla. Eğer bir tasarruf elde edilirse yeni bir çözüm ($S'_{baş}$) olarak kabul et.

Adım 3.5. Başlangıç olurlu çözüme ($S'_{baş}$) geri dön ve kümeleme işlemini sonlandır.

İlk adımda BKA ile müşteriler belirlenen sayıda kümelere ayrıştırılmaktadır. İkinci adımda ise kümelere ayrıştırılan müşteri grupları için hizmet verecek olan uygun

depolar seçilmektedir. Bu süreçte kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümü için Mehrjerdi ve Nadizadeh (2013) tarafından önerilmiş ağırlıklı kümeleme metodu içerisinde yer alan yöntem kullanıldı. Bu yöntemde öncelikli olarak Denklem (5.8) kullanılarak her bir kümenin ağırlık merkezi bulunur.

$$(X_{(I)}, Y_{(I)}) = \left(\frac{\sum_{i \in I} X_i}{n_I}, \frac{\sum_{i \in I} Y_i}{n_I} \right) \quad (5.8)$$

Bu denklemde I kümesinin ağırlık merkezinin koordinatı $(X_{(I)}, Y_{(I)})$, i müşterisinin koordinatı (x_i, y_i) ve I kümesine atanan müşteri sayısı ise n_I ile temsil edilmektedir.

Daha sonra, ağırlık merkezleri belirlenen kümeler için depo atanması işlemine geçilir. Bu amaçla her bir potansiyel depo ve müşteri kümelerinin ağırlık merkezleri arasındaki toplam mesafeler hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre müşteri kümeleri ağırlık merkezlerin tüm potansiyel depolara olan öklid uzaklıkları, artan bir sırada listelenir. Bu işlem birinci potansiyel depodan başlanarak tüm potansiyel depo sayısına (PDS) kadar devam ettirilerek ayrı listeler oluşturulur. Öklid mesafeleri Denklem (5.9) ile hesaplanmaktadır.

$$(x^*, y^*): \text{En küçük } w_j = \sum_{i=1}^c [(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2]^{1/2} \quad \forall j = 1, \dots, \text{PDS} \quad (5.9)$$

Denklem (5.9)'da yer alan (x^*, y^*) , tüm potansiyel depolar arasından açılması beklenen depoların koordinatlarını ifade etmektedir. Yine aynı denklemdeki potansiyel j deposu ile müşteri kümelerinin ağırlık merkezleri arasındaki toplam öklid mesafesi w_j değişkeni, potansiyel j deposunun koordinatı (x_j, y_j) değişkenleri, i kümesinin ağırlık merkezinin koordinatı (a_i, b_i) değişkeni ve küme sayısı c değişkeni ile temsil edilmektedir.

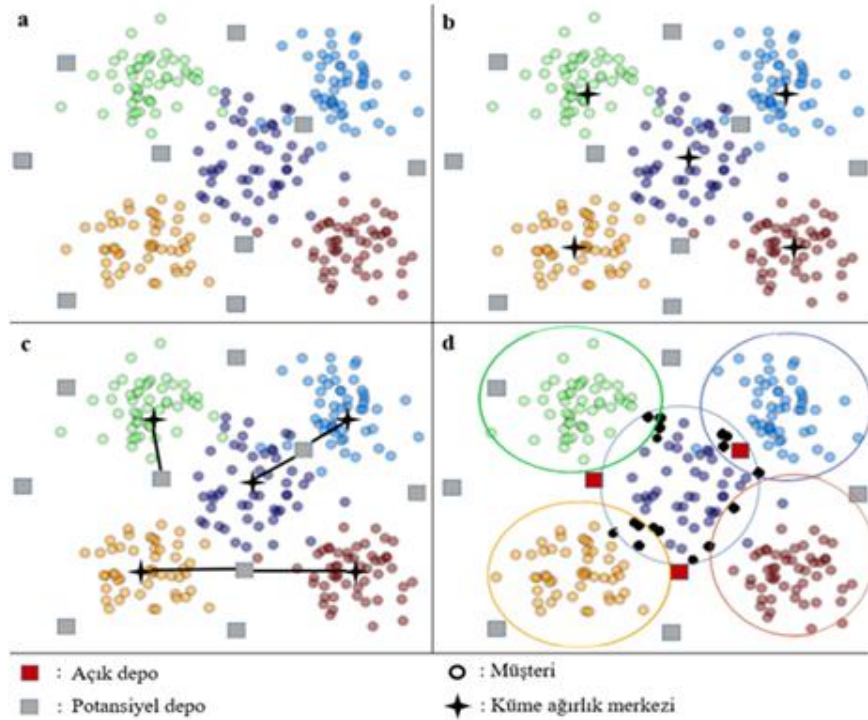
Her bir listenin başındaki potansiyel depo açılmak üzere seçilmekte ve o müşteri kümesindeki tüm müşteriler seçilen depoya atanmaktadır. Depoya atanan müşterilerin toplam talepleri depo kapasitesinin üzerinde olabilir. Mehrjerdi ve Nadizadeh (2013) çalışmalarında depo kapasitesinin yetmediği müşterilerin listedeki ikinci sıradaki depoya atanmasını öngörmüşlerdir. Bu çalışmada ise BKA ile oluşturulan kümeleri oluşturan müşterilerin korunması amaçlanıldı. Bu amaçla her atama sonrası gerekli

kapasite kontrolleri yapılarak bir kapasite aşımı söz konusu değilse atanma işlemleri tamamlanmaktadır. Aksi takdirde oluşturulacak küme sayısı bir artırılır. Bu işlem tüm kümelerdeki müşterilerin toplam taleplerinin atanmış oldukları depoların kapasitelerinden küçük veya eşit olduğu duruma kadar devam etmektedir (Denklem (5.10)).

$$\sum_{i \in C} d_i x_{ic} \leq q_{kc}, \quad \forall c \in L, \quad \forall k \in D, \quad (5.10)$$

Denklem (5.10)'da i müşterisinin talep miktarı d_i değişkeni, c kümesine dâhil edilen i müşterisi x_{ic} değişkeni, c kümesinin atandığı k deposunun kapasitesi q_{kc} değişkeni ile temsil edilmektedir. İlâveten, BKA ile elde edilen gruplar L , hizmet verecek depolar kümesi ise D değişkeni ile temsil edilmektedir.

Üçüncü adımda kümeler arası müşteri takası ile uygun çözüm bireyler üretilmektedir. Bu şekilde üretilen çözüm bireyler ile BKA tabanlı olarak geliştirilen çözüm metodu ile başlangıç popülasyonunun yarısının üretilmesi süreci tamamlanmaktadır. Başlangıç çözüm için geliştirilen metodun aşamalarının örnek gösterimi Şekil 5.4'de yer almaktadır.



Şekil 5.4. BKA ile başlangıç çözüm üretme aşamaları

Şekil 5.4 incelendiğinde; müşterilerin 5 farklı kümeye ayrıştırılması süreci Şekil 5.4a'da, oluşturulan kümelerin ağırlık merkezlerinin bulunması süreci Şekil 5.4b'de, Kümelerin ağırlık merkezlerinin öklid uzaklıkları dikkate alınarak en uygun depoların seçilmesi süreci Şekil 5.4c'de ve müşterilerin bağlı oldukları kümelere olan aitlik derecelerine göre takas işlemleri için seçilmesi süreci ise Şekil 5.4d'de gösterilmektedir.

5.2.2. En yakın komşuluk arama

Tüm müşterilerin depolara atanması işleminden sonra her bir çözüm bireyi için araç kapasitelerinin dikkate alınarak alt rotaların oluşturulması işlemine geçilmektedir. Tez çalışmasında bu amaçla açgözlü bir yapıya sahip En Yakın Komşuluk Arama (EYKA) sezgiseli kullanıldı. Bu sezgisel GSP'nin çözümü için Bellmore ve Nemhauser (1966) tarafından geliştirilmiş olan oldukça basit bir algoritmadır. Algoritma, başlangıç düğümünden en yakın düğüme hareket ederek başlamakta ve sürekli olarak sonraki en yakın düğümlere hareket edilerek nihai adım olarak başlangıç düğüme dönmektedir. Bir düğümünden bir defa geçmek koşulu ile başlangıç düğümüne dönülmesiyle gerçekleşen tura, Hamilton turu denilir. Oluşan alt rotalar değişik müşteri düğümlerinin taleplerini sağlayan araçların kapasiteleri dikkate alınarak elde edilir. Tez çalışmasına uyarlanan EYKA algoritmasının adımları aşağıda verilmektedir:

Adım 1. $n \times n$ mesafe matrisi $D[1, \dots, n, 1, \dots, n]$, müşteri talepleri $d_i \in J$ ($J = \{1, 2, \dots, m\}$) ve araç kapasitelerini (Q) belirle.

Adım 2. En yakın komşu yaklaşımını kullanarak $k \in I$ ($I = \{1, 2, \dots, n\}$) başlangıç depo düğümünden başlayıp aynı noktada biten dev bir Hamilton turu oluştur.

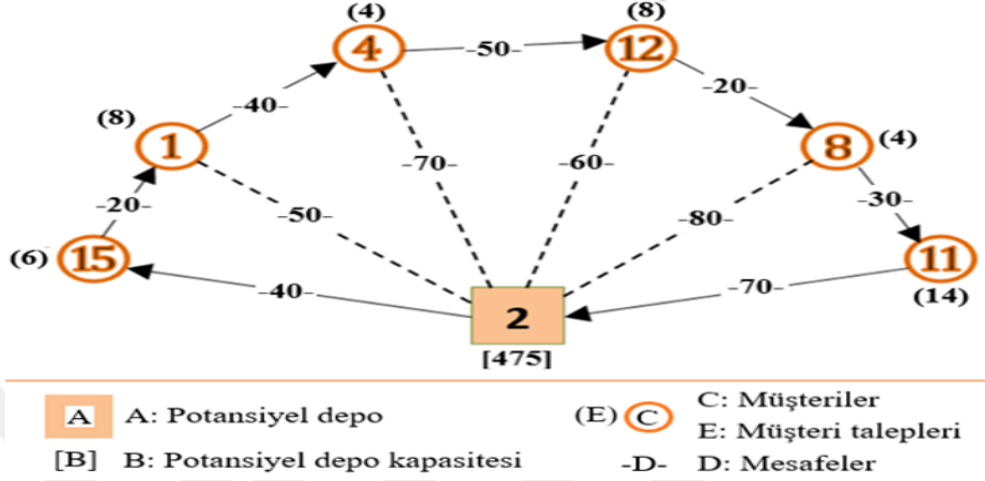
Adım 3. $d_{sr_i} \leq Q$ iken (SR alt rotalar kümesi $SR = \{sr_1, sr_2, \dots, sr_n\}$)

Adım 3.1. $i \leftarrow 1$ 'den m 'ye sr_i 'ye en yakın komşu düğümü ekleyerek ilk alt rotayı oluştur.

Adım 3.2. k başlangıç deposuna dön ve yeni bir alt rota oluştur.

Adım 4. Tüm müşteriler ve depolar için Adım 3'ü takip ederek SR kümesi tamamla.

Şekil 5.5’de, $Q = 20$ ve $W = 475$ birim kapasiteye sahip 2 numaralı örnek depoda, $L = (15,1,4,12,8,11)$ sırası ve müşteri numaralarının yanında müşteri talepleri görülmektedir.



Şekil 5.5. EYKA sezgiseli ile alt rotaların oluşturulması örneği

Bu şekilde oluşturulan 3 alt rota, toplam katedilen mesafeleri ve talep miktarları ile birlikte sırası ile aşağıdaki belirtilmektedir.

- 170 br mesafeye sahip 18 br talebin olduğu 2-(15)-(1)-(4)-2 alt rotası,
- 160 br mesafeye sahip 12 br talebin olduğu 2-(12)-(8)-2 alt rotası,
- 140 br mesafeye sahip 14 br talebin olduğu 2-(11)-2 alt rotası.

5.3. Referans Küme Oluşturma

Referans küme oluşturma aşaması, bir başlangıç referans seti (RefSet) kümesinin oluşturulmasıyla başlar. DA’da referans kümelerin eleman sayıları eşit olabileceği gibi farklı sayılarda da olabilir (Campos ve diğ., 2001). Tez çalışmasında kullanılan RefSet, iki katmanlı bir yapıya sahip olup b_1 sayıdaki en iyi çözüm ile b_2 sayıdaki farklı çözüm sayısının toplamı olan belirli bir b sayıda ($b = b_1 + b_2$ ve $b_1 = b_2 = |\text{RefSet}|$) çözümden ve $\text{RefSet} = \text{RefSet}_1 + \text{RefSet}_2$ olmak üzere $\text{RefSet}_1 = \{x^1, \dots, x^{b_1}\}$ ve $\text{RefSet}_2 = \{x^{b_1+1}, \dots, x^b\}$ elemanlarından oluşturuldu.

RefSet_1 çözüm kalitesine göre sıralanmış başlangıç popülasyondaki ($P_{baş}$) çözümlerin arasından seçilmektedir. En iyi çözümün en başta olduğu bu sıralamada

b_1 sayıdaki yüksek kaliteli çözüm ile $RefSet_1$ oluşturulmaktadır. $RefSet_2$ oluşturulurken mevcut $P_{baş}$ popülasyondan elde edilen çözümlerden $RefSet_1$ içerisindeki çözümlerden en farklı olan (amaç fonksiyonu değeri) b_2 sayıda çözüm dikkate alınmaktadır. $RefSet_2$ çözümleri, farklılık değerlerine göre sıralanmakta ve güncellemelerinde artan farklılık durumu dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, yeni bir x çözümü ancak d farklılığı gösteren bir değişken olmak üzere $d_{enk}(x) > d_{enk}(x^b)$ durumunda referans kümeye dahil edilmektedir.

5.4. Alt Küme Üretimi

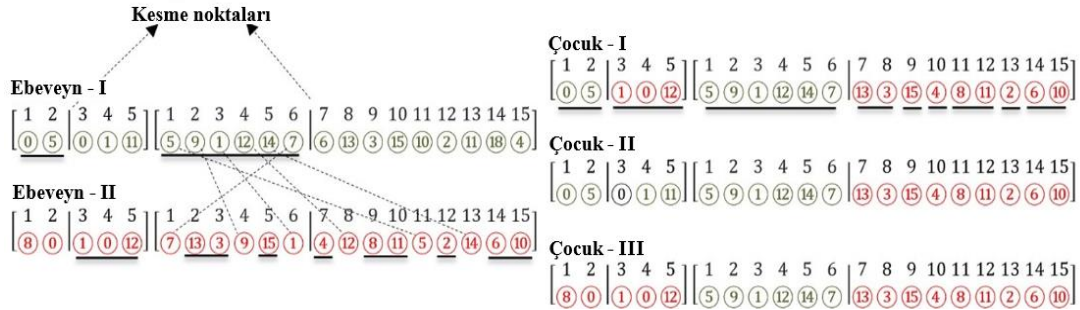
Bu aşamada tamamlanan $RefSet$ içerisindeki ikili çözümlerin birbirleri ile eşleştirildiği alt küme tip-1 versiyonu kullanıldı. Tez çalışmasında alt küme üretiminde dinamik strateji esas alındı. Statik stratejide, $RefSet$ 'i oluşturan b_1 sayıdaki $RefSet_1 = \{x^1, \dots, x^{b_1}\}$ ve b_2 sayıdaki $RefSet_2 = \{x^{b_1+1}, \dots, x^b\}$ kümesinin toplam b sayıdaki çözümü dikkate alınarak ve tüm bu çözümler birbirleri ile eşleştirilerek toplam alt küme sayısı $(b^2 - b)/2$ olacak şekilde alt kümeler oluşturulmaktadır. Dinamik stratejide ise her bir iterasyonda bir alt küme üretildi. Statik versiyonun kullanılması arama uzayının daha iyi araştırılmasına olanak vermesine rağmen daha yüksek işlem süresine sebep olduğundan tercih edilmedi. $RefSet_1 = \{x^1, \dots, x^3\}$ ve $RefSet_2 = \{x^4, \dots, x^6\}$ olmak üzere 15 tane alt küme oluşturulabilmesine rağmen çalışmada her bir iterasyon başına tesadüf sel olarak biri seçildi.

5.5. Çözüm Kombinasyonu

Çözüm kombinasyonu sürecinde alt küme üretim sürecinde üretilen her bir alt kümeden 3 farklı sayıda çözüm üretilmesi amaçlandı. Bu doğrultuda üretilen her bir alt küme için bir çaprazlama operatörü kullanılarak çözümlerin kombinasyonu sağlandı. Çaprazlama operatöründe, seçilmiş olan bireyler arasında bazı oranlarda bilgi değişimi sağlanarak yeni çözümler elde edilmektedir. Tez çalışmasında önerilen yöntemde depo statüsü parçasının çaprazlaması tek nokta çaprazlama ile gerçekleştirildikten müşteri sıralaması parçası için YSARP ve ARP tarzı problemlerde sıklıkla faydalanılan permutasyon tabanlı bir sıralı çaprazlama operatörü kullanıldı.

5.5.1. Sıralı çaprazlama operatörü

Bu operatörde her bir ebeveyn birey alt kümesi (çifti) için 3 farklı çocuk birey elde edildi. Birinci çocuk birey üretiminde öncelikle kromozom yapısı şeklinde temsil edilen ebeveyn bireydeki depo statüsü için tesadüf sel bir şekilde kesme noktası belirlenmektedir. Daha sonra depo statüsü parçasının sol tarafı bir numaralı bireyden sağ tarafı ise iki numaralı ebeveyn bireyden sırayla alınarak çaprazlama işlemine devam edilmektedir. Bu parçalar sonra bir numaralı çocuk bireyin depo statüsü parçası olarak birleştirilir. Bir numaralı ebeveyn bireyin müşteri sıralaması parçasında ise yine bir çaprazlama (kesme) noktası belirlenerek sonrasında müşteri sıralamasının sol parçası olduğu gibi bir numaralı ebeveyn bireyden alınarak ve her bir genin indisi korunarak bir numaralı çocuk bireye transfer edilmektedir. Müşteri sıralaması parçasının sağ tarafı ise iki numaralı ebeveyn bireyden alınarak ve bir numaralı ebeveyn bireyde var olan aynı genlerin alınmamasına dikkat edilerek bir numaralı çocuk bireye transfer edilerek ilk çocuk birey üretimi gerçekleştirilir. Çözüm kombinasyon metotunda kullanılan çaprazlama işlemi Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6. Sıralı çaprazlama metodu örnek uygulaması

Kapasite kısıtlı YSARP birçok kısıt içerdiğinden arama uzayı içinde bir çözüm elde etmek çok zor olmaktadır. Bu nedenle önerilen yöntemde depo çaprazlaması tek nokta çaprazlama ile gerçekleştirildikten sonra bir numaralı ebeveyn birey ve iki numaralı ebeveyn bireyin depo değerleri doğrudan alınarak iki yeni çocuk birey daha üretildi. İkinci çocuk birey üretilirken depo statüsü parçası birinci ebeveyn bireyden doğrudan transfer edildi. Çalışmada, müşteri sıralaması parçası ise aynı birinci çocuk bireyin müşteri sıralaması parçası ile aynı olacak şekilde tasarlandı. Dolayısıyla, üçüncü çocuk üretiminde müşteri sıralaması parçası yine birinci ve ikinci çocuk bireyde

çaprazlandığı gibi değişmedi. Depo statüsü parçası ise ikinci ebeveyn birey ile aynı olması sağlandı.

Çaprazlama operatörü, uygun olmayan çözümlere yol açabilir. Bu nedenle, her bir kombinasyon işlemi sonrası uygunluk (fizibilite) kontrolü yapılmalıdır. Öncelikli olarak, tüm müşterilerin herhangi bir depoya atanıp atanmadıkları kontrol edilmelidir. Aksi bir durum ile karşılaşılır ise ilk kapalı depo açılmalı ve bu deponun statüsü 0'dan 1'e değiştirilmelidir. Daha sonra bu müşterilerin atanmış oldukları depoların kapasite durumları kontrol edilmeli ve bir kapasite ihlali durumu var ise ilgili depoya atanmış olan son müşteri, mevcut pozisyonundan silinerek yeterli kapasiteye sahip ilk açık depoya atanmalıdır. Eğer yeterli kapasiteye sahip bir depo mevcut değil ise kapalı olan depolardan biri tesadüf sel olarak açılır. Böylece Şekil 5.6'da görüldüğü gibi kullanılan permütasyon tabanlı sıralı çaprazlama işlemi sonrası üç farklı çocuk birey üretimi tamamlanmaktadır.

5.6. Çözüm İyileştirme

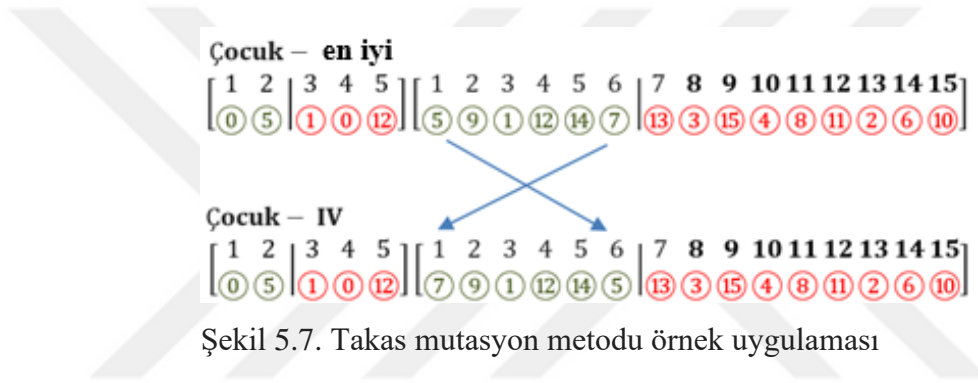
Çalışmada HDGA'nın performansının artırılmasındaki en önemli aşamalardan biri olan yerel arama süreci için öncelikli olarak değişik mutasyon ve komşuluk operatörlerinin kullanıldığı deneysel çalışmalar yapıldı. Bu çalışmalar neticesinde mutasyon için belirli bir olasılık (0,5) dahilinde çalışan takas mutasyon operatörü seçildi (M_{tak}). Komşuluk operatörleri tasarlanırken ise beş farklı komşuluk yapısı değerlendirildi. Bu yapılar alt rotaların depolarında değişiklik gerçekleştiren rota komşuluk operatörü, bir müşteriyi başka bir rotaya transfer eden müşteri komşuluk operatörü, iki müşterinin birebir pozisyonunu değiştiren takas komşuluk operatörü, iki alt rotayı birleştiren birleştirme komşuluk operatörü ve belli ikili arkaların silinerek yeniden oluşturulması ile uygulanan 2-Opt komşuluk operatöründen oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar sonrası bu operatörlerden işlem süreleri ve etkinlik düzeyleri dikkate alınarak $K_{müş}$ ve K_{2opt} seçildi.

Yerel aramanın ilk adımında kombinasyon metodu sonucu üretilen çözüm bireyler için mutasyon operatörü sonraki adımda ise mutasyon sonucu elde edilen çözümler için aynı anda çalıştırılmak üzere $K_{müş}$ ve K_{2opt} komşuluk operatörleri yürütüldü. Çözüm iyileştirme aşamasında kullanılan operatörler de, çaprazlama operatöründe olduğu gibi

uygun olmayan çözümlere yol açabilir. Bu durumda çözüm bireyini uygun hale getirmek için çaprazlama operatöründe uygulanan yöntem tekrarlanmaktadır.

5.6.1. Takas mutasyonu operatörü

Bir kromozomun genlerinin modifikasyonunu amaçlayan mutasyon sürecinde ise bir takas mutasyonu operatörü kullanılarak çaprazlama işlemi sonucu elde üretilen en iyi çocuk bireyin yalnızca müşteri sıralaması parçasında işlem yapıldı. İki adımda gerçekleştirilen süreçte öncelikle müşteri sıralaması parçasındaki iki gen tesadüf sel olarak belirlenmekte, sonrasında ise müşteri sıralaması parçasındaki genlerin pozisyonları karşılıklı olarak yer değiştirilmektedir (Şekil 5.7).

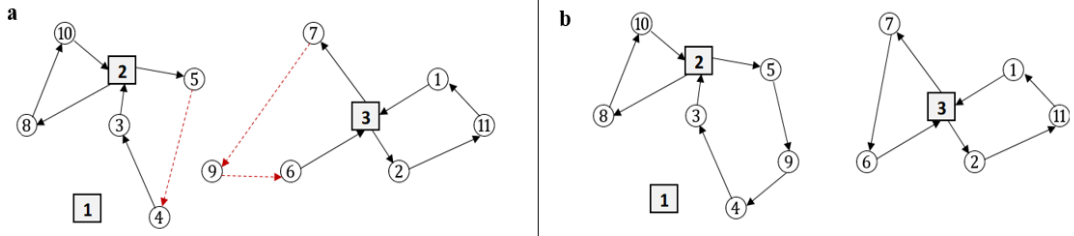


5.6.2. Müşteri komşuluk operatörü

Müşteri komşuluk operatöründe ilk olarak tesadüf sel olarak seçilen i müşterisi mevcut pozisyonundan alınmakta ve farklı iki pozisyona eklenebilmektedir. Bu pozisyonlar; i müşterisinin kendi k_1 deposuna bağlı aynı r_1 rotasının ya da farklı bir k_2 deposuna atanmış bir r_2 rotasının en iyi pozisyonu olan p_B 'ye eklenmesi şeklinde oluşabilir (Şekil 5.8). Müşteri operatörü işlem süreci aşağıdaki koşullar altında gerçekleştirilmelidir:

- Eğer $k_1 \neq k_2$ iken r_1 ve r_2 rotaları farklı depolara bağlı ise bu durumda, depo yük miktarının uygunluğu ve eklenmiş olan r_2 rotasından kaynaklı yük değişimi kontrol edilmelidir.
- Eğer $k_1 \neq k_2$ ve $r_1 \neq r_2$ iken r_1 ve r_2 rotaları aynı depoya bağlı ise bu durumda, eklenmiş olan r_2 rotasından kaynaklı yük değişimini kontrol etmek yeterlidir.

iii. Eğer $k_1 = k_2$ ve $r_1 = r_2 = r$ iken seçilmiş olan müşterinin pozisyonu aynı rota üzerinde bir değişime uğrar ise bu durumda, mevcut ve yeni durumlardaki yük değişimleri kontrol edilmelidir.



Şekil 5.8. Müşteri operatörü örnek gösterimi

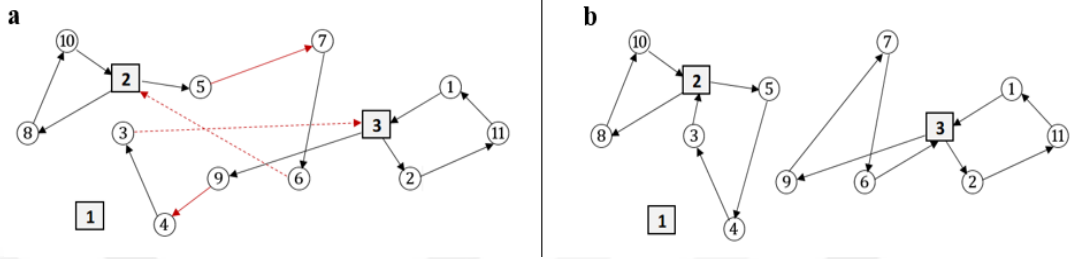
Bu operatörde, r_1 rotası üzerinde yalnızca bir müşteri olduğu durumdaki sabit araç maliyeti ve k_1 deposu için sadece tek bir rota olduğu durumdaki depo açma maliyeti gibi önemli maliyetlerden kazanç elde edilebilir. Şekil 5.8'de, 9 numaralı müşteri mevcut pozisyonundan alınmakta (Şekil 5.8a) ve (2-5-9-4-3-2) rotasındaki yeni pozisyonuna eklenmektedir (Şekil 5.8b).

5.6.3. 2-Opt komşuluk operatörü

Bu operatörde öncelikli olarak aynı r_1 deposuna ya da farklı r_1 ve r_2 depolarına bağlı olan ve birbirlerini takip etmeyen $i - j$ ve $m - n$ arkları iptal edilmektedir. Eğer bu arklar aynı rotada yani $r_1 = r_2 = r$ ise daha sonra iki yeni $i - j$ ve $j - n$ arkları üretilir ve bu arklar üzerinde uzanan yol, ters çevrilir. Eğer $r_1 \neq r_2$ ve $k_1 = k_2 = k$ iken yani iptal edilen rotalar aynı deponun farklı rotalarında ise bu durumda her bir rota başlangıç ve bitiş parçaları olarak iki parçaya bölümlenir. Daha sonra ise iki farklı rotanın başlangıç ve bitiş parçalarının birleştirildiği (k, \dots, i, n, \dots, k ve k, \dots, m, j, \dots, k) iki yeni ark oluşturulur. Aksi takdirde $r_1 \neq r_2$ ve $k_1 \neq k_2$ durumunda yani farklı depoların iki farklı rotasına bağlı olan bu iptal edilmiş arklar, farklı rotalardan gelen iki farklı parçaya bağlandıktan sonra her bir rota aynı depodan ($k_1, \dots, i, n, \dots, k_1$ ve $k_2, \dots, m, j, \dots, k_2$) başlayıp aynı depoda bitecek şekilde düzeltilir. 2-opt operatörü işlem süreci aşağıdaki koşullar altında gerçekleştirilmelidir:

i. Eğer $k_1 \neq k_2$ iken r_1 ve r_2 rotaları farklı depolara bağlı ise bu durumda, k_1 ve k_2 depoları ile r_1 ve r_2 rotaları üzerindeki yük değişkenliklerinin uygunluğu kontrol edilmelidir.

- ii. Eğer $k_1 = k_2$ ve $r_1 \neq r_2$ iken r_1 ve r_2 rotaları aynı depoya bağlı ise bu durumda, r_1 ve r_2 rotaları üzerindeki yük değişiminin kontrol edilmesi yeterli olacaktır.
- iii. Eğer $k_1 = k_2$ ve $r_1 = r_2 = r$ iken seçilmiş olan müşteriler aynı rota üzerinde değiştirilmiş ise bu durumda, seçilmiş arklar arasındaki yük değişimi kontrol edilmelidir.



Şekil 5.9. 2-Opt operatörünün örnek gösterimi

Şekil 5.9'da 2-Opt operatörü çalışma örneği incelendiğinde, ilk olarak 2 numaralı depoya bağlı (5-7) ve 3 numaralı depoya bağlı olan (9-4) arklarının mevcut pozisyonları silinmektedir (Şekil 5.9a). Daha sonra ise yeni oluşturulan (5-4) ve (9-7) arkları rotalara eklenmektedir (Şekil 5.9b). Ayrıca, depoların rotalarındaki son müşteri bağlantılarındaki değişimlere de dikkat edilmelidir. 3 numaralı müşterinin 3 numaralı depoya bağlandığı (3-3) arkları (3-2) arklarına dönüşmüş iken 6 numaralı müşterinin 2 numaralı depoya bağlandığı (6-2) arkları da (6-3) arklarına dönüşmektedir.

5.7. Referans Küme Güncelleme

Bu aşamada yerel arama sırasında her bir iterasyonda üretilen tüm çözüm bireyin amaç fonksiyonu değeri hesaplanarak ($f(x^k)$) RefSet içerisindeki çözümler ile bir P havuzunda ($P = \{x^1, \dots, x^{b_1}, x^{b_1+1}, \dots, x^b\} \cup \{x^k\}$) bir araya getirilmektedir. Kapasite kısıtlı YSARP bir en küçükleme problemi olduğu için P'deki tüm çözümler için amaç fonksiyonu değerlerine göre artan bir sırada sıralanır. İyileştirmeye yönelik bir adım oluştuğunda elde edilen çözüm birey seçilerek $\text{RefSet}_{\text{yeni}} = \{x^1, \dots, x^b\}$ olmak üzere yeni bir referans küme oluşturulur. Eğer yeni çözümde $f(x^b)_{\text{RefSet}_{\text{yeni}}} < f(x^b)_{\text{RefSet}}$ gibi bir iyileştirmeye yönelik bir farklılık oluşursa, $x^b_{\text{RefSet}} \leftarrow x^b_{\text{RefSet}_{\text{yeni}}}$ olacak şekilde RefSet üzerinde güncelleme işlemi gerçekleştirilmektedir. HDGA algoritmasının bu aşamaları algoritma durdurma kriteri için belirlenen en büyük

iterasyon (Enb_{iter}) değerine ulaşmaya kadar devam ettirilerek en iyi çözümü sağlayan RefSet'teki $f(x^1)$ amaç fonksiyonu değerine sahip olan x^1 en iyi çözüm olarak kabul edilmektedir.

Önerilen HDGA'nın tüm aşamalarını içeren sahte kod aşağıda verilmektedir:

1. // Başlangıç popülasyonu ($P_{baş}$) üretimi (% 50 bulanık tabanlı % 50 tesadüf)
2. BKA kullanarak müşterileri başlangıçta C_0 sayıda kümeye böl ($C_0 \geq \frac{n}{m}$).
3. Kümelerin merkez koordinatlarını ($X_{(1)}, Y_{(1)}$).
4. for 1: PDS
5. Her bir kügmeyi en küçük w_j 'ye sahip depoya ata.
6. for 1: SDS
7. Kapasite yeterliliği kontrolünü yap ($\sum_{i \in C} d_i x_{ic} \leq W_{kc}$).
8. if $\sum_{i \in C} d_i x_{ic} \not\leq W_{kc}$ then $C = C + 1$ yap ve Adım 2'ye dön.
9. Takas metodu ile uygun çözümler üreterek $P_{baş}$ 'ın yarısını ($|P_{ölçek}|/2$) oluştur.
Diğer yarısını tesadüf üret.
10. EYKA ile $P_{baş}$ çözümlerindeki müşterileri alt rotalara ayırıştır.
11. while ($iter < Enb_{iter}$)
12. // Referans küme oluşturma metodu
13. repeat
14. $P_{baş}$ 'dan b_1 kadar elit çözümü olarak $RefSet_1 = \{x^1, \dots, x^{b_1}\}$ oluştur.
15. $P_{baş}$ 'dan b_2 kadar farklı çözümü olarak $RefSet_2 = \{x^{b_1+1}, \dots, x^{b_2}\}$ oluştur.
16. İki kümeyi birleştirerek b sayıdaki $RefSet = \{x^1, \dots, x^b\}$ 'yi tamamla.
17. RefSet değerlerini $f(x^1) < \dots < f(x^b)$ olacak şekilde artan sırada sırala.
18. Yeni çözümler = Doğru
19. while (yeni çözümler) do
20. // Alt küme oluşturma metodu
21. // Tüm RefSet çözümleri için her bir iterasyonda bir tane alt küme olmalıdır.
22. Alt küme oluştur.
23. Yeni çözümler = Yanlış
24. while (alt küme $\neq \emptyset$) do
25. // Çözüm kombinasyonu metodu

26. Alt kümeyi seç.
27. Her bir alt küme için sıralı çaprazlama operatörü ile [1,3] kadar çözüm üret.
28. // Çözüm iyileştirme metodu
29. Kombine edilmiş en iyi çözüm için
30. Takas mutasyonu operatörü kullan ($M_{oranı} = 0,5$)
31. Müşteri komşuluk operatörü kulan ($K_{müş_oranı} = 1$)
32. 2-Opt komşuluk operatörü kullan ($K_{2opt_oranı} = 1$)
33. // Referans küme güncelleme metodu
34. Üretilen x^k çözümü $P = \{x^1, \dots, x^{b_1}, x^{b_1+1}, \dots, x^b\} \cup \{x^k\}$ havuzuna ata
35. $RefSet_{yeni} = \{x^1, \dots, x^b\}$ kümesini oluştur.
36. RefSet ile $RefSet_{yeni}$ çözümlerini karşılaştır.
37. Daha iyi bir çözüm bulunursa $RefSet_1$ 'i güncelle.
38. Daha farklı bir çözüm bulunursa $RefSet_2$ 'yi güncelle.
39. if $f(x^b)_{RefSet_{yeni}} < f(x^b)_{RefSet}$ then $x^b_{RefSet} \leftarrow x^b_{RefSet_{yeni}}$
40. if (RefSet güncellendiyse)
41. Yeni çözümler = Doğru
42. else kombinasyon metoduna geri dön.
43. iter=iter+1
44. end

6. HDGA ALGORİTMASININ TEST PROBLEMLERİNE UYGULANMASI

6.1. Taguchi Yöntemi ile Parametre Tasarımı

Parametre tasarımı, sezgisel yöntemlerin performansını büyük ölçüde etkileyen bir yöntemdir. Bu amaçla literatürde tam faktör tasarımı ve Taguchi yöntemi gibi istatistiksel deneysel tasarım yöntemleri sezgisel metotların tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Tam faktöriyel tasarım, parametreye, parametre düzeyine ve her bir parametre kombinasyonundaki deneysel tekrar artışına bağlı olarak toplam deney sayısında bir artışa yol açar. Bu durum aynı zamanda daha yüksek zaman ve maliyet yatırımları gerektirir. Ancak Taguchi yöntemi, parametreler ve seviyeleri artsa bile gerekli deneylerin sayısını en aza indirerek zamandan ve paradan tasarruf sağlar. Ek olarak araştırmacı için daha verimli bir ayarlama prosedürü sağlar (Turanoğlu ve Akkaya, 2018).

Taguchi yönteminin parametre, sistem ve tolerans olmak üzere üç aşaması vardır. Sistem tasarımı bir ürünün üretiminde gerekli olan bilimsel uygulama ve mühendislik bilgisi içerir. Parametre tasarımı kalite özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla en uygun işlem değerlerini bulmak için kullanılır. Tolerans tasarımı, parametre tasarımında belirlenen optimum ayarların analizinde ve belirlenmesinde kullanılır (Krishnaiah ve Shahabudeen, 2012).

Taguchi yöntemi, farklı parametrelerin farklı seviyeleri arasındaki en iyi kombinasyonu belirlemek için kullanışlı bir yöntemdir. Her bir parametrenin her bir kombinasyonu için önemli sayıda deney gerçekleştirilmesinin gerekli olduğu durumlarda, Taguchi yönteminde ortogonal diziler kullanılarak çok daha az deneysel çalışma ile sonuçlara ulaşmak mümkündür. Bu yöntemde deneysel çalışmayı etkileyen faktörler iki ana gruba ayrılır. Bu gruplar; kontrol edilebilir faktörler ve gürültü faktörlerinden oluşur. Bu yaklaşımla, kontrol edilebilir faktörlerin optimal seviyeleri belirlenir ve gürültü faktörlerinin etkisi en küçüklenir. Yapılacak deneyler ortogonal dizisine uygun olarak gerçekleştirilir. Her bir deneme için kaç replikasyon yapılması gerektiğine de

karar verilerek veri toplama süreci sonrası S/G gürültü oranları hesaplanmalıdır. Amaç fonksiyonunun türüne bağlı olarak kullanılabilen birkaç S/N oranı vardır. Bunlar “daha düşük daha iyidir”, “nominal en iyisidir” ve “daha yüksek olan daha iyidir” şeklindedir (Ross, 1988).

En Küçük - En İyi: Kalite değişkeni Y'nin, hedef değeri sıfırdır. S/G oranı aşağıdaki Denklem (6.1)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$S/G = -10. \log \left(\frac{\sum Y^2}{n} \right) \quad (6.1)$$

En Büyük - En İyi: Bu durumda Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı Denklem (6.2)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$S/G = -10. \log \left(\frac{\sum (1/Y^2)}{n} \right) \quad (6.2)$$

Hedef Değer - En İyi: Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda Denklem (6.3)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$S/G = -10. \log \left(\frac{\bar{Y}^2}{S^2} \right) \quad (6.3)$$

Bu üç problemde de amaç S/G oranını maksimize etmektir. S/G oranına ek olarak, ANOVA ile süreç parametrelerinin etkileri belirlenebilir. Böylece optimum seviyeler ve en önemli faktörler belirlenmiş olacaktır. Taguchi deney tasarımı ile deney sayısını azaltılarak kısa sürede sonuca ulaşılabilmesi, ayrıca S/G değeriyle varyasyonu da ortadan kaldırılarak daha gürbüz bir tasarım oluşturulması söz konusu olmaktadır (Özkan, 2013).

Taguchi deneysel tasarım metodunun temel aşamaları sırası ile çözülecek problemin belirlenmesi, parametre ve seviyelerin belirlenmesi, ortogonal diziler ve seçimleri, parametrelerin kolonlara atanması, deneylerin gerçekleştirilmesi ve verilerin toplanması ile verilerin analiz edilmesi ve optimum seviye seçimi adımlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada önerilen HDGA algoritmasına yönelik deney tasarımı için öncelikli olarak belirlenen parametreler ve seviyeleri Tablo 6.1'de görülmektedir. Bu parametreler arasından sırası ile başlangıç popülasyon büyüklüğü, referans küme

büyüklüğü, alt küme tipi, en büyük iterasyon sayısı ve mutasyon operatörü oranı için üç farklı seviye belirlenmiş iken BKA durdurma katsayısı, BKA en büyük iterasyon sayısı, çaprazlama operatörü, müşteri komşuluk operatörü ve 2-Opt komşuluk operatörü için ise sabit seviyeler belirlendi. Bu doğrultuda üç seviyeli parametrelere yönelik deney deseni olarak L27 ortogonal dizisi kullanıldı. Üç seviyeli beş parametrelili tam faktöriyel tasarım için 243 deneme yapılırken ortogonal dizisiyle sadece 27 deneme yapılmaktadır.

Tablo 6.1. Kullanılan parametreler ve seviyeleri

Sembol	Parametreler Tanım	Seviyeler		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
$P_{ölçek}$	Başlangıç popülasyonu	50	100	200
b	RefSet büyüklüğü	6	10	20
$K_{çs}$	Kombinasyon çocuk sayısı	1 Çocuk - I	2 Çocuk - I Çocuk - II	3 Çocuk - I Çocuk - II Çocuk - III
Enb_{iter}	En büyük iterasyon	500	1000	2000
M_{oran}	Mutasyon oranı	0,1	0,3	0,5
C	Küme sayısı	n/m		
ϵ	BKA durdurma katsayısı	0,002		
ζ_{oran}	Çaprazlama oranı	1		
$K_{müş_{oran}}$	Müşteri komşuluğu oranı	1		
$K_{2opt_{oran}}$	2-Opt komşuluğu oranı	1		

Ortogonal dizilerle çok sayıda parametre minimum deneme yapılarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Böylece kısa süre içerisinde minimum maliyetle parametre seviyelerini tek tek değiştirmek yerine eş zamanlı değiştirebilme imkânı vardır (Özcan, 2013).

Bu çalışmada kullanılacak örnek kümelerinin farklı büyüklüklerdeki problemlerini temsil etmesi adına tamamı kapasite kısıtlı YSARP probleminden oluşan 30 farklı test

probleminden oluşan Prodhon kümesi içerisindeki küçük, orta ve büyük boyutlu problemler arasından tesadüfse olarak üç farklı problem seçildi. Bu problemler; 50-5-2a, 100-5-2a ve 200-10-2a olarak belirlendi. Bu üç problem için, HDGA algoritması, L27 dizisinin her bir parametre kombinasyonuna göre üç kez çalıştırıldı. Böylece toplam 243 deneme yapıldı. Tablo 6.2’de beş parametrelili üç seviyeli ortogonal dizisi görülmektedir.

Tablo 6.2. Beş parametrelili üç seviyeli ortogonal dizi tablosu

No	Parametreler					$GYS_{50-5-2a}$	$GYS_{100-5-2a}$	$GYS_{200-10-2a}$	S/G oranı
	P _{ölçek}	b	K _{çs}	Enb _{iter}	M _{oranı}				
1	1	1	1	1	1	0,002212	0,005018	0,028288	35,5789
2	1	1	1	1	2	0,006150	0,005307	0,008033	43,6149
3	1	1	1	1	3	0,010461	0,003167	0,009204	41,6714
4	1	2	2	2	1	0,000276	0,006808	0,029010	35,2870
5	1	2	2	2	2	0,001302	0,004590	0,034742	33,8729
6	1	2	2	2	3	0,001552	0,004841	0,005553	47,2366
7	1	3	3	3	1	0,005051	0,004011	0,016497	39,8054
8	1	3	3	3	2	0,001563	0,003983	0,007965	45,6461
9	1	3	3	3	3	0,004798	0,003931	0,027836	35,6684
10	2	1	2	3	1	0,002163	0,003721	0,007247	46,2564
11	2	1	2	3	2	0,001121	0,003830	0,029737	35,2276
12	2	1	2	3	3	0,005814	0,003611	0,009245	43,5554
13	2	2	3	1	1	0,005179	0,002973	0,039902	32,6551
14	2	2	3	1	2	0,005814	0,003953	0,023609	36,9407
15	2	2	3	1	3	0,003062	0,004835	0,006101	46,3217
16	2	3	1	2	1	0,000336	0,006627	0,036259	33,4398
17	2	3	1	2	2	0,001850	0,002588	0,032118	34,5938
18	2	3	1	2	3	0,001302	0,005311	0,017314	39,5901
19	3	1	3	2	1	0,003420	0,003387	0,032707	34,3854
20	3	1	3	2	2	0,002344	0,003707	0,039005	32,8942
21	3	1	3	2	3	0,006101	0,004638	0,005391	45,3369
22	3	2	1	3	1	0,001842	0,003035	0,006576	47,3009
23	3	2	1	3	2	0,000000	0,003763	0,004184	49,7649
24	3	2	1	3	3	0,000000	0,004827	0,027374	35,8915
25	3	3	2	1	1	0,003337	0,003976	0,005732	47,0041
26	3	3	2	1	2	0,002103	0,003301	0,003830	50,0019
27	3	3	2	1	3	0,001850	0,003428	0,005881	47,8024

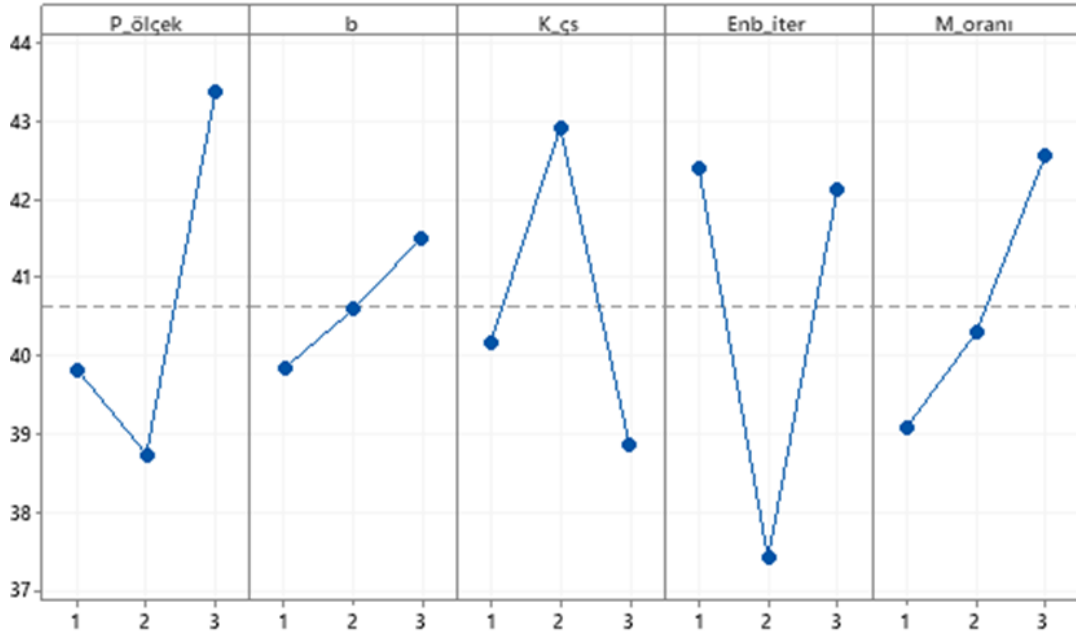
Önerilen HDGA algoritmasının her bir problemdeki performansını ölçmek için, amaç fonksiyonu aşağıda Denklem 6.4'de yer alan göreceli yüzde sapmasına (GYS) dönüştürüldü (Pourvaziri ve Naderi, 2014).

$$GYS_i = \frac{\text{ortalama}}{j} \frac{\text{toplam maliyet}_{i,j} - AS_i}{AS_i} \quad (6.4)$$

Denklem 5.4'de yer alan toplam maliyet_{i,j}, i örneği için j sayıdaki tekrar sonucu elde edilen toplam maliyeti AS_i ise i örneği için elde edilmiş en düşük maliyeti (alt sınırı) temsil etmektedir. GYS_i değeri her problem için üç deney tekrarının GYS değerlerinin ortalaması alınarak elde edildi. Elde edilen GYS_i değeri Denklem 6.5'de Y_i'nin değeri olarak kullanılarak aşağıda sunulan formüle göre S/N oranına dönüştürülür:

$$S/G = -10 \cdot \log \left(\frac{\sum GYS_i^2}{n} \right) \quad (6.5)$$

5 faktör ve 3 seviyeli L27 ortogonal dizisine göre her bir deneme için MINITAP 20 programı kullanılarak elde edilen GYS değerleri ve S/N oranları Tablo 6.2'de görülmektedir. Parametrelerin her bir seviyesi için ortalama S/G oranı grafiği Şekil 6.1'de yer almaktadır.



Şekil 6.1. Parametrelerin her bir seviyesi için ortalama S/G oranları

Şekil 6.1 incelendiğinde, her bir parametre için en yüksek ortalama S/G oranına sahip olan seviyeler en iyi seviye olarak elde edilmektedir. Her bir parametre için en iyi seviyeler aşağıda Tablo 6.3’de görülmektedir.

Tablo 6.3. Parametrelerin en iyi seviyeleri

Sembol	Tanım	En iyi seviye
$P_{ölçek}$	Başlangıç popülasyonu	200
b	RefSet büyüklüğü	20
$K_{çs}$	Kombinasyon çocuk sayısı	Çocuk - I Çocuk - II
Enb_{iter}	En büyük iterasyon	500
$M_{oranı}$	Mutasyon oranı	0,5

Tablo 6.3 incelendiğinde, Taguchi yöntemi ile deney tasarımına alınan parametrelerde; başlangıç popülasyonunda en iyi seviyenin üçüncü seviye (200), RefSet büyüklüğünde yine üçüncü seviye (20), kombinasyon çocuk sayısının (2), en büyük iterasyon sayısının birinci seviye (500) ve mutasyon oranında ise üçüncü seviye (0,5) olarak belirlendiği görülmektedir.

S/G oranlarının varyans analizi çalışmadaki en önemli parametre olarak belirlenebilir. Önerilen HDGA algoritmasındaki deney tasarımına alınan parametreler içerisinde en önemli parametre, P-Değerinin sıfıra en yakın olduğu (0,135) en büyük iterasyon (Enb_{iter}) parametresi olarak elde edildi (Tablo 6.4).

Tablo 6.4. S/G oranlarının varyans analizi

Faktör	Serbestlik derecesi	Sıralı kareler toplamı	Düzeltilmiş kareler ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
$P_{ölçek}$	2	97,265	48,633	1,57	0,238
b	2	8,822	4,411	0,14	0,868
$K_{çs}$	2	69,706	34,853	1,13	0,348
Enb_{iter}	2	140,992	70,496	2,28	0,135
$M_{oranı}$	2	59,158	29,579	0,96	0,405
Hata	16	494,755	30,922		
Toplam	26	870,698			

6.2. Test Problem Kümeleri

YSARP'nin NP-Zor yapısından dolayı sadece çok küçük örnekleri kesin olarak doğrusal programlama çözümleri tarafından çözülebilmektedir. Mevcut tamsayılı doğrusal modeller ise gevşetilerek zayıf alt sınırlar elde edilir. Küçük ölçekli problemlerde etkin olan kesin çözüm yaklaşımları 50 müşterinin üzerinde iyi sonuç vermemektedir. Bu yüzden, geniş ölçekli problemlerde kabul edilebilir işlem zamanlarında uygun sonuçlar elde edebilmek için sezgisel ve/veya metasezgisel algoritmalar gereklidir.

YSARP'nin çözümüne yönelik olarak literatürde kullanılan dört ana küme standart test kümesi aşağıdaki gibidir:

AS test kümesi (Albareda-Sambola ve diğ., 2005); müşteri sayısı $n = 10-30$, depo sayısı $m = 5$ ya da 10 olan kapasite kısıtlı depo ve kapasite kısıtsız araçlardan oluşan 450 örnekten oluşmaktadır.

Tuzun kümesi (Tuzun ve Burke, 1999); müşteri sayısı $n = \{100, 150, 200\}$, depo sayısı $m = 10$ ya da 20 olan kapasite kısıtsız depo ve kapasite kısıtlı araçların (150 br) oluşturduğu 36 örnekten oluşmaktadır.

Barreto kümesi (Barreto, 2004); müşteri sayısı $n = 21-238$, depo sayısı $m = 2-15$ olan kapasite kısıtlı ya da kısıtsız depo ve kapasite kısıtlı araçların oluşturduğu 19 örnekten oluşmaktadır.

Prodhon kümesi (Prodhon, 2006); müşteri sayısı $n = 20-200$, depo sayısı $m = 5-20$ kapasite kısıtlı depo ve kapasite kısıtlı araçlardan oluşan 30 örnekten oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında önerilen hibrit algoritmanın performansını ölçmek ve literatürde yapılmış diğer çalışmalar ile karşılaştırma yapabilmek için araç kapasite kısıtsız olan AS veri kümesi dikkate alınmadı. Çalışmada, literatürde metasezgisel algoritmaların karşılaştırmalı performans analizinde sıklıkla birlikte değerlendirilmiş olan Prodhon kümesi, Barreto kümesi ve Tuzun-Burke veri kümeleri kullanıldı (URL-2, 2021).

6.3. Araştırma Sonuçları ve Bulgular

Bu bölümde, MATLAB R2018a programlama dilinde geliştirilen HDGA'nın performansı Tuzun kümesi (Tuzun ve Burke, 1999), Barreto kümesi (Barreto, 2004) ve Prodhon kümesi (Prodhon, 2006) üzerinde test edilmekte ve her bir küme için elde edilen sonuçlar iki farklı tablo halinde gösterilmektedir. Elde edilen en iyi sonuçlar Tuzun kümesini için Tablo 6.5, Barreto kümesi için Tablo 6.7 ve Prodhon kümesi için Tablo 6.9'da yer almaktadır. Bu tablolar sırasıyla problemin adı, müşteri sayısı (n), depo sayısı (m), araç kapasitesi (Q), bilinen en iyi sonuçlar ve performans analizinde kullanılan karşılaştırmalı çalışmalardan oluşmaktadır. Tablo 6.6 (Tuzun kümesi), Tablo 6.8 (Barreto kümesi) ve Tablo 6.10'da (Prodhon kümesi) ise karşılaştırmalı sonuçlara ait yüzde aralık değerleri ve saniye cinsinden işlem süreleri yer almaktadır. Aralık değeri, elde edilen en iyi sonuç ile bilinen en iyi sonucun farkının tekrar bilinen en iyi sonuca bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümünde kullanılan bu çalışmalar ile ilgili genel bilgiler aşağıda verilmektedir.

Prins ve diğ. (2006) problemin çözümü için popülasyon yönetimli bir memetik algoritma (MA | PY) önermişlerdir. Bu çalışmada ilham olan kromozon kodlaması, depo statüsünü (DS) gösteren m ve müşteri statüsünü (MS) gösteren n vektörlerinden oluşturulmuştur. DS ilk olarak herhangi bir kromozonu değerlendirme amacıyla açık depo maliyetlerini ve her bir depoya atanmış müşteri listesini ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. Her bir depo için oluşturulan müşteri listesi daha sonra Prins (2004) tarafından kullanılmış prosedürle alt rotalara ayrıştırılmıştır. Çalışmaya ayrıca çözüm uzayındaki popülasyon farklılığını kontrol etmek bir uzaklık ölçüsü eklenmiştir.

Vicent ve diğ. (2010) çalışmalarında bir Tavlama Benzetimi (TB) metasezgiseli uygulamışlardır. Her bir çözüm depo başına bir altliste içeren bir liste olarak kodlanmıştır. Her bir alt liste sahte sıfırlar ile ayrılmış rotalar tarafından takip edilen depo içeriği ile başlatılmış ve yerel aramada tasadüf sel adımlar içeren operatörlerden yararlanılmıştır. Bu operatörler; bir düğümün yeniden yerleşimi, iki düğümün karşılıklı değişimi ve 2-opt stratejilerinden oluşturulmuştur.

Contardo ve diğ. (2014) tarafından yapılmış olan bir diğer çalışmada, üç fazlı matematik tabanlı sezgiseli olan Açgözlü Tesadüf sel Uyarlamalı Arama Prosedürü –

Tamsayı Doğrusal Programlama (ATUAP-TDP) önerilmiştir. İlk aşama, uygun çözüm havuzunu oluşturmak için Prins ve diğ. (2006b) tarafından tanıtılmış ATUAP yönteminin kullanılmasından oluşturulmuştur. İkinci aşama, yeni bir yer seçimi-yeniden atama modelinin TDP ile çözümüne dayandırılmıştır. Son aşama ise Kolon Oluşturma metodu ile problemin iteratif bir şekilde çözümünden oluşturulmuştur.

Escobar ve diğ. (2014) tarafından problemin çözümü için bir Tanecikli Değişken Tabu Komşuluk Arama (TDTKA) adı verilen yeni bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Araştırmacılar çalışmada, granüler Tabu Arama (TA) içine Değişken Komşuluk Arama (DKA) yöntemini yerleştirmişlerdir. Lin–Kernighan sezgiseli, TDP ve farklı depolara atanacak yeni rotaların eklenmesine dayalı bir rota bölümlenme prosedürünün kullanıldığı kümeleme tabanlı hibrit bir sezgisel, başlangıç çözümü için oluşturulmuştur. Bu çalışmada yerel arama aşamasında ise beş farklı komşuluk operatörü kullanılmıştır.

Lopes ve diğ. (2016) tarafından problemin çözümü için basit ve etkili bir evrimsel algoritma geliştirilmiştir. Hibrit bir Genetik Algoritma (HibritGA) olarak tasarlanmış algortmada, başlangıç çözümü aşamasında tesadüfsellik kullanılmıştır. Önerilmiş olan GA'daki kromozom yapıdaki rotaların bir araya toplanmasından oluşan tam bir çözümde, hem rota uzunluğu hem de kromozom uzunluğunun birer değişken olduğu ve servis verilen müşteri sayısına ve çözümlerdeki rota sayısına bağlı olduğu belirtilmiştir. Algoritma, mutasyon aşamasında kullanılan yerel arama operatörleri ile birleştirilip hibrit bir yapı sağlanmıştır.

Pekel (2018) tarafından yapılmış olan doktora tezi çalışmasında, problemin çözümü için Değişken Komşuluk Arama (DKA) ve Evrimsel Yerel Arama (EYA) algortmaları birleştirilerek DKAxEYA olarak adlandırılan yeni bir hibrit yöntem önerilmiştir. Yedi farklı komşuluk yapısının kullanıldığı yöntemin ilk adımında Aç Gözlü Arama algoritması uygulanarak belirli bir dereceye kadar iyi bir başlangıç çözümünün elde edilmesi, ikinci adımında komşuluk sıralamalarının varyasyonları dikkate alınarak DKA ile başlangıç çözümün iyileştirilmesi, üçüncü adımında saptırma işlemi ile farklı çözüm uzaylarının taranması ve son adımda üç farklı yeni nesil üretilerek bu yeni nesillerden en iyi çözümün elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 6.5. Tuzun kümesi için elde edilen en iyi sonuçlar

Problem	n	m	Q	BEİS	MA PY	TB	AUAP + KDP	TDTKA	HİBRİT GA +	DKA x EYA	HDGA
111112	100	10	150	1467,68	1493,92	1477,24	1469,40	1479,21	1469,54	1467,68	1481,14
111122	100	20	150	1449,20	1471,36	1470,96	1449,20	1485,28	1449,20	1453,67	1458,12
111212	100	10	150	1394,80	1418,83	1408,65	1394,90	1402,59	1395,80	1406,30	1398,61
111222	100	20	150	1432,29	1492,46	1432,29	1432,30	1463,23	1432,29	1432,29	1441,33
112112	100	10	150	1167,16	1173,22	1177,14	1169,10	1167,16	1167,53	1170,25	1167,16
112122	100	20	150	1102,24	1115,37	1110,36	1102,40	1102,24	1102,38	1104,86	1102,24
112212	100	10	150	791,66	793,97	791,66	791,70	791,66	791,91	791,88	791,66
112222	100	20	150	728,30	730,51	731,95	728,30	728,30	730,27	729,49	728,30
113112	100	10	150	1238,24	1262,32	1238,49	1238,49	1238,49	1238,49	1239,22	1247,62
113122	100	20	150	1245,30	1251,32	1247,28	1245,30	1247,27	1246,06	1247,27	1255,44
113212	100	10	150	902,26	903,82	902,26	902,30	902,26	903,50	902,60	902,26
113222	100	20	150	1018,29	1022,93	1024,02	1018,29	1018,29	1019,39	1018,29	1018,29
131112	150	10	150	1866,75	1959,39	1953,85	1899,90	1933,67	1921,30	1925,44	1894,05
131122	150	20	150	1823,20	1881,67	1899,05	1825,30	1852,14	1830,75	1845,56	1852,81
131212	150	10	150	1964,30	1984,25	2057,53	1964,30	1983,09	1981,26	1976,54	1975,66
131222	150	20	150	1792,80	1855,25	1801,39	1792,80	1803,01	1813,72	1801,43	1804,40
132112	150	10	150	1443,32	1448,27	1453,30	1446,80	1443,32	1457,01	1444,80	1454,17
132122	150	20	150	1434,60	1459,83	1455,50	1443,90	1441,43	1446,46	1444,62	1451,92
132212	150	10	150	1204,42	1207,41	1206,24	1204,80	1204,42	1211,83	1205,63	1212,49
132222	150	20	150	930,99	934,79	934,62	931,30	931,28	934,37	932,31	933,24
133112	150	10	150	1694,18	1720,30	1720,81	1695,90	1701,34	1708,63	1720,93	1703,88
133122	150	20	150	1392,00	1429,34	1415,85	1398,00	1416,74	1400,01	1397,97	1403,76
133212	150	10	150	1198,20	1203,44	1216,84	1198,60	1213,87	1213,93	1199,06	1208,37
133222	150	20	150	1151,80	1158,54	1159,12	1157,30	1151,80	1157,11	1154,32	1151,80
121112	200	10	150	2243,40	2293,99	2324,10	2243,40	2258,02	2270,18	2284,90	2261,85
121122	200	20	150	2138,40	2277,39	2258,16	2138,40	2166,20	2177,32	2163,03	2168,48
121212	200	10	150	2209,30	2274,57	2260,30	2209,30	2239,65	2230,37	2220,60	2221,43
121222	200	20	150	2222,90	2376,25	2326,53	2225,10	2236,73	2250,38	2248,80	2250,88
122112	200	10	150	2073,70	2106,26	2112,65	2077,80	2103,82	2101,75	2100,64	2096,45
122122	200	20	150	1692,17	1771,53	1722,99	1694,80	1717,92	1712,60	1717,74	1704,53
122212	200	10	150	1453,18	1467,54	1469,10	1465,40	1469,45	1466,64	1468,27	1463,42
122222	200	20	150	1082,46	1088,00	1088,64	1082,90	1082,46	1087,91	1085,77	1088,79
123112	200	10	150	1954,70	1973,28	1994,16	1954,70	1969,38	1976,97	1969,73	1972,70
123122	200	20	150	1918,93	1979,05	1932,05	1931,10	1935,74	1951,47	1940,47	1942,24
123212	200	10	150	1762,00	1782,23	1779,10	1763,10	1776,90	1772,91	1770,33	1770,33
123222	200	20	150	1390,87	1396,24	1396,42	1392,00	1391,50	1399,82	1395,07	1396,57
Ortalama					1532,19	1526,41	1502,18	1512,50	1511,70	1510,49	1510,46
BEİS sayısı					0	3	7	9	2	3	7

Tablo 6.6. Tuzun kümesi için ilave hesaplama sonuçları

Prob. No	MA PY		TB		AUAP + KDP		TDTKA		HİBRİTGA+		DKAxEYA		HDGA	
	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)
T1	1,79	33	0,65	369	0,12	198	0,79	84	0,13	78	0,00	80	0,92	166,25
T2	1,53	36	1,50	274	0,00	580	2,49	126	0,00	92	0,31	91	0,62	245,89
T3	1,72	36	0,99	231	0,01	220	0,56	74	0,07	71	0,82	75	0,27	137,58
T4	4,20	36	0,00	420	0,00	755	2,16	99	0,00	88	0,00	84	0,63	240,74
T5	0,52	32	0,86	348	0,17	278	0,00	83	0,03	79	0,26	74	0,00	123,42
T6	1,19	43	0,74	342	0,01	634	0,00	105	0,01	102	0,24	116	0,00	322,17
T7	0,29	38	0,00	360	0,01	227	0,00	96	0,03	74	0,03	77	0,00	229,02
T8	0,30	49	0,50	418	0,00	550	0,00	126	0,27	108	0,16	107	0,00	208,13
T9	1,94	37	0,02	300	0,02	286	0,02	82	0,02	83	0,08	139	0,76	135,66
T10	0,48	48	0,16	428	0,00	646	0,16	127	0,06	104	0,16	83	0,81	172,43
T11	0,17	35	0,00	291	0,00	231	0,00	71	0,14	88	0,04	98	0,00	94,39
T12	0,46	63	0,56	316	0,00	749	0,00	85	0,11	99	0,00	173	0,00	242,13
T13	4,96	129	4,67	743	1,78	1640	3,58	179	2,92	288	3,14	351	1,46	394,27
T14	3,21	144	4,16	835	0,12	3612	1,59	173	0,41	317	1,23	393	1,62	185,75
T15	1,02	111	4,75	456	0,00	1275	0,96	184	0,86	288	0,62	343	0,58	508,01
T16	3,48	144	0,48	833	0,00	3099	0,57	175	1,17	322	0,48	433	0,65	389,42
T17	0,34	167	0,69	750	0,24	871	0,00	186	0,95	262	0,10	438	0,75	523,13
T18	1,96	155	1,66	828	0,85	2738	0,67	210	1,02	390	0,90	393	1,21	552,79
T19	0,25	161	0,15	752	0,03	2082	0,00	128	0,62	270	0,10	425	0,67	353,20
T20	0,41	196	0,39	842	0,03	3734	0,03	177	0,36	318	0,14	462	0,24	372,73
T21	1,54	144	1,57	742	0,10	938	0,42	182	0,85	357	1,58	395	0,57	548,39
T22	2,68	156	1,71	833	0,43	2751	1,78	175	0,58	340	0,43	434	0,84	552,83
T23	0,44	154	1,56	756	0,03	1010	1,31	207	1,31	235	0,07	468	0,85	446,52
T24	0,59	223	0,64	837	0,48	3560	0,00	208	0,46	347	0,22	471	0,00	533,41
T25	2,48	418	3,82	1328	0,22	2805	0,87	315	1,41	623	2,07	714	0,82	854,01
T26	6,50	458	5,60	1455	0,00	5680	1,30	300	1,82	700	1,15	995	1,41	869,42
T27	2,95	377	2,31	1319	0,00	3004	1,37	287	0,95	616	0,51	732	0,55	829,35
T28	6,90	436	4,66	1428	0,10	6143	0,62	351	1,24	659	1,17	860	1,26	726,12
T29	1,57	351	1,88	1320	0,20	3462	1,45	278	1,35	593	1,30	900	1,10	485,66
T30	5,09	377	2,21	1400	0,54	8547	1,91	433	1,60	726	1,90	935	0,73	878,93
T31	0,99	322	1,10	1299	0,84	3471	1,12	318	0,93	690	1,04	914	0,70	668,43
T32	0,51	505	0,57	1429	0,04	5292	0,00	349	0,50	749	0,31	913	0,58	731,24
T33	1,32	413	2,39	1318	0,37	3865	1,12	261	1,51	701	1,14	954	0,92	794,47
T34	3,17	406	0,72	1412	0,67	9367	0,92	344	1,74	813	1,16	1308	1,21	853,39
T35	1,21	353	1,03	1314	0,12	3766	0,90	349	0,68	630	0,53	1048	0,47	599,14
T36	0,39	530	0,40	1427	0,08	5157	0,05	317	0,64	803	0,30	1665	0,41	885,41
Ort.	1,87	203	1,49	826	0,18	2590	0,76	201	0,71	364	0,62	504	0,66	468,16

Tablo 6.7. Barreto kümesi için elde edilen en iyi sonuçlar

Problem	n	m	Q	BEİS	MA PY	TB	AUAP + KDP	TDTKA	HİBRİTGA +	DKA x EYA	HDGA	
Christ50	50	5	160	565,6	565,6	565,6	569,5	580,4	565,6	565,6	565,6	
Christ75	75	10	140	844,4	866,1	848,9	844,6	853,8	844,4	854,5	847,5	
Christ100	100	10	200	833,4	850,1	838,3	840,7	837,1	833,4	835,5	839,9	
Das88	88	8	9000000	355,8	355,8	355,8	355,8	361,6	355,8	355,8	355,8	
Das150	150	10	8000000	43919,9	44011,7	45109	43952,3	44578,9	43919,9	43920,1	44318,2	
Gaspelle	21	5	6000	424,9	424,9	424,9	424,9	424,9	424,9	424,9	424,9	
Gaspelle2	22	5	4500	585,1	611,8	585,1	585,1	585,1	585,1	585,1	585,1	
Gaspelle3	29	5	4500	512,1	512,1	512,1	512,1	512,1	512,1	515,1	512,1	
Gaspelle4	32	5	8000	562,2	571,9	562,2	562,2	562,2	562,2	562,2	562,2	
Gaspelle5	32	5	11000	504,3	534,7	504,3	504,3	504,3	504,3	504,3	504,3	
Gaspelle6	36	5	250	460,4	485,4	460,4	460,4	460,4	460,4	460,4	460,4	
Min27	27	5	2500	3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062	3062,0	
Min134	134	8	850	5709	5950,1	5709	5719,3	5789	5709	5714,7	5735,8	
Ortalama					4523,3	4579,8	4491,8	4547,1	4487,6	4489,3	4521,1	
BEİS sayısı						7	10	8	7	13	7	9

Tablo 6.8. Barreto kümesi için ilave hesaplama sonuçları

Prob. No	MA PY		TB		AUAP + KDP		TDTKA		HİBRİTGA +		DKA x EYA		HDGA	
	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)
B1	0,00	4	0,00	53	0,69	18	2,62	22	0,00	16	0,00	11	0,00	31,84
B2	2,57	9	0,53	127	0,02	88	1,11	45	0,00	62	1,20	44	0,37	146,12
B3	2,00	45	0,59	331	0,88	492	0,44	111	0,00	82	0,25	97	0,78	324,49
B4	0,00	34	0,00	227	0,00	210	1,63	97	0,00	161	0,00	62	0,00	99,36
B5	0,21	255	2,71	577	0,07	1842	1,50	199	0,00	530	0,00	690	0,91	396,60
B6	0,00	0	0,00	18	0,00	2	0,00	4	0,00	2	0,00	0	0,00	0,0
B7	4,56	0	0,00	17	0,00	3	0,00	6	0,00	2	0,00	0	0,00	0,0
B8	0,00	1	0,00	24	0,00	5	0,00	7	0,00	3	0,59	1	0,00	13,71
B9	1,73	1	0,00	27	0,00	6	0,00	20	0,00	4	0,00	1	0,00	7,23
B10	6,03	1	0,00	25	0,00	8	0,00	15	0,00	3	0,00	1	0,00	10,70
B11	5,43	1	0,00	32	0,00	9	0,00	22	0,00	5	0,00	1	0,00	12,99
B12	0,00	1	0,00	23	0,00	4	0,00	7	0,00	3	0,00	0	0,00	0,0
B13	4,22	111	0,00	522	0,18	750	1,40	134	0,00	343	0,10	550	0,47	341,17
Ort.	2,06	36	0,29	154	0,14	264	0,67	53	0,00	94	0,16	112	0,19	106,48

Tablo 6.9. Prodhon kümesi için elde edilen en iyi sonuçlar

Problem	n	m	Q	BEİS	MA PY	TB	AUAP + KDP	TDTKA	HİBRİT GA +	DKA x EYA	HDGA
20-5-1a	20	5	70	54793	54793	54793	54793	54793	54793	54793	54793
20-5-1b	20	5	150	39104	39104	39104	39104	39104	39104	39104	39104
20-5-2a	20	5	70	48908	48908	48908	48908	48908	48908	48908	48908
20-5-2b	20	5	150	37542	37542	37542	37542	37542	37542	37542	37542
50-5-1a	50	5	70	90111	90160	90111	90111	90111	90111	90111	90111
50-5-1b	50	5	150	63242	63242	63242	63242	63242	63242	63242	63242
50-5-2a	50	5	70	88298	88298	88298	88298	89342	88298	88298	88298
50-5-2b	50	5	150	67308	67893	67308	67373	67951	67308	67308	67308
50-5-2bis	50	5	70	84055	84055	84055	84055	84126	84055	84055	84055
50-5-2bbis	50	5	150	51822	51822	51822	51883	52213	51822	51883	51822
50-5-3a	50	5	70	86203	86203	86456	86203	86203	86203	86203	86203
50-5-3b	50	5	150	61830	61830	62700	61830	61885	61830	61830	61830
100-5-1a	100	5	70	274814	281944	277035	275457	276137	276467	275281	275817
100-5-1b	100	5	150	213615	216656	216002	214056	216154	214686	214195	214842
100-5-2a	100	5	70	193671	195568	194124	193708	193896	194013	193671	193671
100-5-2b	100	5	150	157095	157325	157150	157178	157180	157172	157150	157903
100-5-3a	100	5	70	200079	201749	200242	200339	200777	200327	200079	200532
100-5-3b	100	5	150	152441	153322	152467	152466	153435	152653	152983	152639
100-10-1a	100	10	70	287695	316575	291043	287892	287864	289649	301270	289430
100-10-1b	100	10	150	230889	270251	234210	234080	232599	233453	241152	231974
100-10-2a	100	10	70	243590	245123	245813	243695	245484	244075	243842	244371
100-10-2b	100	10	150	203988	205052	205312	203988	204252	203988	203988	204972
100-10-3a	100	10	70	250882	253669	250882	252927	254558	253510	252890	251835
100-10-3b	100	10	150	204317	204815	205009	204664	205824	204755	204664	204675
200-10-1a	200	10	70	475294	483497	481002	475327	477009	480435	478094	480712
200-10-1b	200	10	150	377043	380044	383586	377327	377716	380505	378823	378320
200-10-2a	200	10	70	449006	451840	450848	449291	449006	451293	450113	451058
200-10-2b	200	10	150	374280	375019	376674	374575	374717	374943	375160	375495
200-10-3a	200	10	70	469433	478132	473875	469870	471978	475276	472417	475213
200-10-3b	200	10	150	362653	364834	363701	363103	362827	365592	363537	364786
Ortalama					200309	197777	196776	197228	197534	197753	197382
BEİS					10	11	11	8	13	14	13

Tablo 6.10. Prodhon kümesi için ilave hesaplama sonuçları

Prob. No	MA PY		TB		AUAP+KDP		TDTKA		HİBRİTGA + DKAxEYA				HDGA	
	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)	Aralık (%)	Süre (s)
P1	0,00	0	0,00	20	0,00	2	0,00	2	0,00	2	0,00	0	0,00	0
P2	0,00	0	0,00	15	0,00	3	0,00	3	0,00	2	0,00	0	0,00	0
P3	0,00	0	0,00	19	0,00	1	0,00	2	0,00	2	0,00	0	0,00	0
P4	0,00	0	0,00	15	0,00	3	0,00	3	0,00	1	0,00	0	0,00	0
P5	0,05	3	0,00	75	0,00	15	0,00	13	0,00	17	0,00	0	0,00	21
P6	0,00	3	0,00	58	0,00	18	0,00	9	0,00	15	0,00	9	0,00	14
P7	0,00	3	0,00	95	0,00	18	1,18	12	0,00	18	0,00	5	0,00	31
P8	0,87	3	0,00	59	0,10	22	0,96	10	0,00	17	0,00	11	0,00	50
P9	0,00	3	0,00	75	0,00	21	0,08	8	0,00	15	0,00	5	0,00	18
P10	0,00	4	0,00	66	0,12	27	0,75	9	0,00	14	0,12	10	0,00	27
P11	0,00	3	0,29	74	0,00	17	0,00	18	0,00	16	0,00	5	0,00	36
P12	0,00	5	1,41	58	0,00	23	0,09	20	0,00	14	0,00	0	0,00	24
P13	2,59	26	0,81	349	0,23	220	0,48	75	0,60	73	0,17	43	0,36	284
P14	1,42	35	1,12	269	0,21	230	1,19	59	0,50	79	0,27	83	0,57	260
P15	0,98	36	0,23	349	0,02	122	0,12	76	0,18	73	0,00	39	0,00	248
P16	0,15	36	0,04	212	0,05	100	0,05	82	0,05	67	0,04	74	0,51	157
P17	0,83	29	0,08	250	0,13	97	0,35	69	0,12	75	0,00	64	0,23	223
P18	0,58	33	0,02	197	0,02	100	0,65	68	0,14	62	0,36	60	0,13	185
P19	10,04	25	1,16	270	0,07	2622	0,06	203	0,68	95	4,72	55	0,60	278
P20	17,05	36	1,44	203	1,38	1067	0,74	117	1,11	87	4,44	112	0,47	162
P21	0,63	25	0,91	261	0,04	236	0,78	52	0,20	110	0,10	56	0,32	279
P22	0,52	32	0,65	199	0,00	259	0,13	42	0,00	98	0,00	106	0,48	201
P23	1,11	29	0,00	338	0,82	723	1,47	82	1,05	109	0,80	61	0,38	158
P24	0,55	37	0,65	240	0,48	584	1,05	78	0,52	85	0,48	80	0,18	257
P25	1,73	345	1,20	1428	0,01	3960	0,36	320	1,08	896	0,59	400	1,14	900
P26	0,80	463	1,74	1336	0,08	4006	0,18	239	0,92	777	0,47	710	0,34	754
P27	0,63	281	0,41	1796	0,06	4943	0,00	231	0,51	836	0,25	530	0,46	853
P28	0,20	321	0,64	1245	0,08	3486	0,12	290	0,18	765	0,24	610	0,32	728
P29	1,85	213	0,95	1776	0,09	4075	0,54	330	1,24	835	0,64	720	1,23	853
P30	0,60	272	0,29	1326	0,12	7888	0,05	214	0,81	721	0,24	590	0,59	787
Ort.	1,43	76,7	0,46	422,4	0,13	1162,9	0,37	91,2	0,32	199,2	0,45	147,9	0,28	259,63

Tablo 6.5’de Tuzun kümesi üzerinde elde edilen en iyi sonuçlar incelendiğinde; HDGA’nın 112112, 112122, 112212, 112222, 113212, 113222 ve 133222 numaralı toplam yedi problemde en iyi sonuca ulaştığı görülmektedir. Tablo 6.6 incelendiğinde ise HDGA’nın Tuzun kümesi üzerindeki 36 problem üzerinde en iyi çözümlerden farklılık oranlarının yani yüzdelik aralık değerlerinin ortalama olarak 0,66’lık bir değere ulaştığı ve yine hesaplama sürelerinin ortalamasında 468,16 saniye olduğu gözlemlenmektedir. Karşılaştırma algoritmaları göz önüne alındığında; HDGA’nın ortalama aralık değerleri dikkate alındığında MA | PY (1,87), TB (1,49), TDTKA (0,76) ve HİBRİTGA+ (0,71) algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği ve üçüncü sırada olduğu, ortalama hesaplama süresi açısından ise 468,16 saniyeye sahip olarak TB (826 sn), AUAP + KDP (2590 sn) ve DKAxEYA (504 sn) algoritmalarından daha kısa işlem süresi kullandığı ve dördüncü sırada olduğu görülmektedir.

Tablo 6.7’de Barreto kümesi üzerinde elde edilen en iyi sonuçlar yer almaktadır. Bu tablo incelendiğinde HDGA’nın Christ50, Das88, Gaspelle, Gaspelle2, Gaspelle3, Gaspelle4, Gaspelle5, Gaspelle6 ve Min27 kodlu toplam dokuz problemde en iyi sonuca ulaştığı görülmektedir. Tablo 6.8 incelendiğinde ise Barreto kümesindeki 13 problem üzerinde elde edilen sonuçlarda HDGA’nın en iyi çözümlere göre olan yüzdelik aralık değerlerinin ortalama olarak 0,19’luk ve hesaplama sürelerinde ise ortalama 106,48 saniyelik bir değere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Karşılaştırma algoritmaları göz önüne alındığında; HDGA’nın ortalama aralık değerine göre MA| PY (2,06) ve TDTKA (0,67) algoritmalarından daha iyi sonuç verdiği ve dördüncü sırada olduğu, ortalama hesaplama süresi açısından ise 106,48 saniyeye sahip olarak TB (154 sn), AUAP + KDP (264 sn) ve DKAxEYA (112 sn) algoritmalarından daha kısa işlem süresine sahip olarak yine dördüncü sırada olduğu görülmektedir.

Tablo 6.9’da Prodhon kümesi üzerinde elde edilen en iyi sonuçlar analiz edildiğinde, HDGA’nın 20-5-1a, 20-5-1b, 20-5-2a, 20-5-2b, 50-5-1a, 50-5-1b, 50-5-2a, 50-5-2b, 50-5-2bis, 50-5-2bbis, 50-5-3a, 50-5-3b ve 100-5-2a kodlu toplam on üç problemde en iyi sonucu elde ettiği gözlemlenmektedir. Tablo 6.6’da ise HDGA’nın ve diğer karşılaştırma algoritmalarının Prodhon kümesi üzerindeki 30 problem üzerinde en iyi çözümlerden farklılık oranları yer almaktadır. Tablo 6.10’daki yüzdelik aralık değerleri incelendiğinde, HDGA’nın en iyi değerlere göre ortalama 0,28’lik bir aralık

değerine ve ortalama hesaplama süresi olarak 259,63 saniyelik bir değere sahip olduğu görülmektedir. Diğer karşılaştırma algoritmaları göz önüne alındığında; HDGA'nın ortalama aralık değerleri göz önünde bulundurulduğunda MA | PY (1,43), TB (0,46), TDTKA (0,37), HİBRİTGA+ (0,32) ve DKAxEYA (0,45) algoritmasından daha iyi sonuçlar verdiği ve ikinci sırada olduğu, ortalama hesaplama süresi açısından ise 259,63 saniyeye sahip olarak TB (422,4 sn) ve AUAP+KDP (1162,9 sn) algoritmalarından daha kısa işlem süresi kullandığı ve beşinci sırada olduğu görülmektedir.

Kapasite kısıtlı YDARP'nin çözümlüne yönelik olarak literatürde var olan güncel ve etkili karşılaştırmalı ortalama sonuçlar, işlem gördükleri bilgisayar yapıları ve koşum sayıları Tablo 6.11'de verilmektedir.

Tablo 6.11. Karşılaştırmalı algoritmalarının ortalama sonuçları ve bilgisayar yapıları

Çalışmalar	Koşum sayısı	Tuzun		Barreto		Prodhon		Bilgisayar GHz
		Aralık	CPU	Aralık	CPU	Aralık	CPU	
PY MA	tek	1,87	203	2,06	36	1,43	76,7	Pentium 4 2,4 GHz
TB	tek	1,49	826	0,29	154	0,46	422,4	Core2 Quad 2,66 GHz
AUAP-TDP	10	0,18	2590	0,14	264	0,13	1162,9	Intel Xeon E5472 3,00 GHz
TDTKA	10	0,76	201	0,67	53	0,37	91,2	Core2 Duo 2,00 GHz
HibritGA+	10	0,71	364	0,00	94	0,32	199,2	Core i7-4790 3,60 GHz
DKAxEYA	5	0,62	504	0,16	112	0,45	147,9	AMD A9-9410 2,90 GHz
HDGA	5	0,66	468,16	0,19	106,48	0,28	259,63	Core i5-7200U 2,50 GHz
HDGA sıralaması	-	3	4	4	4	2	5	
BEİS sayısı		7		9		13		

Tablo 6.11'de bu çalışmada önerilen HDGA algoritmasının hem problem kümeleri üzerindeki sonuçları hem de karşılaştırma algoritmaları ile olan performans sıralamaları dikkate alındığında, nispeten ortalama bir işlemci yapısı kullanılmasına rağmen algoritmanın karşılaştırılan diğer metasezgisel yöntemler içinde aralık değerlerine göre ortalama üçüncü sırada ve işlem sürelerine göre ortalama dördüncü sırada performansa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

6.4. HDGA Bileşenlerinin Performans Etki Düzeyleri

Bu çalışmada önerilen HDGA metasezgisel algoritması içerisinde yer alan ve arama uzayı içerisinde mevcut çözümü geliştirmek için kullanılan 5 temel bileşenin beş koşulunda elde edilen ortalama değerlere göre çözüme etki oranları Tablo 6.12’de verilmektedir. Bu bileşenler sırası ile başlangıç çözümü aşamasında kullanılan BKA, sıralı çaprazlama operatörü (ÇO), takas mutasyon operatörü (MO), müşteri komşuluk operatörü (MK) ve 2-Opt komşuluk operatöründen (2OP) oluşmaktadır. Ayrıca son sütunda ise çalışmada önerilen HDGA ile elde edilen yüzde en iyi ortalama aralık değerleri (BK+ÇO+MO+MK+2OP) verilmektedir.

Tablo 6.12. Tuzun kümesi için performans etki düzeyleri

Problem No	BKA	BKA+ÇO	BKA+ÇO+MO	BKA+ÇO+MO+MK	BKA+ÇO+MO+2OP	HDGA
T1	18,98	10,37	7,36	4,38	1,73	1,49
T2	18,53	5,53	3,63	2,38	0,83	0,73
T3	16,74	3,11	1,99	1,30	0,41	0,35
T4	16,87	7,04	5,10	2,81	1,07	0,91
T5	13,55	3,85	2,66	1,47	0,45	0,36
T6	13,31	3,55	2,53	1,32	0,42	0,34
T7	11,47	3,53	2,77	1,13	0,39	0,31
T8	8,31	3,13	2,37	0,96	0,24	0,18
T9	15,32	5,30	3,83	2,04	0,73	0,61
T10	15,65	7,28	5,44	2,76	1,05	0,89
T11	12,28	4,79	3,82	1,54	0,58	0,47
T12	12,70	5,33	4,07	1,84	0,64	0,52
T13	22,31	7,48	4,46	3,47	1,24	1,13
T14	21,65	7,50	4,59	3,44	1,23	1,12
T15	23,36	7,58	4,45	3,57	1,29	1,19
T16	20,79	6,24	3,72	2,82	0,96	0,86
T17	18,17	8,37	6,07	3,44	1,37	1,19
T18	17,60	7,67	5,54	3,12	1,21	1,04
T19	15,10	6,26	4,65	2,36	0,87	0,73
T20	12,61	4,35	3,26	1,52	0,51	0,41
T21	19,53	7,39	4,60	3,27	1,11	0,98
T22	16,05	5,86	4,14	2,33	0,82	0,70
T23	13,97	4,74	3,35	1,80	0,58	0,48
T24	13,08	4,99	3,72	1,77	0,60	0,49

Tablo 6.12. (Devam) Tuzun kümesi için performans etki düzeyleri

T25	26,90	5,95	2,95	2,83	0,98	0,95
T26	24,92	10,00	5,93	4,82	1,83	1,73
T27	26,18	10,89	6,57	5,37	2,13	2,04
T28	26,74	9,24	5,18	4,54	1,72	1,66
T29	24,20	6,29	3,54	2,98	1,06	0,99
T30	19,56	8,67	5,74	3,80	1,39	1,23
T31	19,06	6,99	4,77	3,00	1,13	0,99
T32	13,25	5,78	4,43	2,01	0,73	0,59
T33	23,20	9,39	5,81	4,42	1,67	1,55
T34	22,48	13,17	8,83	6,07	2,46	2,25
T35	20,64	7,50	4,67	3,38	1,20	1,07
T36	16,05	9,15	7,01	3,43	1,39	1,18
Ortalama	18,09	6,78	4,54	2,87	1,06	0,94

Tablo 6.13. Barreto kümesi için performans etki düzeyleri

Problem No	BKA	BKA+ÇO	BKA+ÇO+MO	BKA+ÇO+MO+MK	BKA+ÇO+MO+2OP	HDGA
B1	5,24	2,36	1,46	0,33	0,08	0,06
B2	8,89	2,95	1,72	0,74	0,49	0,43
B3	8,64	3,65	2,23	1,13	0,84	0,81
B4	4,79	0,42	0,21	0,08	0,01	0,00
B5	25,20	10,51	5,73	3,01	1,44	1,13
B6	3,32	1,30	0,81	0,16	0,03	0,00
B7	7,04	2,49	1,54	0,38	0,11	0,00
B8	4,50	2,08	1,30	0,28	0,06	0,00
B9	5,18	2,07	1,29	0,29	0,07	0,00
B10	4,32	1,70	1,05	0,23	0,05	0,00
B11	3,85	1,77	1,11	0,23	0,04	0,00
B12	4,64	1,14	0,72	0,15	0,03	0,00
B13	17,75	8,78	5,48	1,89	0,97	0,86
Ortalama	7,95	3,17	1,89	0,85	0,32	0,25

Tablo 6.14. Prodhon kümesi için performans etki düzeyleri

Problem No	BKA	BKA+ÇO	BKA+ÇO+MO	BKA+ÇO+MO+MK	BKA+ÇO+MO+2OP	HDGA
P1	8,68	3,25	2,00	0,53	0,14	0,11
P2	6,33	2,58	1,62	0,37	0,08	0,06
P3	7,11	2,82	1,77	0,42	0,10	0,08
P4	5,06	0,71	0,41	0,11	0,02	0,01
P5	13,93	5,29	3,21	1,06	0,37	0,30
P6	9,58	0,40	0,20	0,09	0,02	0,01
P7	13,33	5,34	3,25	1,04	0,36	0,29
P8	10,83	5,38	3,43	0,89	0,30	0,24
P9	11,98	4,97	3,12	0,89	0,31	0,24
P10	7,60	3,17	1,99	0,48	0,12	0,09
P11	12,67	5,17	3,23	0,95	0,34	0,27
P12	8,86	4,51	2,85	0,70	0,21	0,16
P13	19,47	9,26	5,19	2,32	0,83	0,74
P14	17,62	5,98	3,55	1,37	0,51	0,45
P15	15,54	5,53	3,31	1,18	0,42	0,35
P16	15,16	6,09	3,71	1,26	0,46	0,39
P17	15,95	6,77	4,09	1,45	0,53	0,45
P18	14,66	5,29	3,19	1,09	0,38	0,32
P19	21,48	7,15	3,83	1,92	0,67	0,62
P20	17,73	6,67	3,92	1,55	0,57	0,50
P21	18,10	6,30	3,62	1,50	0,54	0,47
P22	16,81	6,67	3,97	1,49	0,55	0,47
P23	18,36	7,36	4,29	1,74	0,65	0,57
P24	16,91	6,00	3,50	1,37	0,48	0,42
P25	27,57	11,24	5,83	3,40	1,43	1,32
P26	23,82	11,09	6,08	3,09	1,19	1,13
P27	23,99	9,14	4,72	2,60	0,93	0,88
P28	23,35	9,96	5,40	2,76	1,03	0,98
P29	27,01	9,58	5,05	2,87	1,23	1,11
P30	22,47	7,50	3,86	2,08	0,71	0,66
Ortalama	15,73	6,04	3,47	1,42	0,52	0,46

Çözüm sürecinde yer alan bileşenlerin üç farklı problem verisi üzerindeki ortalama performan etki düzeyleri ve çözümü iyileştirme oranları Tablo 6.15’de verilmektedir.

Tablo 6.15. Ortalama performas etki düzeyleri

Bileşenler	Tuzun		Barreto		Prodhon	
	Aralık (%)	İyileştirme oranı (%)	Aralık (%)	İyileştirme oranı (%)	Aralık (%)	İyileştirme oranı (%)
Başlangıç çözüm	18,09	-	7,95	-	15,73	-
Çaprazlama (Kombinasyon)	6,78	62,52	3,17	60,13	6,04	61,60
Mutasyon	4,54	33,04	1,89	40,38	3,47	42,55
Müşteri komşuluğu	2,87	36,78	0,85	55,03	1,42	59,08
2-Opt komşuluğu	1,06	63,07	0,32	62,35	0,62	63,38
HDGA	0,94	-	0,25	-	0,46	-

Ortalama değerler problem boyutu bazında analiz edildiğinde ortalama aralık oranların yüksek problem ölçeğine sahip Tuzun veri kümesinde daha yükseldiği, daha küçük boyutlu örneklere sahip olan Prodhon ve Barreto verilerinde ise nispeten azaldığı gözlemlenmektedir. Bileşenlerin ortalama etki oranları incelendiğinde en yüksek etkiyi 2-Opt komşuluk operatörünün sağladığı görülmektedir. 2-Opt komşuluğuna oldukça yakın olarak ikinci etkin bileşen kombinasyon metodunda kullanılan sıralı çaprazlama metodudur. Üçüncü etkin bileşen olarak yerel aramada kullanılan müşteri komşuluk operatörü öne çıkmaktadır. Takas operatörünün de belirli bir olasılık dahilinde yürütülmesine rağmen çözüme katkı sağladığı görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küreselleşme sürecinin yoğun olduğu ve rekabetin her seviyede yaşandığı günümüz iş dünyası koşullarında işletmelerin piyasalarda var olabilmeleri, müşteri portföyünü artırabilmeleri ve değişen koşullara göre sürdürülebilirliklerini sağlayabilmeleri için etken faktörlerden biri de etkin maliyet yönetimidir.

Lojistik ve tedarik zinciri yönetimi alanında yapılan çalışmalar, lojistik faaliyetler sonucu oluşan maliyetlerin işletmelerin toplam maliyetleri içerisinde oldukça önemli bir orana ulaştığını göstermektedir. Bu gelişmeler işletmelerin lojistik faaliyetlerin ve bu faaliyetler sonucu oluşan maliyetlerin oldukça özenli bir biçimde incelenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Lojistik faaliyetlerin temelinde yer alan fiziksel dağıtım ağları tasarlanırken iki temel bileşen ön plana çıkmaktadır. Bu bileşenlerden birisi müşteri noktalarına hizmet sağlayacak uygun tesis yerleşimlerinin seçilmesi ve diğeri ise bu seçili tesislerden (depolardan) müşterilere hizmet sağlayacak uygun rotaların belirlenmesidir. Stratejik seviyede olan yer seçimi kararları ve taktiksel (operasyonel) seviyedeki rotalama kararları alınırken oluşacak maliyetlerin de eş zamanlı olarak en küçüklenmesi gerekmektedir. Rotalama kararları alınırken tesis yeri seçiminin dikkate alınmadığı ya da tesis yeri seçimi sürecinde rotalama kararlarının ihmal edildiği durumlarda yüksek maliyetler ortaya çıkabilmektedir. Etkin bir fiziksel dağıtım sisteminin tasarlanmasında bu kararların eş zamanlı olarak alınması oldukça önemlidir. Bu bağlamda bu çalışmada, Tesis Yer Seçimi Problemi (TYSP) ile Araç Rotalama Probleminin (ARP) eş zamanlı olarak ele alındığı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Probleminin (YSARP) değişik versiyonları arasında literatürde oldukça güncel olan ve araç ve depo kısıtlarının probleme eklendiği versiyonuna odaklanılmaktadır. Bu problem türü literatürde kapasite kısıtlı YSARP olarak bilinmektedir. NP-Zor yapıya sahip iki problemin bileşiminden oluşan kapasite kısıtlı YSARP'de NP-Zor yapıya sahiptir. Çalışmada NP-Zor bu problemin tek aşamalı, deterministik yapılı, çoklu depo ve araçlı, araç ve kapasite kısıtlı, birinci katmanlı, zaman kısıtsız, tekli periyodlu ve tekli amaç fonksiyonlu bir yapı temel alınmaktadır.

Kapasite kısıtlı YSARP'nin çözümü için evrimsel bir metasezgisel olan Dağıtık Arama (DA) tabanlı bir algoritma önerilmektedir. Bu algoritmanın kombinasyon ve iyileştirme aşamalarında ise Genetik Algoritma (GA) operatörleri işlem görmektedir. Bu sebeple önerilen metasezgisel algoritma Hibrit Dağıtık Genetik Arama (HDGA) olarak tanımlanmaktadır. HDGA'nın başlangıç popülasyon oluşturma aşamasında Bulanık K-Ortalamalar Algoritması (BKA) ve tesadüfelliğin eşit oranda (%50) kullanıldığı bir yaklaşım yer almaktadır. Bu aşamadan sonra DA algoritması süreçleri işlem görmektedir. Referans küme oluşturulduktan sonra sırası ile alt küme üretim metodu, çözüm kombinasyon metodu, iyileştirme metodu ve referans küme güncelleme metodu yer almaktadır. İlâveten, değişik seviyeli parametreler için Taguchi yönteminin kullanıldığı deney tasarımı yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında önerilmekte olan HDGA algoritmasının performans analizi için literatürde yer alan ve standard veriler olarak bilinen Tuzun, Barreto ve Prodhon veri kümeleri kullanılmakta ve elde edilen sonuçlar YSARP literatüründeki diğer etkin algoritmalar ile karşılaştırılmaktadır. Daha sonra ise problemin temel çözüm bileşenleri olan BKA, komşuluk operatörleri ve genetik operatörlerin örnek veri kümeleri üzerindeki ortalama etki düzeyleri analiz edilmektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; önerilen HDGA'nın Tuzun kümesi içerisinde bilinen en iyi altı sonuca ulaştığı ve üçüncü sırada olduğu, Barreto kümesi içerisinde bilinen en iyi dokuz sonuca ulaştığı ve dördüncü sırada olduğu ve Prodhon kümesi içerisinde bilinen en iyi on üç sonuca ulaştığı ve ikinci sırada olduğu görülmektedir. HDGA'nın karşılaştırma algoritmaları içerisindeki GA yaklaşımının kullanıldığı çalışmalar olan MA | PY ve HİBRİTGA+ algoritmalarından Tuzun ve Burke ve Prodhon örneklerinde daha iyi sonuca ulaştığı, Barreto örneklerinde MA | PY algoritmasını geçtiği görülmektedir. Bu algoritmalara karşın nispeten daha fazla ama yakın işlem sürelerinin de problemin çözüm kalitesini artırmak için kullanılan üç aşamalı başlangıç çözümden kaynaklandığı düşünülebilir. Diğer karşılaştırma algoritmalarında da olduğu gibi önerilen algoritmanın küçük ölçekli problemlerde çok iyi performans gösterdiği ve problem ölçeği arttıkça en iyi değerden sapma oranının ve işlem süresinin arttığı gözlemlenmektedir. Her ne kadar işlem sürelerinin nispeten yüksek olması bir dezavantaj olarak gözükse de genel olarak önerilen HDGA

algoritmasının rekabetçi bir yapıya sahip olduğunu ve kapasite kısıtlı YSARP için sağlam bir alternatif olabileceği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgulardan hareketle, bu konuyla ilgili olarak gelecekte yapılacak çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kapasite kısıtlı YSARP'nin stokastik ya da bulanık talepli modellerin kullanıldığı ve/veya eş zamanlı dağıtım toplama, zaman çerçevesi gibi versiyonlarına yönelik olarak mevcut algoritma kullanılabilir ya da yeni algoritmalar geliştirilebilir.
- YSARP'nin çözüm sürecine diğer sezgisel/metasezgisel yöntemlerin eklendiği aşamalı ya da hibrit yapıya yeni algoritmalar geliştirilebilir.
- YSARP'nin çözümü için sezgisel/metasezgisel ve kesin yöntemlerin birlikte kullanılabilirdiği bir matematik tabanlı sezgisel (matheuristic) geliştirilebilir.
- YSARP'nin gerçek hayat problemlerine uyarlanabileceği değişik çeşitlerinden olan istenmeyen tesisli YSARP, katmanlı YSARP, envanter YSARP, çoklu amaçlı YSARP ve çoklu period YSARP'nin çözümüne yönelik olarak mevcut algoritma kullanılabilir ya da yeni algoritmalar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Ahmadi-Javid A., Seddighi A. H., A Location-Routing Problem with Disruption Risk, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2013, **53**, 63-82.

Ahmadi-Javid A., Seddighi A. H., A Location-Routing-Inventory Model for Designing Multisource Distribution Networks, *Engineering Optimization*, 2012, **44**(6), 637-656.

Ahmadi-Javid, A., Amiri E., Meskar M., A Profit-Maximization Location-Routing-Pricing Problem: A Branch-and-Price Algorithm, *European Journal of Operational Research*, 2018, **271**(3), 866-881.

Akpınar Ö. Ş., Akpınar Ş., A Hybrid Adaptive Large Neighbourhood Search Algorithm for the Capacitated Location Routing Problem, *Expert Systems with Applications*, 2020, DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114304.

Aksen D., Altinkemer K., A Location-Routing Problem for the Conversion to the “Click-And-Mortar” Retailing: The Static Case, *European Journal of Operational Research*, 2008, **186**(2), 554-575.

Albareda-Sambola M., Díaz J. A., Fernández E., A Compact Model and Tight Bounds for a Combined Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2005, **32**(3), 407-428.

Albareda-Sambola M., Fernández E., Laporte G., Heuristic and Lower Bound for A Stochastic Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2007, **179**(3), 940-955.

Albareda-Sambola M., Fernández E., Nickel S., Multiperiod Location-Routing with Decoupled Time Scales, *European Journal of Operational Research*, 2012, **217**(2), 248-258.

Almouhanna A., Quintero-Araujo C. L., Panadero J., Juan A. A., Khosravi B., Ouelhadj D., The Location Routing Problem Using Electric Vehicles with Constrained Distance, *Computers & Operations Research*, 2020, **115**, 104864.

Alumur S., Kara B. Y., A New Model for the Hazardous Waste Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2007, **34**(5), 1406-1423.

Alvarez J. A. L., Buijs P., Deluster R., Coelho L. C., Ursavas E., Strategic and Operational Decision-Making in Expanding Supply Chains for LNG as a Fuel, *Omega*, 2020, **97**, 102093.

- Ambrosino D., Sciomachen A., Scutellà M. G., A Heuristic Based on Multi-Exchange Techniques for a Regional Fleet Assignment Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2009, **36**(2), 442-460.
- Ambrosino D., Scutella M. G., Distribution Network Design: New Problems and Related Models, *European Journal of Operational Research*, 2005, **165**(3), 610-624.
- Amiri M., Amin S. H., Tavakkoli-Moghaddam R., A Lagrangean Decomposition Approach for a Novel Two-Echelon Node-Based Location-Routing Problem in an Offshore Oil and Gas Supply Chain, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, **128**, 96-114.
- Araghi M. E. T., Tavakkoli-Moghaddam R., Jolai F., Molana S. M. H., A Green Multi-Facilities Open Location-Routing Problem with Planar Facility Locations and Uncertain Customer, *Journal of Cleaner Production*, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124343.
- Aráoz J., Fernández E., Rueda S., Location Routing Problems on Trees, *Discrete Applied Mathematics*, 2019, **259**, 1-18.
- Arnold F., Sörensen K., A Progressive Filtering Heuristic for the Location–Routing Problem and Variants, *Computers & Operations Research*, 2020, DOI: 10.1016/j.cor.2020.105166.
- Asadi E., Habibi F., Nickel S., Sahebi H., A Bi-Objective Stochastic Location-Inventory-Routing Model for Microalgae-Based Biofuel Supply Chain, *Applied Energy*, 2018, **228**, 2235-2261.
- Asefi H., Lim S., Maghrebi M., A Mathematical Model for the Municipal Solid Waste Location-Routing Problem with Intermediate Transfer Stations, *Australasian Journal of Information Systems*, 2015, **19**, 21-35.
- Aydemir-Karadag A., A Profit-Oriented Mathematical Model for Hazardous Waste Locating- Routing Problem, *Journal of Cleaner Production*, 2018, **202**, 213-225.
- Aytug H., Khouja M., Vergara F., Use of Genetic Algorithms to Solve Production and Operations Management Problems: A Review, *International Journal of Production Research*, 2003, **41**(17), 3955-4009.
- Azizi V., Hu G., Multi-Product Pickup and Delivery Supply Chain Design with Location-Routing and Direct Shipment, *International Journal of Production Economics*, 2020, 226, 107648.
- Bajpai P., Kumar M., Genetic Algorithm–An Approach to Solve Global Optimization Problems, *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 2010, **1**(3), 199-206.
- Baldacci R., Mingozzi A., Wolfler Calvo R., An Exact Method for the Capacitated Location-Routing Problem, *Operations Research*, 2011, **59**(5), 1284-1296.

- Barreto S., Analysis and Modelling of Location-Routing Problems, Ph.D. Thesis, University of Aveiro, Aveiro, 2004.
- Barreto S., Ferreira C., Paixao J., Santos B. S., Using Clustering Analysis in a Capacitated Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2007, **179**(3), 968-977.
- Bartolini E., Schneider M., A Two-Commodity Flow Formulation for the Capacitated Truck-And-Trailer Routing Problem, *Discrete Applied Mathematics*, 2018, **275**, 3-18.
- Bashiri M., Rasoulinejad Z., Fallahzade E., A New Approach on Auxiliary Vehicle Assignment in Capacitated Location Routing Problem, *International Journal of Systems Science*, 2016, **47**(4), 886-902.
- Belenguer J. M., Benavent E., Prins C., Prodhon C., Calvo R. W., A Branch-And-Cut Method for the Capacitated Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2011, **38**(6), 931-941.
- Bellmore M., Nemhauser G. L., The Traveling Salesman Problem: A Survey, *Operations Research*, 1968, **16**(3), 538-558.
- Berger R. T., Coullard C. R., Daskin M. S., Location-Routing Problems with Distance Constraints, *Transportation Science*, 2007, **41**(1), 29-43.
- Berglund P. G., Kwon C., Robust Facility Location Problem for Hazardous Waste Transportation, *Networks and Spatial Economics*, 2014, **14**(1), 91-116.
- Boccia M., Crainic T. G., Sforza A., Sterle C., A Metaheuristic for a Two-Echelon Location-Routing Problem, *International Symposium on Experimental Algorithms*, Naples, Italy, 20-22 May 2010.
- Bouhafs L., Hajjam A., Koukam A., A Tabu Search and Ant Colony System Approach for the Capacitated Location-Routing Problem, *Ninth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing*, Phuket, Thailand, 6-8 August 2008.
- Bouhafs L., Koukam A., A Combination of Simulated Annealing and Ant Colony System for the Capacitated Location-Routing Problem, *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, Bournemouth, United Kingdom, 9-11 October 2006.
- Boyer O., Sai Hong T., Pedram A., Mohd Yusuff R. B., Zulkifli N., A Mathematical Model for the Industrial Hazardous Waste Location-Routing Problem, *Journal of Applied Mathematics*, 2013, **7**, 1-10.
- Bozkaya B., Yanik S., Balcisoy S., A Gis-Based Optimization Framework for Competitive Multi-Facility Location-Routing Problem, *Networks and Spatial Economics*, 2010, **10**(3), 297-320.

Bozyer Z., Alkan A., Fiğlalı A., Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Önce Grupla Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2014, **7**(2), 29-37.

Caballero R., González M., Guerrero F. M., Molina J., Paralera C., Solving a Multiobjective Location Routing Problem with a Metaheuristic Based on Tabu Search, Application to a Real Case in Andalusia, *European Journal of Operational*, 2007, **177**(3), 1751-1763.

Campos V., Glover F., Laguna M., Martí R., An Experimental Evaluation of a Scatter Search for the Linear Ordering Problem, *Journal of Global Optimization*, 2001, **21**(4), 397-414.

Cao J. X., Zhang Z., Zhou Y., A Location-Routing Problem for Biomass Supply Chains, *Computers & Industrial Engineering*, 2020, DOI: 10.1016/j.cie.2020.107017.

Capelle T., Cortés C. E., Gendreau M., Rey P. A., Rousseau L. M., A Column Generation Approach for Location-Routing Problems with Pickup and Delivery, *European Journal of Operational Research*, 2019, **272**(1), 121-131.

Catanzaro D., Gourdin E., Labbé M., Özsoy F. A., A Branch-and-Cut Algorithm for the Partitioning-Hub Location-Routing Problem, *Computers & Operations research*, 2011, **38**(2), 539-549.

Ceselli A., Righini G., Tresoldi E., Combined Location and Routing Problems for Drug Distribution, *Discrete Applied Mathematics*, 2014, **165**, 130-145.

Chan Y., Carter W. B., Burnes M. D., A Multiple-Depot, Multiple-Vehicle, Location-Routing Problem with Stochastically Processed Demands, *Computers & Operations Research*, 2001, **28**(8), 803-826.

Chen W. C., Wang M. S., A Fuzzy C-Means Clustering-Based Fragile Watermarking Scheme for Image Authentication, *Expert System with Applications*, 2009, **36**(2), 1300-1307.

Chen X., Shi Q., Qian R., Yang X., Evolutionary Algorithm of Port Based Location Routing Problem, *WRI Global Congress on Intelligent Systems*, Xiamen, China, 19-21 May 2009.

Cihan A., Yayılma Zamanlı Genelleştirilmiş Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemi İçin Bir Hibrit Metasezgisel Model Önerisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2015, 423771.

Contardo C., Cordeau J. F., Gendron B., A Computational Comparison of Flow Formulations for the Capacitated Location-Routing Problem, *Discrete Optimization*, 2013, **10**(4), 263-295.

Contardo C., Cordeau J. F., Gendron B., A GRASP+ ILP Based Metaheuristic for the Capacitated Location-Routing Problem, *Journal of Heuristics*, 2014, **20**(1), 1-38.

- Contardo C., Cordeau J. F., Gendron B., An Exact Algorithm Based on Cut-And-Column Generation for the Capacitated Location-Routing Problem, *INFORMS Journal on Computing*, 2013, **26**(1), 88-102.
- Contardo C., Hemmelmayr V., Crainic T. G., Lower and Upper Bounds for the Two-Echelon Capacitated Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2012, **39**(12), 3185-3199.
- Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C., *Introduction to Algorithms*, MIT Press, Cambridge, 1990.
- Coutinho-Rodrigues J., Tralhão L., Alçada-Almeida L., Solving a Location-Routing Problem with a Multiobjective Approach: The Design of Urban Evacuation Plans, *Journal of Transport Geography*, 2012, **22**, 206-218.
- Dai Z., Aqlan F., Gao K., Zhou Y., A Two-Phase Method for Multi-Echelon Location-Routing Problems in Supply Chains, *Expert Systems with Applications*, 2019, **115**, 618-634.
- Dalfard V. M., Kaveh M., Nosratian N. E., Two Meta-Heuristic Algorithms for Two-Echelon Location-Routing Problem with Vehicle Fleet Capacity and Maximum Route Length Constraints, *Neural Computing and Applications*, 2013, **23**(7-8), 2341-2349.
- Darvish M., Archetti C., Coelho L. C., Speranza M. G., Flexible Two-Echelon Location Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2019, **277**(3), 1124-1136.
- de Camargo R. S., de Miranda G., Løkketangen A., A New Formulation and an Exact Approach for the Many-To-Many Hub Location-Routing Problem, 2013, *Applied Mathematical Modelling*, **37**(12), 7465-7480.
- Deep K., Thakur M., A New Mutation Operator for Real Coded Genetic Algorithms, *Applied Mathematics and Computation*, 2007, **193**(1), 211-230.
- Derbel H., Jarboui B., Hanafi S., Chabchoub H., Genetic Algorithm with Iterated Local Search for Solving a Location-Routing Problem, *Expert Systems with Applications*, 2012, **39**(3), 2865-2871.
- Dorrington S., Olsen J., A Location-Routing Problem for the Design of an Asteroid Mining Supply Chain Network, *Acta Astronautica*, 2019, **157**, 350-373.
- Drexl M., Applications of the Vehicle Routing Problem with Trailers and Transshipments, *European Journal of Operational Research*, 2013, **227**(2), 275-283.
- Drexl M., Schneider M., A Survey of Variants and Extensions of the Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2015, **241**(2), 283-308.
- Duhamel C., Lacomme P., Prins C., Prodhon C., A GRASP×ELS Approach for the Capacitated Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2010, **37**(11), 1912-1923.

Dukkanci O., Kara B.Y., Bektaş T., The Green Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2019, **105**, 187-202.

Duman E., Ozcelik M. H., Detecting Credit Card Fraud by Genetic Algorithm and Scatter Search, *Expert Systems with Applications*, 2011, **38**(10), 13057-13063.

El-Sayed S. M., El-Wahed W. F. A., Ismail N. A., A Hybrid Genetic Scatter Search Algorithm for Solving Optimization Problems, *The 6th International Conference on Informatics and Systems*, Cairo, Egypt, 27-29 March 2008.

Emel G. G., Taşkın Ç., Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2002, **21**(1), 129-152.

Escobar J. W., Heuristic Algorithms for the Capacitated Location-Routing Problem and the Multi-Depot Vehicle Routing Problem, PhD Thesis, Springer Berlin Heidelberg, 2014a.

Escobar J. W., Linfati R., Baldoquin M. G., Toth P., A Granular Variable Tabu Neighborhood Search for the Capacitated Location-Routing Problem, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2014b, **67**, 344-356.

Escobar J. W., Linfati R., Toth P., A Two-Phase Hybrid Heuristic Algorithm for the Capacitated Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2013, **40**(1), 70-79.

Escobar J. W., Linfati R., Toth P., Baldoquin M. G., A Hybrid Granular Tabu Search Algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem, *Journal of Heuristics*, 2014c, **20**(5), 483-509.

Euchi J., Genetic Scatter Search Algorithm to Solve the One-Commodity Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem, *Journal of Modelling in Management*, 2017, **12**(1), 2-18.

Farham M. S., Süral H., Iyigun C., A Column Generation Approach for the Location-Routing Problem with Time Windows, *Computers & Operations Research*, 2018, **90**, 249-263.

Fazayeli S., Eydi A., Kamalabadi I. N., Location-Routing Problem in Multimodal Transportation Network with Time Windows and Fuzzy Demands: Presenting a Two-Part Genetic Algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, **218**, 119, 233-246.

Ferreira K. M., de Queiroz T. A., Two Effective Simulated Annealing Algorithms for the Location-Routing Problem, *Applied Soft Computing*, 2018, **70**, 389-422.

Galletly J. E., An Overview of Genetic Algorithms, *Kybernetes*, 1992, **21**(6), 26-30.

Gao S., Wang Y., Cheng J., Inazumi Y., Tang Z., Ant Colony Optimization with Clustering for Solving the Dynamic Location Routing Problem, *Applied Mathematics and Computation*, 2016, **285**, 149-173.

- Geetha T., Muthukumaran K., An Observational Analysis of Genetic Operators, *International Journal of Computer Applications*, 2013, **63**(18), 24-34.
- Ghaderi A., Burdett R. L., An Integrated Location and Routing Approach for Transporting Hazardous Materials in a Bi-Modal Transportation Network, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, **127**, 49-65.
- Ghaffari-Nasab N., Ahari S. G., Ghazanfari M., A Hybrid Simulated Annealing Based Heuristic for Solving the Location-Routing Problem with Fuzzy Demands, *Scientia Iranica*, 2013, **20**(3), 919-930.
- Ghaffari-Nasab N., Jabalameli M. S., Aryanezhad M. B., Makui A., Modeling and Solving the Bi-Objective Capacitated Location-Routing Problem with Probabilistic Travel Times, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, **67**(9-12), 2007-2019.
- Ghaffari-Nasab N., Woensel T. V., Minner S., A Continuous Approximation Approach to the Planar Hub Location-Routing Problem: Modeling and Solution Algorithms, *Computers & Operations Research*, 2018, **100**, 140-154.
- Ghani N. E. A., Shariff S. S. R., Zahari S. M., Optimization of Location Routing Inventory Problem with Transshipment, *International Conference on Mathematics, Engineering and Industrial Applications*, Penang, Malaysian, 28-30 May 2014.
- Gianessi P., Alfandari L., Létocart L., Wolfler Calvo R., The Multicommodity-Ring Location Routing Problem, *Transportation Science*, 2015, **50**(2), 541-558.
- Glover F., A Template for Scatter Search and Path Relinking, *Lecture Notes in Computer Science*, **1363**, 13-54, 1998.
- Glover F., Heuristics for Integer Programming Using Surrogate Constraints, 1977, *Decision Sciences*, **8**(1), 156-166.
- Göktepe A. B., Altun S., Sezer A., Soil Clustering by Fuzzy C-Means Algorithm, *Advances in Engineering Software*, 2005, **36**(10), 691-698.
- Golberg D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Boston, 1989.
- Golozari F., Jafari A., Amiri, M., Application of a Hybrid Simulated Annealing-Mutation Operator to Solve Fuzzy Capacitated Location-Routing Problem, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, **67**(5-8), 1791-1807.
- Goodarzi A. H., Zegordi S. H., A Location-Routing Problem for Cross-Docking Networks: A Biogeography-Based Optimization Algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, 2016, **102**, 132-146.

Govindan K., Jafarian A., Khodaverdi R., Devika K., Two-Echelon Multiple-Vehicle Location–Routing Problem with Time Windows for Optimization of Sustainable Supply Chain Network of Perishable Food. *International Journal of Production Economics*, 2014, **152**, 9-28.

Guerrero W. J., Prodhon C., Velasco N., Amaya C. A., A Relax and Price Heuristic for the Inventory-Location-Routing Problem, *International Transactions in Operational Research*, 2015, **22**(1), 129-148.

Guerrero W. J., Prodhon C., Velasco N., Amaya C. A., Hybrid Heuristic for the Inventory Location-Routing Problem with Deterministic Demand, *International Journal of Production Economics*, 2013, **146**(1), 359-370.

Gümüş Y., Üretim İşletmelerinde Lojistik Maliyetlerinin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Yöntemine Göre Hesaplanması ve Bir Uygulama, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2007, 208335.

Gündüz H. I., The Single-Stage Location-Routing Problem with Time Windows, *International Conference on Computational Logistics*, Shanghai, China, 24-26 September 2011.

Habibi F., Asadi E., Sadjadi S. J., A Location-Inventory-Routing Optimization Model for Cost Effective Design of Microalgae Biofuel Distribution System: A Case Study in Iran, *Energy Strategy Reviews*, 2018, **22**, 82-93.

Hansen P. H., Hegedahl B., Hjortkjaer S., Obel B., A Heuristic Solution to the Warehouse Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 1994, **76**(1), 111-127.

Hariharan R., Nimal R. G. R., Solving Flow Shop Scheduling Problems Using a Hybrid Genetic Scatter Search Algorithm. *Middle East Journal of Scientific Research*, 2014, **20**(3), 328-333.

Hassan-Pour H. A., Mosadegh-Khah M., Tavakkoli-Moghaddam R., Solving a Multi-Objective Multi-Depot Stochastic Location-Routing Problem by a Hybrid Simulated Annealing Algorithm, *Journal of Engineering Manufacture*, 2009, **223**(8), 1045-1054.

Hatefi S. M., Jolai F., Torabi S. A., Tavakkoli-Moghaddam R., Reliable Design of an Integrated Forward-Reverse Logistics Network Under Uncertainty and Facility Disruptions: A Fuzzy Possibilistic Programming Model, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2015, **19**(4), 1117-1128.

Hemmelmayr V. C., Sequential and Parallel Large Neighborhood Search Algorithms for the Periodic Location Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2015, **243**(1), 52-60.

Herazo-Padilla N., Montoya-Torres J. R., Isaza S. N., Alvarado-Valencia J., Simulation-Optimization Approach for the Stochastic Location-Routing Problem, *Journal of Simulation*, 2015, **9**(4), 296-311.

Herazo-Padilla N., Montoya-Torres J. R., Muñoz-Villamizar A., Isaza S. N., Polo L. R., Coupling Ant Colony Optimization and Discrete-Event Simulation to Solve a Stochastic Location-Routing Problem, *Winter Simulation Conference*, Washington, USA, 8-11 December 2013.

Hiassat A., Diabat A, Rahwan I., A Genetic Algorithm Approach for Location-Inventory-Routing Problem with Perishable Products, *Journal of Manufacturing Systems*, 2017, **42**, 93-103.

Hof J., Schneider M., Goeke D., Solving the Battery Swap Station Location-Routing Problem with Capacitated Electric Vehicles Using an Avns Algorithm for Vehicle-Routing Problems with Intermediate Stops, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2017, **97**, 102-112.

Holland, J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, MIT press, Ann Arbor, 1992.

Hosseini M. B., Dehghanian F., Salari M., Selective Capacitated Location-Routing Problem with Incentive-Dependent Returns in Designing Used Products Collection Network, *European Journal of Operational Research*, 2019, **272**(2), 655-673.

Hu L., Jiang Y., Zhu J., Chen Y., Hybrid of the Scatter Search, Improved Adaptive Genetic, and Expectation Maximization Algorithms for Phase-Type Distribution Fitting, *Applied Mathematics and Computation*, 2013, **219**(10), 5495-5515.

Huang S. H., Solving the Multi-Compartment Capacitated Location Routing Problem with Pickup–Delivery Routes and Stochastic Demands, *Computers & Industrial Engineering*, 2015, **87**, 104-113.

Jarboui B., Derbel H., Hanafi S., Mladenović N., Variable Neighborhood Search for Location Routing, *Computers & Operations Research*, 2013, **40**(1), 47-57.

Javid A. A., Azad N., Incorporating Location, Routing and Inventory Decisions in Supply Chain Network Design, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2010, **46**(5), 582-597.

Karaboğa D., *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, 3. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık, Ankara, 2014.

Karakostas P., Sifaleras A., Georgiadis M. C., A General Variable Neighborhood Search-Based Solution Approach for the Location-Inventory-Routing Problem with Distribution Outsourcing, *Computers & Chemical Engineering*, 2019, **126**, 263-279.

Karakostas P., Sifaleras A., Georgiadis M. C., Adaptive Variable Neighborhood Search Solution Methods for the Fleet Size and Mix Pollution Location-Inventory-Routing Problem, *Expert Systems with Applications*, 2020, 153, 113444.

- Karaoglan I., Altıparmak F., A Memetic Algorithm for the Capacitated Location-Routing Problem with Mixed Backhauls, 2015, *Computers & Operations Research*, **55**, 200-216.
- Karaoglan I., Altıparmak F., Kara I., Dengiz B., The Location-Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery: Formulations and a Heuristic Approach, *Omega*, 2012, **40**(4), 465-477.
- Karaoçlan İ., Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemleri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009, 268567.
- Karimi H., Setak M., A Bi-Objective Incomplete Hub Location-Routing Problem with Flow Shipment Scheduling, *Applied Mathematical Modelling*, 2018, **57**, 406-431.
- Karimi H., Setak M., Proprietor and Customer Costs in the Incomplete Hub Location-Routing Network Topology, *Applied Mathematical Modelling*, 2014, **38**(3), 1011-1023.
- Karimi H., The Capacitated Hub Covering Location-Routing Problem for Simultaneous Pickup and Delivery Systems, *Computers & Industrial Engineering*, 2018, **116**, 47-58.
- Kartal Z., Hasgul S., Ernst A.T., Single Allocation P-Hub Median Location and Routing Problem with Simultaneous Pick-Up and Delivery, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2017, **108**, 141-159.
- Kaveh A., Javadi S. M., Moghanni R. M., Emergency Management Systems After Disastrous Earthquakes Using Optimization Methods: A Comprehensive Review, *Advances in Engineering Software*, 2020, 149, 102885.
- Kim J. S., Lee D. H., An Integrated Approach for Collection Network Design, Capacity Planning and Vehicle Routing in Reverse Logistics, *Journal of the Operational Research Society*, 2015, **66**(1), 76-85.
- Kim J., Geem Z. W., Optimal Scheduling for Maintenance Period of Generating Units Using a Hybrid Scatter-Genetic Algorithm, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2014, **9**(1), 22-30.
- Koç Ç., A Unified-Adaptive Large Neighborhood Search Metaheuristic for Periodic Location-Routing Problems, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2016, **68**, 265-284.
- Koç Ç., Bektaş T., Jabali O., Laporte G., The Fleet Size and Mix Location-Routing Problem with Time Windows: Formulations and A Heuristic Algorithm, *European Journal of Operational Research*, 2016, **248**(1), 33-51.
- Koç Ç., Karaoglan I., The Green Vehicle Routing Problem: A Heuristic Based Exact Solution Approach, *Applied Soft Computing*, 2016, **39**, 154-164.

Konak A., Coit D. W., Smith A. E., Multi-Objective Optimization Using Genetic Algorithms: A Tutorial, *Reliability Engineering & System Safety*, 2006, **91**(9), 992-1007.

Kouki S., Guenaoui M., Jemni M., A Genetic Algorithm for the Permutation Flow Shop-Problem: A Parametric Study, *International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*, Hammamet, Tunisia, 11-13 May 2016.

Krishnaiah K., Shahabudeen P., *Applied Design of Experiments and Taguchi Methods*, PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2012.

Kruse R., Borgelt C., Nauck D., Fuzzy Data Analysis: Challenges and Perspectives, *IEEE International Fuzzy Systems*, Seoul, South Korea, 22-25 August 1999.

Kumar M., Husian M., Upreti N., Gupta D., Genetic Algorithm: Review and Application, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2010, **2**(2), 451-454.

Laguna M., Martí R., Experimental Testing of Advanced Scatter Search Designs for Global Optimization of Multimodal Functions, Technical Report, University of Colorado at Boulder, 2000.

Laguna M., Martí R., Experimental Testing of Advanced Scatter Search Designs for Global Optimization of Multimodal Functions, *Journal of Global Optimization*, 2005, **33**(2), 235-255.

Laguna M., Martí R., GRASP and Path Relinking for 2-Layer Straight Line Crossing Minimization, *INFORMS Journal on Computing*, 1999, **11**(1), 44-52.

Laguna M., Martí R., *Scatter Search: Methodology and Implementations in C*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.

Lam M., Mittenthal J., Capacitated Hierarchical Clustering Heuristic for Multi Depot Location-Routing Problems, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2013, **16**(5), 433-444.

Laporte G., Louveaux F., Mercure H., Models and Exact Solutions for a Class of Stochastic Location-Routing Problems, *European Journal of Operational Research*, 1989, **39**(1), 71-78.

Laporte G., Nohet Y., Taillefer S., Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location-Routing Problems, *Transportation Science*, 1988, **22**(3), 161-172.

Larranaga P., Kuijpers C. M. H., Murga R. H., Inza I., Dizdarevic S., Genetic Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of Representations and Operators, *Artificial Intelligence Review*, 1999, **13**(2), 129-170.

Lee Y., Kim S. I., Lee S., Kang K., A Location-Routing Problem in Designing Optical Internet Access with WDM Systems, *Photonic Network Communications*, 2003, **6**(2), 151-160.

- Leng L., Zhang C., Zhao Y., Wang W., Zhang J., Li G., Biobjective Low-Carbon Location-Routing Problem for Cold Chain Logistics: Formulation and Heuristic Approaches, *Journal of Cleaner Production*, 2020, **273**, 122801.
- Li H., Lv T., Lu Y., The Combination Truck Routing Problem: A Survey, *Procedia Engineering*, 2016, **137**, 639-648.
- Li J., Yunlong Z., Hai S., An Improved Branch and Bound Algorithm for Location-Routing Problems, *Computer Science-Technology and Applications*, Chongqing, Chinese, 25-27 December 2009.
- Li S. R., Keskin B. B., Bi-Criteria Dynamic Location-Routing Problem for Patrol Coverage, *Journal of the Operational Research Society*, 2014, **65**(11), 1711-1725.
- Lin C. K. Y., Chow C. K., Chen A., A Location-Routing-Loading Problem for Bill Delivery Services, *Computers & Industrial Engineering*, 2002, **43**(1), 5-25.
- Lin C. K. Y., Kwok R. C. W., Multi-Objective Metaheuristics for A Location-Routing Problem with Multiple Use of Vehicles on Real Data and Simulated Data, *European Journal of Operational Research*, 2006, **175**(3), 1833-1849.
- Liu D., Deng Z., Zhang W., Wang Y., Kaisar E. I., Design of Sustainable Urban Electronic Grocery Distribution Network, *Alexandria Engineering Journal*, 2020, **60**(1), 145-157.
- Liu J., Kachitvichyanukul V., A Pareto-Based Particle Swarm Optimization Algorithm for Multi-Objective Location Routing Problem, *International Journal of Industrial Engineering*, 2015, **22**(3), 314-329.
- Liu S. C., Lee S. B., A Two-Phase Heuristic Method for the Multi-Depot Location Routing Problem Taking Inventory Control Decisions into Consideration, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, **22**(11-12), 941-950.
- Liu S. C., Lin C. C., A Heuristic Method for the Combined Location Routing and Inventory Problem, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2005, **26**(4), 372-381.
- Lopes R. B., Barreto S., Ferreira C., Santos B. S., A Decision Support Tool for a Capacitated Location-Routing Problem, *Decision Support Systems*, 2008a, **46**(1), 366-375.
- Lopes R. B., Ferreira C., Santos B. S., A Simple and Effective Evolutionary Algorithm for the Capacitated Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2016, **70**, 155-162.
- Lopes R. B., Ferreira C., Santos B. S., Barreto S., A Taxonomical Analysis, Current Methods and Objectives on Location-Routing Problems, 2013, *International Transactions in Operational Research*, **20**(6), 795-822.

Lopes R. B., Ferreira C., Santos B. S., Barreto S., A Taxonomical Analysis, Current Methods and Objectives on Location-Routing Problems, *XVII International Meeting on Locational Analysis*, Elche, Spain, September 17-19 September 2008b.

Lopes R. B., Ferreira C., Santos B. S., Barreto S., A Taxonomical Analysis, Current Methods, and Objectives on Location-Routing Problems, *International Transactions in Operational Research*, 2013 **20**(6), 795-822.

Lu G., Zhou X., Mahmoudi M., Shi T., Peng Q., Optimizing Resource Recharging Location-Routing Plans: A Resource-Space-Time Network Modeling Framework for Railway Locomotive Refueling Applications, *Computers & Industrial Engineering*, 2019, **127**, 1241-1258.

Luke S., *Essentials of Metaheuristics*, 1st ed., Lulu, California, 2009.

Macedo R., Alves C., Hanafi S., Jarboui B., Mladenović N., Ramos B., de Carvalho J. V., Skewed General Variable Neighborhood Search for the Location Routing Scheduling Problem, *Computers & Operations Research*, 2015, **61**, 143-152.

Macedo R., Hanafi S., Jarboui B., Mladenović N., Alves C., de Carvalho J. V., Variable Neighborhood Search for the Location Routing Problem with Multiple Routes, *IESM 2013: International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, Rabat, Morocco, 28-30 October 2013.

Manzour-al-Ajdad S. M. H., Torabi S. A., Salhi S., A Hierarchical Algorithm for the Planar Single-Facility Location Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2012, **39**(2), 461-470.

Marichelvam M., Prabakaran T., Performance Evaluation of an Improved Hybrid Genetic Scatter Search (IHGSS) Algorithm for Multistage Hybrid Flow Shop Scheduling Problems with Missing Operations, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2014, **16**(1), 120-141.

Marinakis Y., An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm for the Capacitated Location Routing Problem and for The Location Routing Problem with Stochastic Demands, *Applied Soft Computing*, 2015, **37**, 680-701.

Marinakis Y., Marinaki M., A Bilevel Genetic Algorithm for a Real-Life Location Routing Problem, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 2008, **11**(1), 49-65.

Marinakis Y., Marinaki M., Matsatsinis N., Honey Bees Mating Optimization for the Location Routing Problem, *International Engineering Management Conference*, Estoril, Portugal, 28-30 June 2008.

Marinakis Y., Marinaki M., Migdalas A., A Hybrid Clonal Selection Algorithm for the Location Routing Problem with Stochastic Demands, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 2016, **76**(1-2), 121-142.

Martí R., Laguna M., Glover F., Principles of Scatter Search, *European Journal of Operational Research*, 2006, **169**(2), 359-372.

Martínez-Salazar I. A., Molina J., Ángel-Bello F., Gómez T., Caballero R., Solving a Bi-Objective Transportation Location Routing Problem by Metaheuristic Algorithms, *European Journal of Operational Research*, 2014, **234**(1), 25-36.

May M. D., Tu C. Y., Location-Routing Based Dynamic Vehicle Routing Problem for Express Pick-Up Service, *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapore, 8-11 December 2008.

Mehrjerd Y. Z., Nadizadeh A., Using Greedy Clustering Method to Solve Capacitated Location-Routing Problem with Fuzzy Demands, *European Journal of Operational Research*, 2013, **229**(1), 75-84.

Melechovský J., Prins C., Calvo R. W., A Metaheuristic to Solve a Location-Routing Problem with Non-Linear Costs, *Journal of Heuristics*, 2005, **11**(5-6), 375-391.

Menezes M. B., Ruiz-Hernández D., Verter V., A Rough-Cut Approach for Evaluating Location-Routing Decisions Via Approximation Algorithms, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, **87**, 89-106.

Min H., Jayaraman V., Srivastava R., Combined Location-Routing Problems: A Synthesis and Future Research Directions, *European Journal of Operational Research*, 1998, **108**(1), 1-15.

Mirjalili S., Moth-Flame Optimization Algorithm: A Novel Nature-Inspired Heuristic Paradigm, *Knowledge-Based Systems*, 2015, **89**, 228-249.

Mitchell M., An Introduction to Genetic Algorithms (Complex Adaptive Systems), Cambridge: MIT Press, 1998.

Mohammadi M., Razmi J., Tavakkoli-Moghaddam R., Multi-Objective Invasive Weed Optimization for Stochastic Green Hub Location Routing Problem with Simultaneous Pick-Ups and Deliveries, *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 2013, **47**(3), 247-266.

Mohammadi M., Torabi S. A., Tavakkoli-Moghaddam R., Sustainable Hub Location Under Mixed Uncertainty, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2014, **62**, 89-115.

Mokhtarinejad M., Ahmadi A., Karimi B., Rahmati S. H. A., A Novel Learning Based Approach for a New Integrated Location-Routing and Scheduling Problem within Cross-Docking Considering Direct Shipment, *Applied Soft Computing*, 2015, **34**, 274-285.

Moshref-Javadi M., Lee S., The Latency Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2016, **255**, 604-619.

Nabiyev V. V., *Yapay Zeka*, 4. Baskı, Seçkin Yayınları, Ankara, 2012.

Nadizadeh A., Nasab H. H., Solving the Dynamic Capacitated Location-Routing Problem with Fuzzy Demands by Hybrid Heuristic Algorithm, *European Journal of Operational Research*, 2014, **238**(2), 458-470.

Nagy G., Salhi S., Location-Routing: Issues, Models and Methods, *European Journal of Operational Research*, 2007, **177**(2), 649-672.

Navazi F., Tavakkoli-Moghaddam R., Sazvar Z., A Multi-Period Location-Allocation-Inventory Problem for Ambulance and Helicopter Ambulance Stations: Robust Possibilistic Approach, *IFAC-PapersOnLine*, 2018, **51**(11), 322-327.

Nedjati A., Izbirak G., Arkat J., Bi-Objective Covering Tour Location Routing Problem with Replenishment at Intermediate Depots: Formulation and Meta-Heuristics, *Computers & Industrial Engineering*, 2017, **110**, 191-206.

Nekooghadirli N., Tavakkoli-Moghaddam R., Ghezavati V. R., Javanmard S., Solving a New Bi-Objective Location-Routing-Inventory Problem in a Distribution Network by Meta-Heuristics, *Computers & Industrial Engineering*, 2014, **76**, 204-221.

Nepomuceno J. A., Troncoso A., Aguilar-Ruiz J. S., A Hybrid Metaheuristic for Biclustering Based on Scatter Search and Genetic Algorithms, *International Conference on Pattern Recognition in Bioinformatics*, Sheffield, UK, 7-9 September 2009.

Nguyen V. P., Prins C., Prodhon C., A Multi-Start Evolutionary Local Search for the Two-Echelon Location Routing Problem, *International Workshop on Hybrid Metaheuristics*, Vienna, Australia, 1-2 October 2010, 88-102.

Nguyen V. P., Prins C., Prodhon C., Solving the Two-Echelon Location Routing Problem by a GRASP Reinforced by a Learning Process and Path Relinking, *European Journal of Operational Research*, 2012, **216**(1), 113-126.

Nikbakhsh E., Zegordi S. H., A Heuristic Algorithm and a Lower Bound for the Two-Echelon Location-Routing Problem with Soft Time Window Constraints, 2010, *Scientia Iranica Transaction E: Industrial Engineering*, **17**(1), 36-47.

Nikzamir M., Baradaran V., A Healthcare Logistic Network Considering Stochastic Emission of Contamination: Bi-Objective Model and Solution Algorithm, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2020, **142**, 102060.

Ochi L. S., Vianna D. S., Drummond L. M., Victor A. O., An Evolutionary Hybrid Metaheuristic for Solving the Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet, *European Conference on Genetic Programming*, Göteborg, Sweden, 26-27 May 1998.

Or I., Traveling Salesman-Type Combinatorial Optimization Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking, PhD. Thesis, Northwestern University, Evanston, 1976.

Otman A., Jaafar A., A Comparative Study of Adaptive Crossover Operators for Genetic Algorithms to Resolve the Traveling Salesman Problem, *International Journal of Computer Applications*, 2011, **31**(11), 49-57.

Özcan B., Akiş Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Veri Madenciliği Tabanlı Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 342568.

Ozcelik B., Ozbay A., Demirbas E., Influence of Injection Parameters and Mold Materials on Mechanical Properties of ABS in Plastic Injection Molding, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2010, **37**, 1359-1365.

Parragh S. N., Cordeau J. F., Branch-and-Price and Adaptive Large Neighborhood Search for the Truck and Trailer Routing Problem with Time Windows, *Computers & Operations Research*, 2017, **83**, 28-44.

Pati R. K., Vrat P., Kumar P., A Goal Programming Model for Paper Recycling System, *Omega*, 2008, **36**(3), 405-417.

Pekel E., Kara S. S., Solving Fuzzy Capacitated Location Routing Problem using Hybrid Variable Neighborhood Search and Evolutionary Local Search, *Applied Soft Computing*, **83**, 105665.

Pekel E., Talep Belirsizliği Altında Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi için Hibrit Sezgisel bir Çözüm Önerisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 529244.

Peng Y., Chen Z. X., Two-Phase Particle Swarm Optimization for Multi-Depot Location-Routing Problem, *International Conference on New Trends in Information and Service Science*, Beijing, China, 30 June - 2 July 2009.

Peng Y., Integrated Location-Routing Problem Modeling and GA Algorithm Solving, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Hunan, China, 20-22 October 2008.

Peng Z., Manier H., Manier M. A., Particle Swarm Optimization for Capacitated Location-Routing Problem, *IFAC-PapersOnLine*, 2017, **50**(1), 14668-14673.

Perdana T., Chaerani D., Achmad A. L. H., Hermiatin F. R., Scenarios for Handling the Impact of Covid-19 Based on Food Supply Network Through Regional Food Hubs Under Uncertainty, *Heliyon*, 2020, **6**(10), e05128.

Pichka K., Bajgirani A. H., Petering, M. E. H., Jang J., Yue X., The Two Echelon Open Location Routing Problem: Mathematical Model and Hybrid Heuristic, *Computers & Industrial Engineering*, 2018, **121**, 97-112.

Pirkwieser S., Raidl G. R., Variable Neighborhood Search Coupled with ILP-Based Very Large Neighborhood Searches for the (Periodic) Location-Routing Problem, *International Workshop on Hybrid Metaheuristics*, Vienna, Australia, 1– 2 October 2010.

Pitakaso, R., Sethanan, K., Theeraviriya, C., Variable Neighborhood Strategy Adaptive Search for Solving Green 2-Echelon Location Routing Problem, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, **173**, 105406.

Ponboon S., Qureshi A. G. Taniguchi E., Branch-and-price algorithm for the location-routing problem with time windows, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2016, **86**, 1-19.

Ponboon S., Qureshi A. G., Taniguchi E., Evaluation of Cost Structure and Impact of Parameters in Location-Routing Problem with Time Windows, *Transportation Research Procedia*, 2016, **12**, 213-226.

Pourvaziri H., Naderi B., A Hybrid Multi-Population Genetic Algorithm for the Dynamic Facility Layout Problem, *Applied Soft Computing*, 2014, **24**, 457-469.

Prins C., A Simple and Effective Evolutionary Algorithm for the Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2004, **31**(12), 1985–2002.

Prins C., Prodhon C., Calvo R. W., A Memetic Algorithm with Population Management (MA| PM) for the Capacitated Location-Routing Problem, *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, Budapest, Hungary, 10-12 April 2006.

Prins C., Prodhon C., Calvo R. W., Solving the Capacitated Location-Routing Problem by a Grasp Complemented by a Learning Process and a Path Relinking, 2006, *4OR*, **4**(3), 221-238.

Prins C., Prodhon C., Ruiz A., Soriano P., Wolfler Calvo R., Solving the Capacitated Location-Routing Problem by a Cooperative Lagrangean Relaxation-Granular Tabu Search Heuristic, *Transportation Science*, 2007, **41**(4), 470-483.

Prodhon C., A Hybrid Evolutionary Algorithm for the Periodic Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2011, **210**(2), 204-212.

Prodhon C., A Metaheuristic for the Periodic Location-Routing Problem, Annual International Conference of the German Operations Research Society, Saarland, Germany, 5-7 September 2007.

Prodhon C., An ELSxPath Relinking Hybrid for the Periodic Location-Routing Problem, *International Workshop on Hybrid Metaheuristics*, Udine, Italy, 16-17 October 2009.

Prodhon C., Prins C., A Memetic Algorithm with Population Management (MA| PM) for the Periodic Location-Routing Problem, *International Workshop on Hybrid Metaheuristics*, Malaga, Spain, 8-9 October 2008.

Prodhon C., Prins C., A Survey of Recent Research on Location-Routing problems, *European Journal of Operational Research*, 2014, **238**(1), 1-17.

- Rabbani M., Heidari R., Farrokhi-Asl H., Rahimi N., Using Metaheuristic Algorithms to Solve a Multi-Objective Industrial Hazardous Waste Location-Routing Problem Considering Incompatible Waste Types, *Journal of Cleaner Production*, 2018, **170**, 227-241.
- Rabbani M., Heidari R., Yazdanparast R., A Stochastic Multi-Period Industrial Hazardous Waste Location-Routing Problem: Integrating NSGA-II and Monte Carlo Simulation, *European Journal of Operational Research*, 2019, **272**(3), 945-961.
- Rafie-Majd Z., Pasandideh S. H. R., Naderi B., Modelling and Solving the Integrated Inventory-Location-Routing Problem in a Multi-Period and Multi-Perishable Product Supply Chain with Uncertainty: Lagrangian Relaxation Algorithm, *Computers & Chemical Engineering*, 2018, **109**, 9-22.
- Rahim F., Sepil C., A Location-Routing Problem in Glass Recycling, *Annals of Operations Research*, 2014, **223**(1), 329-353.
- Rahmani Y., Ramdane Cherif-Khettaf W., Oulamara A., The Two-Echelon Multi-Products Location-Routing Problem with Pickup and Delivery: Formulation and Heuristic Approaches, *International Journal of Production Research*, 2016, **54**(4), 999-1019.
- Ramos T. R. P., Gomes M. I., Barbosa-Póvoa A. P., Planning a Sustainable Reverse Logistics System: Balancing Costs with Environmental and Social Concerns, *Omega*, 2014, **48**, 60-74.
- Rath S., Gutjahr W. J., A Math-Heuristic for the Warehouse Location–Routing Problem in Disaster Relief, *Computers & Operations Research*, 2014, **42**, 25-39.
- Rayat F., Musavi M., Bozorgi-Amiri A., Bi-Objective Reliable Location-Inventory-Routing Problem with Partial Backordering Under Disruption Risks: A Modified Amosa Approach, *Applied Soft Computing*, 2017, **59**, 622-643.
- Raziei Z., Tavakkoli-Moghaddam R., Rezaei-Malek M., Bozorgi-Amiri A., Jolai F., Chapter 23-Postdisaster Relief Distribution Network Design Under Disruption Risk: A Tour Covering Location-Routing Approach, Editors: Samui P., Kim D., Ghosh C., *Integrating Disaster Science and Management*, Elsevier, 393-406, 2018.
- Rieck J., Ehrenberg C., Zimmermann J., Many-to-Many Location-Routing with Inter-Hub Transport and Multi-Commodity Pickup-and-Delivery, *European Journal of Operational Research*, 2014, **236**(3), 863-878.
- Riera-Ledesma J., Salazar-González J. J., Solving School Bus Routing Using the Multiple Vehicle Traveling Purchaser Problem: A Branch-and-Cut Approach, *Computers & Operations Research*, 2012, **39**(2), 391-404.
- Riquelme-Rodríguez J., Gamache M., Langevin A., Location Arc Routing Problem with Inventory Constraints, *Computers & Operations Research*, **76**, 2016, 84-94.

- Ross P.J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*, 2nd ed, McGraw-Hill, New York, 1988.
- Saif-Eddine A. S., El-Beheiry M. M., El-Kharbotly A. K., An Improved Genetic Algorithm for Optimizing Total Supply Chain Cost in Inventory Location Routing Problem, *Ain Shams Engineering Journal*, 2019, **10**(1), 63-76.
- Samanlioglu F., A Multi-Objective Mathematical Model for the Industrial Hazardous Waste Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2013, **226**(2), 332-340.
- Schiffer M., Walther G., Strategic Planning of Electric Logistics Fleet Networks: A Robust Location-Routing Approach, *Omega*, 2018, **80**, 31-42.
- Schiffer M., Walther G., The Electric Location-Routing Problem with Time Windows and Partial Recharging, *European Journal of Operational Research*, 2017, **260**(3), 995-1013.
- Schittekat P., Sørensen K., OR Practice-Supporting 3PL Decisions in the Automotive Industry by Generating Diverse Solutions to a Large-Scale Location-Routing Problem, *Operations Research*, 2009, **57**(5), 1058-1067.
- Schmidt C. E., Silva A. C. L., Darvish M., Coelho L. C., The Time-Dependent Location-Routing Problem, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, **128**, 293-315.
- Schneider M., Drexl M., A Survey of the Standard Location-Routing Problem, *Annals of Operations Research*, 2017, **259**(1), 389-414.
- Schwardt M., Fischer K., Combined Location-Routing Problems - A Neural Network Approach, *Annals of Operations Research*, 2009, **167**(1), 253-269.
- Sun J. U., An Endosymbiotic Evolutionary Algorithm for the Hub Location-Routing Problem, *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1-11.
- Tavakkoli-Moghaddam R., Makui A., Mazloomi Z., A New Integrated Mathematical Model for a Bi-Objective Multi-Depot Location-Routing Problem Solved by a Multi-Objective Scatter Search Algorithm, *Journal of Manufacturing Systems*, 2010, **29**(2), 111-119.
- Tavana M., Abtahi A. R., Di Caprio D., Hashemi R., Yousefi-Zenouz R., An Integrated Location-Inventory-Routing Humanitarian Supply Chain Network with Pre-and Post-Disaster Management Considerations, *Socio-Economic Planning Sciences*, 2018, **64**, 21-37.
- Ting C. J., Chen C. H., A Multiple Ant Colony Optimization Algorithm for the Capacitated Location Routing Problem, *International Journal of Production Economics*, 2013, **141**(1), 34-44.

Tirkolaee E. B., Goli A., Bakhshi M., Sangaiah A. K., Chapter 12 - An Efficient Biography-Based Optimization Algorithm to Solve the Location Routing Problem with Intermediate Depots for Multiple Perishable Products, Editors: Sangaiah A. K., *Deep Learning and Parallel Computing Environment for Bioengineering Systems*, Academic Press, 189-205, 2019.

Tönissen D.D., Arts J.J., The Stochastic Maintenance Location Routing Allocation Problem for Rolling Stock, *International Journal of Production Economics*, 2020, **230**, 107826.

Torfi F., Farahani R. Z., Mahdavi I., Fuzzy MCDM for Weight of Object's Phrase in Location-Routing Problem, *Applied Mathematical Modelling*, 2016, **40**(1), 526-541.

Toro E. M., Franco J. F., Echeverri M. G., Guimarães F. G., A Multi-Objective Model for the Green Capacitated Location-Routing Problem Considering Environmental Impact, *Computers & Industrial Engineering*, 2017, **110**, 114-125.

Toyoglu H., Karasan O. E., Kara B. Y., A New Formulation Approach for Location-Routing Problems, *Networks and Spatial Economics*, 2012, **12**(4), 635- 659.

Trafalis T. B., Kasap S., A Novel Metaheuristics Approach for Continuous Global Optimization, *Journal of Global Optimization*, 2002, **23**, 171–190.

Turanoğlu B., Akkaya G., A New Hybrid Heuristic Algorithm Based on Bacterial Foraging Optimization for the Dynamic Facility Layout Problem, *Expert Systems with Applications*, 2018, **98**, 93-104.

Türk A., Tersane Kuruluş Yeri Seçimi ve Yerleşiminin Genetik Algoritma Tabanlı Olarak Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 555134.

Tuzun D., Burke L. I., A Two-Phase Tabu Search Approach to the Location-Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 1999, **116**(1), 87-99.

Ukkusuri S., Yushimito W., Location Routing Approach for the Humanitarian Prepositioning Problem, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2008, **2089**(1), 18-25.

URL-1: <https://globelink-unimar.com/afet-durumlarinda-lojistik-sureclerin-onemi/>, (Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2021)

URL-2: http://prodhonc.free.fr/Instances/instances_us.htm/, (Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2021)

Veenstra M., Roodbergen K. J., Coelho L. C., Zhu S. X., A Simultaneous Facility Location and Vehicle Routing Problem Arising in Health Care Logistics in the Netherlands, *European Journal of Operational Research*, 2018, **268**(2), 703-715.

Vidović M., Ratković B., Bjelić N., Popović D., A Two-Echelon Location-Routing Model for Designing Recycling Logistics Networks with Profit: MILP and Heuristic Approach, *Expert Systems with Applications*, 2016, **51**, 34-48.

Vincent F. Y., Lin S. W., Gunawan A., Design of a Two-Echelon Freight Distribution System in an Urban Area Considering Third-Party Logistics and Loading–Unloading Zones, *Applied Soft Computing*, 2020, **97**, 106707.

Vincent F. Y., Lin S. W., Lee W., Ting C. J., A Simulated Annealing Heuristic for the Capacitated Location Routing Problem, *Computers & Industrial Engineering*, 2010, **58**(2), 288-299.

Vincent F. Y., Lin S. W., Multi-Start Simulated Annealing Heuristic for the Location-Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery, *Applied Soft Computing*, 2014, **24**, 284-290.

Vincent F. Y., Lin S. Y., A Simulated Annealing Heuristic for the Open Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2015, **62**, 184-196.

Vincent F. Y., Normasari N. M. E., Chen W. H., Location-Routing Problem with Time-Dependent Demands, *Computers & Industrial Engineering*, 2020, DOI: 10.1016/j.cie.2020.106936.

Wang C., Ma Z., Li H., Stochastic Dynamic Location-Routing-Inventory Problem in Closed-Loop Logistics System for Reusing End of Use Products, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, Hunan, China, 20-22 October 2008.

Wang H., Du L., Ma S., Multi-Objective Open Location-Routing Model with Split Delivery for Optimized Relief Distribution in Post-Earthquake, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2014, **69**, 160-179.

Wang X., Li X., Carbon Reduction in the Location-Routing Problem with Heterogeneous Fleet, Simultaneous Pickup-Delivery and Time Windows, *Procedia Computer Science*, 2017, **112**, 1131-1140.

Wang X., Sun X., Fang Y., A Two-Phase Hybrid Heuristic Search Approach to the Location-Routing Problem, *International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Hawaii, USA, 10-12 October 2005.

Wang X., Wang Y., Wang L. Improving Fuzzy C-Means Clustering Based on Feature-Weight Learning, *Pattern Recognition Letters*, 2004, **25**(10), 1123-1132.

Wang Y., Assogba K., Liu Y., Ma X., Xu M., Wang Y., Two-Echelon Location-Routing Optimization with Time Windows Based on Customer Clustering, *Expert Systems with Applications*, 2018, **104**, 244-260.

Wang Y., Peng S., Zhou X., Mahmoudi M., Zhen L., Green Logistics Location-Routing Problem with Eco-Packages, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2020, **143**, 102118.

- Wei X., Qiu H., Wang D., Duan J., Wang Y., Cheng T. C. E., An Integrated Location-Routing Problem with Post-Disaster Relief Distribution, *Computers & Industrial Engineering*, 2020, **147**, 106632.
- Wei-long Y., Qing L., Solving the Stochastic Location-Routing Problem with Genetic Algorithm, *International Conference on Management Science and Engineering*, Harbin, China, 20-22 August 2007.
- Winkenbach M., Kleindorfer P. R., Spinler S., Enabling Urban Logistics Services at La Poste Through Multi-Echelon Location-Routing, *Transportation Science*, 2015, **50**(2), 520-540.
- Wu T. H., Low C., Bai J. W., Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problems, *Computers & Operations Research*, 2002, **29**(10), 1393-1415.
- Wu X., Nie L., Xu M., Designing an Integrated Distribution System for Catering Services for High-Speed Railways: A Three-Echelon Location Routing Model with Tight Time Windows and Time Deadlines, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, **74**, 212-244.
- Xu Z., Xu D., Zhu W., Approximation Results for A Min–Max Location-Routing Problem, *Discrete Applied Mathematics*, 2012, **160**(3), 306-320.
- Yaghoubi A., Akrami F., Proposing a New Model for Location-Routing Problem of Perishable Raw Material Suppliers with Using Meta-Heuristic Algorithms, *Heliyon*, 2019, **5**(12), e03020.
- Yakıcı E., Solving Location and Routing Problem for UAVs, *Computers & Industrial Engineering*, 2016, **102**, 294-301.
- Yan J., Zhang Q., Zhang W., Zhen T., A Hybrid Ant Colony Algorithm for the Capacitated Location-Routing Problem, *3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering*, Xiamen, Chinese, 17-19 November 2008.
- Yang J., Sun H., Battery Swap Station Location-Routing Problem with Capacitated Electric Vehicles, *Computers & Operations Research*, 2015, **55**, 217-232.
- Yang X., Bostel N., Dejax P., A MILP Model and Memetic Algorithm for the Hub Location and Routing Problem with Distinct Collection and Delivery Tours, *Computers & Industrial Engineering*, 2019, **135**, 105-119.
- Yayılma Zamanlı Genelleştirilmiş Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemi için bir Hibrit Metasezgisel Model Önerisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2015, 423771.
- Yu V. F., Lin S. Y., Solving the Location-Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery by Simulated Annealing, *International Journal of Production Research*, 2016, **54**(2), 526-549.

- Yu X., Zhou Y., Liu X. F., A Novel Hybrid Genetic Algorithm for the Location Routing Problem with Tight Capacity Constraints, *Applied Soft Computing*, 2019, **85**, 105760.
- Yu X., Zhou Y., Liu X. F., The Two-Echelon Multi-Objective Location Routing Problem Inspired by Realistic Waste Collection Applications: The Composable Model and a Metaheuristic Algorithm, *Applied Soft Computing*, 2020, **94**, 106477.
- Zarandi M. H. F., Hemmati A., Davari S., The Multi-Depot Capacitated Location-Routing Problem with Fuzzy Travel Times, *Expert Systems with Applications*, 2011, **38**(8), 10075-10084.
- Zarandi M. H. F., Hemmati A., Davari S., Turksen I. B., Capacitated Location-Routing Problem with Time Windows under Uncertainty, *Knowledge-Based Systems*, 2013, **37**, 480-489.
- Zeng M. G., Cui Z. S., Yu, G. H., Research on Location-Routing Problem of Relief System Based on Emergency Logistics, *Chinese Journal of Management Science*, 2010, **18**(2), 75-80.
- Zhalechian M., Tavakkoli-Moghaddam R., Zahiri B., Mohammadi M., Sustainable Design of a Closed-Loop Location-Routing-Inventory Supply Chain Network under Mixed Uncertainty, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2016, **89**, 182-214.
- Zhang B., Li H., Li S., Peng J., Sustainable Multi-Depot Emergency Facilities Location-Routing Problem with Uncertain Information, *Applied Mathematics and Computation*, 2018, **333**, 506-520.
- Zhang B., Ma Z., Jiang S., Location-Routing-Inventory Problem with Stochastic Demand in Logistics Distribution Systems, *4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Dalian, China, 12-17 October 2008.
- Zhang D., Li X., Huang Y., Li S., Qian Q., A Robust Optimization Model for Green Regional Logistics Network Design with Uncertainty in Future Logistics Demand, *Advances in Mechanical Engineering*, 2015, **7**(12), 1-21.
- Zhang S., Chen M., Zhang W., A Novel Location-Routing Problem in Electric Vehicle Transportation with Stochastic Demands, *Journal of Cleaner Production*, 2019, **221**, 567-581.
- Zhang Y., Qi M., Lin W. H., Miao L., A Metaheuristic Approach to the Reliable Location Routing Problem under Disruptions, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2015, **83**, 90-110.
- Zhao J., Verter V., A Bi-Objective Model for the Used Oil Location-Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 2015, **62**, 157-168.

Zhong S., Cheng R., Jiang Y., Wang Z., Larsen A., Nielsen O. A., Risk-Averse Optimization of Disaster Relief Facility Location and Vehicle Routing Under Stochastic Demand, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2020, **141**, 102015.





Ek-A

Tablo A.1. Kapsamlı YSARP literatür analizi

No	Araştırmacılar	Konu	Hiyerarşik seviye	Talep yapısı	Tesis sayısı	Araç filo büyüklüğü	Araç kapasite kısıtı	Depo kapasite kısıtı	Tesis katmanı	Planlama ufku	Zaman kısıtı	Amaç fonksiyonu	Çözüm şekli	Çözüm yöntemi	Başlangıç çözüm	Veri tipi	İşlemci yapısı
1	Laporte ve diğ. (1988)	Kapasite ve maliyet kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin	Dal-sınır algoritması	-	Hipotetik	IBM 4341 Pascal 8000
2	Laporte ve diğ. (1989)	Stokastik YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin	Dal-sınır algoritması	-	Hipotetik	CYBER 855
3	Hansen ve diğ. (1994)	Modifiye Depo YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin	KTP	Perl ve Daskin Metodu	Perl verileri	GAMS ZOOM 2.1
4	Min ve diğ. (1998)	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
5	Tuzun ve Burke (1999)	YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tabu arama	Clarke ve Wright kazanç alg. ve 2-opt	Hipotetik	2000 PC G6 266 MHz
6	Chan ve diğ. (2001)	Çoklu depolu ve araçlı stokastik talepli YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	Space filling curve metodu	Clarke ve Wright kazanç alg.	90 günlük hastane verileri	PC
7	Lin ve diğ. (2002)	Fatura teslimatı Servisli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi	Clarke ve Wright kazanç alg.	Hong Kong ev yerleşim verileri	Pentium III 866
8	Wu ve diğ. (2002)	Çoklu depolu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi	SFC	Perl ve Hansen verileri	Pentium II 400
9	Lee ve diğ. (2003)	WDM internet erişimi tasarımında YSARP	tekli	det.	çok	-	-	-	-	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tabu arama	En kısa yol alg.	Hipotetik	Pentium III 550 Mhz
10	Liu ve diğ. (2003)	Envanter kontrolü çoklu depolu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	Geliştirilmiş bir sezgisel	Önce rotala sonra yerleştirme yaklaşımı	Hipotetik	Pentium 1.4G
11	Ambrosino ve Scutella (2005)	Depo YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtsız	tekli	kesin	KTP	-	İtalya verileri	-
12	Albaredda-Sambola ve diğ. (2005)	Kombine YSARP için kompakt model ve hafif sınırlar	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tabu arama	Doğrusal prog. geliştirilmesi	Hipotetik	4 hyper SPARC 100 MHz
13	Liu ve Lin (2005)	Kombine SARP ve envanter problemi	ikili	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tabu arama - Tavlama benzetimi	Önce yer seçimi sonra rotalama	Hipotetik	Pentium IV 1.4 GHz

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

14	Melechovský ve diğ. (2005)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Değişken komşuluk arama – Tabu arama	Tesadüfisel p-median problemi	Hipotetik	Pentium-III 800 MHz	
15	Wang ve diğ. (2005)	YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tabu arama – Karınca kolonisi algoritması	Tesadüfisel	Hipotetik	Pentium II 266 MHz	
16	Lin ve Kwork (2006)	Çoklu amaçlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	çoklu	metasezgisel	Tabu arama – Tavlama benzetimi	En yakın komşu arama - Clarke ve Wright kazanç alg.	Hipotetik	Pentium IV 2.5 GHz	
17	Prins ve diğ. (2006)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma- Mesafe temelli yaklaşım	En yakın komşu arama - Genişletilmiş Clarke ve Wright kazanç alg.	Hipotetik	2.4 GHz 512 MB RAM	
18	Bouhafs ve diğ. (2006)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi - Karınca kolonisi algoritması	Tesadüfisel	Barreto verileri	-	
19	Alumur ve Kara (2007)	Tehlikeli maddeli YSARP	tekli	det.	çok	-	-	var	ara	tekli	kısıtsız	çoklu	kesin	KTP	-	İç Anadolu şehirleri (Türkiye) verileri	1133 MHz 256 MB RAM	
20	Albareda-Sambola ve diğ. (2007)	Stokastik YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	yok	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	sezgisel	İki seviyesi sezgisel algoritma	Alt problemlere ayırma yöntemi + Alt sınır oluşturma	Klose verileri	-	
21	Cabellero ve diğ. (2007)	Çok amaçlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Tabu arama	Çok amaçlı uyarlanabilir hatıza prosedürü	Endülüs (İspanya) verileri	Pentium IV 2.4 GHz	
22	Berger ve diğ. (2007)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	yok	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin	Dal-fiyat algoritması	En yakın komşu arama	Solomon verileri tabanlı hipotetik	2.4 GHz 2 GB RAM	
23	Prins ve diğ. (2007)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin- metasezgisel	Lagranj gevşetmesi ve taneçik tabu arama	En yakın komşu arama	Prodhon, Barreto ve Tuzun verileri	2.4 GHz 512 MB RAM	
24	Naghy ve Salhi (2007)	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
25	Barreto ve diğ. (2007)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	sezgisel	Kümeleme tabanlı ardışık sezgisel	Tesadüfisel	Perl, Or verileri ve hipotetik	-	-
26	Wei-long ve Qing (2007)	Stokastik YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma	Tesadüfisel	Hipotetik	-	-
27	Aksen ve Altkemer (2008)	İnternet mağazalı YSARP	üçlü	det.	çok	çoklu	var	yok	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Lagranj gevşetmesi	-	Hipotetik	3.40 GHz 2 GB RAM	
28	Ukkusuri ve Yushimito (2008)	İnsani yardım konumlamalı YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin	KTP	-	Hipotetik	2.8 GHz 1 GB RAM	

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

29	May ve Tu (2008)	YSARP temelli dinamik ARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	teklil	kısıtlı	teklil	kesin	KTP	-	Hipotetik	-
30	Marmakis ve Marmaki (2008)	Gerçek hayat uygulamalı YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	teklil	kısıtlı	teklil	metasezgisel	İki seviyeli genetik algoritma	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	Selanik (Yunanistan) verileri	2.3 MHz
31	Marmakis ve diğ. (2008)	Kapasite kısıtlı YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	teklil	kısıtlı	teklil	metasezgisel	Bal arısı algoritması	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	Barreto verileri	1.86 GHz
32	Wang ve diğ. (2008)	Envanter YSARP	teklil	sto.	çok	çoklu	var	yok	ara	çoklu	kısıtlı	teklil	sezgisel	İki aşamalı sezgisel çözüm	En yakın dağıtım merkezine müşterileri atama metodu	Hipotetik	-
33	Yan ve diğ. (2008)	Kapasite kısıtlı YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	teklil	kısıtlı	teklil	metasezgisel	Tavlama benzetimi - Karınca kolonisi algoritması	En yakın depoya atama yaklaşımı	Hipotetik	2.4 GHz 1GB RAM
34	Lopes ve diğ. (2008)	Kapasite kısıtlı YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	teklil	kısıtlı	teklil	sezgisel	Önce dağıtım sonra yer seçimi sezgiseli	Hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme teknikleri	Web harita verileri	-
35	Prodhon ve Prins (2008)	Periyodik YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	teklil	metasezgisel	Genetik algoritma - Mesafe temelli yaklaşım	Tesadüfisel genişletilmiş Clarke ve Wright kazanç alg.	Hipotetik	2.4 GHz 512 MB RAM
36	Prodhon (2008)	Periyodik YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	teklil	sezgisel	Yerel arama sezgiseli	Tesadüfisel genişletilmiş Clarke ve Wright kazanç alg.	Prodhon verileri, hipotetik ve WebVRP	-
37	Bouhafs ve diğ. (2008)	Kapasite kısıtlı YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	teklil	kısıtlı	teklil	metasezgisel	Tabu arama - Karınca kolonisi algoritması	Tesadüfisel	Or, Perl, Gaskell, Christofides, Min, Daskin verileri	-
38	Peng (2008)	Kapasite kısıtlı YSARP	teklil	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	teklil	kısıtlı	teklil	metasezgisel	Genetik algoritma	Tesadüfisel	Hipotetik	-
39	Zhang ve diğ. (2008)	Envanter YSARP	teklil	sto.	çok	çoklu	var	yok	ara	çoklu	kısıtlı	teklil	metasezgisel	Genetik Algoritma	Tesadüfisel	Hipotetik	-
40	Li ve diğ. (2009)	YSARP	üçlü	det.	çok	çoklu	var	yok	ara	teklil	kısıtlı	teklil	kesin	Dal-sınır algoritması	-	Hipotetik	Pentium IV
41	Hassan-Pour ve diğ. (2009)	Çoklu amaçlı YSARP	ikili	sto.	çok	çoklu	var	yok	birinci	teklil	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Küme avrıştirma-Tavlama benzetimi	ARP için kullanılan bir sezgisel	Hipotetik	2.4 GHz
42	Schittkat ve Sorensen (2009)	YSARP için karar destek sistemi	ikili	det.	çok	-	-	-	-	teklil	kısıtlı	teklil	metasezgisel	Tabu arama	En yakın komşu arama	Almanya ve Çekya Toyota şirket verileri	-

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

43	Prodhon (2009)	Periyodik YSARP	tekli	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtsız	tekli	sezgisel	Evrimsel yerel arama	Genişletilmiş Clarke ve Wright Kazanç alg.	Hipotetik, Prodhon, WebVRP	1.2 GHz 1 GB RAM
44	Schwardt ve Fischer (2009)	Tek depolu YSARP	tekli	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	yapay sınırlı ağ	Weiszfeld	Kendi kendine organize olan ağır verileri	TSPLIB (Reinelt), Schwardt ve Dethloff verileri	-
45	Ambrosino ve diğ. (2009)	Bölgesel filo atamalı YSARP	tekli	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	ara	tekli	kısıtsız	tekli	sezgisel	Çoklu değişim tekniği	Önce kimeleme sonra rotalama yaklaşımı	İtalyan şirketi verileri	-
46	Peng ve Chen (2009)	İki aşamalı çoklu depolu YSARP	ikili	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Parçacık sürü optimizasyonu	Tesadüfsellik	Hipotetik	1.8 GHz
47	Chen ve diğ. (2009)	Liman temelli YSARP	tekli	tekli	det.	çok	-	-	-	ara	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma	Tesadüfsellik	Hipotetik	1.73 GHz, 512 MB RAM
48	Vincent ve diğ. (2010)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi - Komşuluk arama algoritması	Açgözlü tesadüfsel uyumlu arama	Barreto, Prins, Tuzun ve Burke verileri	2.6 GHz 2 GB RAM
49	Duhamel ve diğ. (2010)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	İteratif evrimsel yerel arama	Açgözlü tesadüfsel uyumlu arama	Prodhon, Tuzun ve Burke verileri	2.4 GHz 512 MB RAM
50	Nguyen ve diğ. (2010)	İki kademeli YSARP	ikili	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtsız	tekli	sezgisel	Evrimsel yerel arama	Açgözlü tesadüfsel uyumlu arama	Nguyen ve Prodhon verileri	3.4 GHz 1GB RAM
51	Tavakkoli-Moghaddam ve diğ. (2010)	Çoklu amaçlı YSARP	tekli	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	çoklu	metasezgisel	Dağıtık arama	Clarke ve Wright Kazanç alg.	Hipotetik	2.8 GHz 256 MB RAM
52	Boccia ve diğ. (2010)	İki kademeli YSARP	ikili	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tabu arama	Komşuluk bazlı tabu arama	Hipotetik	2.40 GHz 4.00 GB RAM
53	Nikbakhsh ve Zegordi (2010)	Esnek zaman çerçeveli iki kademeli YSARY	ikili	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	6 farklı komşuluk operatörü ve 3-opt sezgiseli	Önce yer seçimi sonra ayırma ve rotalama yaklaşımı	Hipotetik	2130 MHz 1 GB RAM
54	Bozkaya ve diğ. (2010)	Çoklu tesisi YSARP kara destek sistemi	ikili	tekli	det.	çok	çoklu	var	-	ara	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma	Tabu arama	Ankara (Türkiye) verileri	-
55	Zeng ve diğ. (2010)	Acil lojistik tabanlı YSARP	ikili	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Kimeleme metodu - Karınca kolonisi algoritması	Tesadüfsellik	Pearly tayfunu (Çin) verileri	-
56	Pirkwieser ve Raidl (2010)	Periyodik YSARP	tekli	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtsız	tekli	kesin-metasezgisel	Değişken komşuluk arama-Tamsayılı doğrusal prog.	Tesadüfsellik	Prodhon verileri	2.83 GHz 8 GB RAM

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

57	Javid ve Azad (2010)	Envanter YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- metasegisel	Dal-sınır alg.- Tabu arama ve Tavlama benzetimi	Tesadüfsellik	Hipotetik	Pentium 4 2.8 GB RAM	
58	Baldacci ve diğ. (2011)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Küme ayırma – Dual tırmanma metodu	-	Prins ve Akca (2009) verileri	1.6 GHz 8 GB RAM	
59	Catanzaro ve diğ. (2011)	Bölünmemeli merkez YSARP	ikili	det.	-	-	-	-	-	-	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-kesme algoritması	-	Hipotetik	2.8 GHz 3 GB RAM	
60	Belenguer ve diğ. (2011)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-kesme algoritması	-	Prodhon ve Barreto verileri	2.66 GHz 2 GB RAM	
61	Gündüz (2011)	Zaman çerçevesi tekli aşamalı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasegisel	Tabu arama	Clarke ve Wright kazanç alg.	-	-	-
62	Prodhon (2011)	Periyodik YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	tekli	metasegisel	Evrimsel yerel arama	Clarke ve Wright kazanç alg.	Barreto, Prins, Tuzun ve Burke verileri	1.2 GHz 1 GB RAM	
63	Zarandi ve diğ. (2011)	Çoklu depolu kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasegisel	Güvenilirlik teorisi-Tavlama benzetim	En yakın komşu arama	Prodhon verileri	-	
64	Xu ve diğ. (2012)	Min-mak YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	yok	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	Sabit oran yaklaştırma algoritması	-	Hipotetik	-	
65	Toyoglu ve diğ. (2012)	Ark temelli ürün akışı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	-	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	KTP - Kümeleme metodu	-	Toyoglu (2011) verileri	2.4 GHz 4 GB RAM	
66	Coutinho-Rodrigues ve diğ. (2012)	Kentsel tahliye planı tasarımı çok amaçlı YSARP	tekli	det.	çok	-	-	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin	KTP	-	Coimbra (Portekiz) verileri	-	
67	Riera-Ledesma ve Salazar-González (2012)	Servis otobüs rotalama problemi	tekli	det.	tek	çoklu	var	yok	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-kesme alg.- Geçerli eşitsizlikler	-	Baldacci verileri ve Hipotetik	2.66 GHz 2GB RAM	
68	Nguyen ve diğ. (2012)	İki kademeli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	Clarke ve Wright kazanç algoritması – En yakın komşuluk arama	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	2 farklı Prodhon ve Nguyen verileri	3.4 GHz 1 GB RAM	
69	Contardo ve diğ. (2012)	İki kademeli kapasite kısıtlı YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- sezgisel	Dal-kesme alg.- Uyarlanabilir geniş komşuluk arama	Clarke ve Wright kazanç alg.	Nguyen, Sierle ve Boccia verileri	3.4 GHz 1GB RAM	
70	Ahmadi-Javid ve Seddigi (2012)	Envanter YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	-	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasegisel	Tavlama benzetimi - Karınca kolonisi algoritması	En yakın komşu arama	Barreto verileri	2.7 GHz	

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

71	Derbel ve diğ. (2012)	YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma	Komşuluk arama sezgiseli	Albreda-Sambola verileri	3.2 GHz 1 GB RAM
72	Albareda-Sambola ve diğ. (2012)	Ayrıntılı zamanlı çoklu periyod YSARP	tekli	det.	çok	-	-	birinci	çoklu	tekli	tekli	sezgisel	Minimum kapsayan ağaç-Geliştirilmiş bir sezgisel	Tesadüfsellik	Hipotetik	2.20 GHz 2 GB RAM
73	Karaoglan ve diğ. (2012)	Eşzamanlı toplamalı dağıtım YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	tekli	tekli	kesin- metasezgisel	Geçerli eşitsizlikler - K-TP - Tavlama benzetimi	Tesadüfsellik	Prodhon verileri	3.16 GHz 1 GB RAM
74	Manzour-al-Ajaded ve diğ. (2012)	Düzensel tek tesis YSARP	tekli	det.	tek	çoklu	var	birinci	tekli	tekli	tekli	sezgisel	Öklid mesafesi tabanlı sezgisel	Weiszfeld metodu	Christofides, Eilon, Gillett ve Johnson, Christofides, Fisher verileri	2.4 GHz 3GB RAM
75	Samatloğlu (2013)	Çoklu amaçlı endüstriyel tehlikeli maddeli YSARP	tekli	det.	çok	-	var	ara	tekli	çoklu	kesin	kesin	Leksikografik Ağırlılandırılmış Tchebycheff	-	Marmara Bölgesi (Türkiye) verileri	1.80 GHz 1.99 GB RAM CPLEX 11.2
76	Contardo ve diğ. (2013)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	tekli	kesin	kesin	Dal-kesme algoritması	-	Barreto, Belenguer, Akca, Tuzun ve Burke, Baldacci verileri	3.0 GHz 16 GB RAM
77	de Camargo ve diğ. (2013)	Çoktan çoğa merkez YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	tekli	sezgisel	sezgisel	Benders ayrıştırma algoritması	-	Avustralya posta verileri	2.53 GHz 24 GB RAM
78	Boyer ve diğ. (2013)	Çoklu amaçlı endüstriyel tehlikeli maddeli YSARP	tekli	det.	çok	-	-	ara	tekli	çoklu	kesin	kesin	Ağırlılandırılmış hedef programlama	-	Markazi (Iran) verileri	2.5GHz 4 GB RAM
79	Drexl (2013)	Römork ve aktarmalı ARP uygulamaları	üçlü	det.	çok	çoklu	var	ara	tekli	tekli	-	-	-	-	-	-
80	Lopes ve diğ. (2013)	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
81	Meirjerdı ve Nadizadeh (2013)	Bulanık talepli kapasite kısıtlı YSARP	tekli	bul.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	tekli	metasezgisel	metasezgisel	Aç gözlü kümeleme - Karınca kolonisi algoritması	Açgözlü sezgisel	Hipotetik	2.00 GHz
82	Golozari ve diğ. (2013)	Bulanık kapasite kısıtlı YSARP	tekli	bul.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	tekli	metasezgisel	metasezgisel	Tavlama benzetimi - Mutasyon operatörü	Açgözlü tesadüfsel uyumlu arama	Hipotetik	2.80 GHz 3.11 GB RAM
83	Escobar ve diğ. (2013)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	tekli	metasezgisel	metasezgisel	Tanecik değişkenli yerel arama	Ayırma prosedürü	Tuzun ve Burke, Prins ve Barreto verileri	2.00 GHz 2 GB RAM

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

84	Zarandi ve diğ. (2013)	Belirsizlik altında zaman çerçevesi kapasite kısıtlı YSARP	tekli	bul.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi – Güvenlilik teorisi	Bulanık c-ortalama kümeleme alg.	Prins, Prodhon ve Barreto verileri	-
85	Ghaffari-Nasab ve diğ. (2013)	Bulanık talepli YSARP	tekli	bul.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi – Stokastik simülasyon	Clarke ve Wright kazanç alg.	Barreto verileri	2.0 GHz 2 GB RAM
86	Ghaffari-Nasab ve diğ. (2013)	Olasıksal ulaşım süreli iki amaçlı kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Değişken komşuluk arama	Clarke ve Wright kazanç alg.	Prodhon verileri tabanlı hipotetik	2.0 GHz 2 GB RAM
87	Lam ve itenthal (2013)	Çoklu depolu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	İniş sezgiseli	Kümeleme yaklaşımı	Barreto ARP ve Tuzun ve Burke YSARP verileri	-
88	Guerrero ve diğ. (2013)	Envanter YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	sezgisel	Geliştirilen bir hibrit sezgisel	Tedarik zinciri tasarım problemi çözümü	Hipotetik ve Prodhon verileri	2.80 GHz 12 GB RAM
89	Ahmedi-Javid ve Seddigi (2013)	Üretim ve dağıtım aksama riskli iki kademeli YSARP	ikili	det.	tek	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi	Tesadüfsellik	Hipotetik	2.8 GHz
90	Herazo-Padilla ve diğ. (2013)	Stokastik YSARP	ikili	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Karınca kolonisi alg-Ayrık sistem simülasyonu	Tesadüfsellik	Hipotetik	2.20 GHz 8.00 GB RAM
91	Dalfard ve diğ. (2013)	İki kademeli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma – Tavlama benzetimi	Tesadüfsellik	Hipotetik	3.2 MHz 2 GB RAM
92	Jarboui ve diğ. (2013)	YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Değişken komşuluk arama	Tesadüfsellik	Hipotetik ve Tuzun ve Burke, Barreto verileri	2.4 GHz 3 GB RAM
93	Ting ve Chen (2013)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Karınca kolonisi algoritması	Yerel arama	Pearl, Barreto, Prins, Tuzun ve Burke verileri	1.83 GHz 512MB RAM
94	Karimi ve Setak (2014)	Tamamlanmamış merkez YSAR ağ topolojisi	tekli	det.	çok	-	-	-	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Lagranjı gevşetmesi - Geçerli eşitsizlik	-	İran sivil havacılık verileri	2.53 GHz, 4 GB RAM CPLEX 12.2.
95	Ceselli ve diğ. (2014)	Kombine YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-kesme ve fiyat algoritması	-	Hipotetik ve Shen (2009) verileri	2.00 GHz 4 GB RAM CPLEX 12.2.
96	Li ve Keskin (2014)	İki kriterli dinamik YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Tavlama Benzetimi – Sil ve ekle metodu	Açgözlü tesadüfsel uyumlu arama	Alabama (ABD) kaza verileri	2.94 GB RAM

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

97	Contardo ve diğ. (2014)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tanecek tesadüfisel uyarlanabilir arama prosedürü - İteratif öğrenme prosedürü	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	Belenguer, Tuzun ve Burke, Barreto, Baldacci verileri	3.0 GHz 16 GB RAM
98	Rahim ve Sepil (2014)	Cam geri dönüşümünde YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Değişken komşuluk arama	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	Reinelt (TSPLIB) Hipotetik ve Ankara (Türkiye) verileri	3.00 GHz 3.49 GB RAM
99	Nadizadeh ve Nasab (2014)	Bulanık talep dinamik kapasite kısıtlı YSARP	tekli	bul.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	tekli	kesin- metasezgisel	Bulanık şans kısıt ve güvenilirlik teorisi - Karnica kolonisi algoritması	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	Hipotetik ve Barreto verileri	2.00 GHz 1.00 GB RAM GAMS 24.0.2.
100	Rath ve Gujra (2014)	Felaket tahiyeli depo YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtsız	çoklu	sezgisel	Kısıt havuzlu sezgisel	En yakın depoya atama yaklaşımı	Manabi (Ekvator) verileri ve Szkiewicz verileri	CPLEX 1.2. 3.2 GHz
101	Escobar ve diğ. (2014)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tanecek değişkenli Tabu arama	Kümeleme yaklaşımı	Prins ve Prodhon, Tuzun ve Burke, Barreto verileri	2.00 GHz 2 GB RAM
102	Escobar ve diğ. (2014)	Çoklu depolu ARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tanecek değişkenli Tabu arama	Kümeleme yaklaşımı	Christofides ve Eilon, Gillett ve Johnson, Chao ve Cordeau verileri	2.00 GHz 2 GB RAM
103	Prodhon ve Prins (2014)	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
104	Martinez-Salazar ve diğ. (2014)	İki amaçlı taşımacılık YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Dağıtk tabu arama – BSGA II	Populasyon bazlı kurucu algoritma	Hipotetik	-
105	Escobar (2014)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tanecek Değişkenli tabu komşuluk arama	Tanecekli tabu arama	Prodhon, Barreto, Tuzun ve Burke verileri	-
106	Govindan ve diğ. (2014)	İki kademeli çoklu araçlı zaman çerçevesi YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Parçacık sürü optimizasyonu – Değişken komşuluk arama	Tesadüfsellik	Hipotetik	2.4GHz 4GB RAM
107	Berglund ve Kwon (2014)	Kombine edilmiş YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	yok	-	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin- metasezgisel	Genetik algoritma – Robust KIP	Tesadüfsellik	Albany (ABD) verileri	3.10 GHz 6 GB RAM CPLEX

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

108	Rieck ve diğ. (2014)	Çoktan çoğa YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma	Tesadüfsellik	Hipotetik	CPLEX 12.4 GAMS 23.8 8 GB RAM
109	Nekooghadrili ve diğ. (2014)	İki amaçlı Envanter YSARP	ikili	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	çoklu	çoklu	metasezgisel	Empiryalist algoritma - Tavlama benzetimi - BSGA II - Pareto analizi	Çok amaçlı yayımlı rekabetçi algoritma	Hipotetik	2.66 GHz 4 GB RAM
110	Vincent ve Lin (2014)	Eş zamanlı dağıtmalı toplama YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	tekli	metasezgisel	Çoklu başlamalı Tavlama benzetimi	Tesadüfsellik	Karaoçlan ve Prodhon verileri tabanlı hipotetik	2.67 GHz 4 GB RAM
111	Wang ve diğ. (2014)	Ayrık teslimatlı çok amaçlı açık YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	-	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	çoklu	metasezgisel	BSGA II	Tesadüfsellik	Büyük Sichuan Depremi (Çin) verileri	2.67 GHz 512 MB RAM
112	Winklbach ve diğ. (2015)	İki kademeli kapasite kısıtlı YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	tekli	kesin	KTP	-	Fransız posta kurumu verileri	-
113	Asefi ve diğ. (2015)	Ara transfer istasyonlu kentsel katı atık YSARP	tekli	det.	tek	-	-	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	tekli	kesin	KTP	-	Yeni Güney Galler (Avustralya) verileri	3.60 GHz 198 GB RAM ve GAMS
114	Zhao ve Verter (2015)	Kullanılmış yağ için iki amaçlı YSARP	üçlü	det.	tek	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	çoklu	kesin	Ağırlıklılandırılmış hedef programlama	-	Chongqing (Çin) verileri	2.2 GHz 2 GB RAM CPLEX 12.5.
115	Ghani ve diğ. (2015)	Aktarmalı envanter YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	çoklu	kısıtlı	çoklu	tekli	-	-	-	-	-
116	Kim ve Lee (2015)	Tersine lojistikte bir entegre yaklaşım	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	tekli	metasezgisel	Entegre tabu arama	Açgözlü tesadüfsel uyumlu arama	Hipotetik	3.2 GHz
117	Macedo ve diğ. (2015)	YSAR çözelmeleme problemi	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	çoklu	tekli	metasezgisel	Değişken komşuluk arama	Açgözlü tesadüfsel uyumlu arama	Hipotetik	3.6 GHz 2 GB RAM
118	Hennelmayr v diğ. (2015)	Periyodik YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	çoklu	tekli	sezgisel	Uyarlanabilir geniş komşuluk arama	Clarke ve Wright kazanç alg.	Prodhon, Pirkwieser ve Raidl verileri	2.93 GHz
119	Vincent ve diğ. (2015)	Açık kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi	En yakın komşu arama - Tabu arama	Barreto, Prins, Tuzun ve Burke verileri	3.40 GHz 4 GB RAM
120	Gianessi ve diğ. (2015)	Çoklu ürün dolaşmalı YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	tekli	kesin	Geçerli eşitsizlikler - KTP	En yakın komşu arama	Prins, Prodhon ve Wolfler Calvo verileri tabanlı hipotetik	2.6 GHz 3.76 GB RAM CPLEX 12.5

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

121	Karaoglan ve Altıparmak (2015)	Geri dönüş yüklemeli kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin- metasezgisel	Tavlama benzetimi – Genetik algoritma - KTP	Genişletilmiş Clarke ve Wright kazanç alg.	Prodhon ve Barreto verileri	3,16 GHz 1GB RAM CPLEX 10.2.
122	Mokhtarnejad ve diğ. (2015)	Çapraz sevkiyatla YSARP	üçlü	det.	tek	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtsız	tekli	kesin- metasezgisel	Genetik algoritma - Filtreleme temelli öğrenme	K-ortalamalar kümelene alg.	Hipotetik	4 GB RAM GAMS
123	Drexl ve Schneider (2015)	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
124	Liu ve Kachitvich-yankul (2015)	Çok amaçlı kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	tek	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	çoklu	metasezgisel	Parçacık sürü optimizasyonu	Pareto yüzeyi	Prodhon verileri	2.83GHz 3.00 GB RAM
125	Zhang ve diğ. (2015)	Aksama durumunda YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi	Solomon 1 - Taneckli tabu arama	Hipotetik ve Barreto verileri	2,53 GHz 2 GB RAM
126	Guerrero ve diğ. (2015)	Envanter YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtsız	tekli	kesin- sezgisel	Yerel arama sezgisel - Lagranj gevşetmesi - KTP	Sütun oluşturma metodu	Hipotetik	2.80 GHz 12 GB RAM
127	Herazo-Padilla ve diğ. (2015)	Stokastik YSARP	ikili	sto.	tek	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Karınca kolonisi algoritması - Ayrık sistem simülasyonu	Tesadüf sel seçme stratejisi	Hipotetik	2.20 GHz 8.00 GB RAM
128	Huang (2015)	Çoklu bölümlü dağıtılmalı toplama ve stokastik talepli kapasite kısıtlı YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Uyarlanmış tabu arama	Tesadüf sel	Prms, Tuzun ve Burke verileri	2,93 GHz 4 GB RAM
129	Marinakis (2015)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Geliştirilen parçacık sürü optimizasyonu	Tesadüf sel	Prodhon, Barreto ve Tuzun ve Burke verileri	Fortran 90 (Lahey f95)
130	Sun (2015)	Kapasite kısıtlı merkez YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	-	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	sezgisel	Endosimbiyotik evrimsel algoritması	Tesadüf sel	Hipotetik	3,6 GHz 8,0 GB RAM
131	Yang ve Sun (2015)	Kapasite kısıtlı elektrikli araçlı batarya değişim istasyonlu YSARP	tekli	det.	tek	çoklu	var	yok	ara	tekli	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Tabu arama - Clarke ve Wright kazanç algoritması	Uyarlanmış süpürme alg.	Augerat, Rinaldi ve Yarrow, Taillard ve Golden verileri	2,93 GHz 2,00 GB RAM
132	Ponboon ve diğ. (2016)	Zaman çerçeveli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Sütun oluşturma metodu	-	Prodhon, Barreto, Tuzun ve Burke verileri tabanlı hipotetik	3,20 GHz 32 GB RAM Gurobi

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

133	Ponboon ve diğ. (2016)	Zaman çerçeveli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-fiyat algoritması	-	Solomon verileri tabanlı hipotetik	3.20 GHz 16 GB RAM Gurobi 5.6
134	Moshref-Javadi ve Lee (2016)	Gecikme zamanlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- metasezgisel	Memetik algoritma - Tekrarlamalı taneceklilik algoritması - KTP	En yakın komşu ekleme yaklaşımı - Merkezilik metodu - AIT taneceklilik büyümesi	Tuzun ve Burke verileri	3.1 GHz 4GB RAM
135	Menezes ve diğ. (2016)	Yakınsama algoritmaları ile YSARP kararlarını değerlendirme	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	kesin- sezgisel	Lagranj gevşetmesi - Clarke ve Wright kazanç alg.	Açgözlü sezgisel	Tuzun ve Burke, Prins, Barreto ve Casino Grup (Fransa) verileri	2.6 GHz
136	Yu ve Lin (2016)	Ez zamanlı dağıtmalı toplamlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	Karaoçlan, Prins, Prodhon, Barreto ve Woffler Calvo verileri tabanlı hipotetik	2.34 GHz 1.93 GB RAM
137	Vidović ve diğ. (2016)	İki kademeli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	kesin- sezgisel	Açgözlü sezgisel - Karşık tamsayı doğrusal prog.	Açgözlü tesadüfisel uyumlu arama	Hipotetik	2.30GHz 8GB RAM CPLEX 12.6
138	Torfi ve diğ. (2016)	Envanter YSARP	dörtü	sto.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	meta- sezgisel	Tavlama benzetimi - Bulanık AHP ve TOPSIS	Bulanık kümeleme	Hipotetik	-
139	Koç ve diğ. (2016)	Zaman çerçeveli filo ölçekli ve karşık YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- metasezgisel	Geyirli eşitsizlikler ve KTP - Genetik algoritma	Clarke ve Wright kazanç alg.	Liu ve Shen verileri tabanlı hipotetik	2.6 GHz 1 GB RAM CPLEX 12.5
140	Rahmani ve diğ. (2016)	Dağıtmalı toplamlı iki kademeli çoklu ürünli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- sezgisel	KTP - En iyi ardışık yerleştirme sezgiseli	En yakın komşu arama	Prodhon verileri tabanlı hipotetik	1.40 GHz 2GB RAM CPLEX 12.4
141	Li ve diğ. (2016)	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
142	Riquelme-Rodriguez ve diğ. (2016)	Envanter kısıtlı yer seçimi ark rotalama problemi	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	çoklu	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Uyarlanabilir geniş komşuluk arama	Önce kümele sonra rotala alg.	Belenguer madden verileri	4.0 GHz
143	Gao ve diğ. (2016)	Dinamik YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Karnca kolonisi algoritması - K ortalamalar alg.	Tesadüfisel kümeleme	TSPLIB verileri	2.67 GHz 4 GB RAM
144	Bashiri ve diğ. (2016)	Yardımcı araçlı kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- metasezgisel	Tavlama benzetimi - KTP	Tesadüfsellik	Perl, Tuzun ve Burke, Prins verileri	GAMS
145	Yakıcı (2016)	İnsansız hava araçlı YSARP	tekli	-	-	-	-	-	-	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Karnca kolonisi algoritması	Tesadüfsellik	Hipotetik	1.9 GHz 4 GB RAM

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

146	Zhaolechian ve diğ. (2016)	Belirsizlik altında kapalı döngü tedarik zinciri ağı	uçlu	sto.	çok	çoklu	yok	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin- metasezgisel	İki aşamalı stokastik çözüm - Genetik algoritma - Değişken komşuluk arama	Tesadüfsellik	Hipotetik	2.6-GHz 4 GB RAM GAMS 22.9
147	Marinakis ve diğ. (2016)	Stokastik talepli YSARP	ikili	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	Hibrit klon seçim algoritması	Tesadüfsellik	Barreto, Prince, Tuzun ve Burke verileri tabanlı hipotetik	-
148	Lopes ve diğ. (2016)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Hibrit genetik algoritma	Tesadüfsellik	Tuzun ve Burke, Prins ve Barreto verileri	3.60 GHz 8 GB RAM
149	Goodarzi ve Zegordi (2016)	Çapraz sevkiyatlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Biojeografi temelli optimizasyon	Tesadüfsellik	Hipotetik	2.33 GHz 2 GB RAM
150	Koç (2016)	Periyodik YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Birleştirilmiş uyarlanabilir geniş komşuluk arama	Tesadüfsellik - Aç gözlu sezgisel	Prodhon ve Prins verileri ve hipotetik	3.6 GHz
151	Schiffer ve Waither (2017)	Zaman çerçevesi ve kısmi sarj etmeli elektrik YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin	KTP	-	Schneider verileri	16 GB RAM Gurobi 6.0.5
152	Toro ve diğ. (2017)	Çoklu amaçlı yeşil kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin	Karışık tamsayılı Doğrusal Programlama	-	Hipotetik ve Prodhon verileri	3.4 GHz 16 GB RAM CPLEX 12.5
153	Hof ve diğ. (2017)	Kapasite kısıtlı elektrikli araçlı batarya değişim istasyonlu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	-	-	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Uyarlanabilir değişken komşuluk arama	Açgözlü sezgisel	Hipotetik	2.8 GHz 8 GB RAM
154	Schneider ve Drexl (2017)	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
155	Wu ve diğ. (2017)	Sıklı zaman çerçevesi ve son teslim tarihli üç kademeli YSARP	üçlü	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- sezgisel	Hibrit çapraz entropi alg. - Gevşetme modeli	Olasılıksal vektörler	Çin demiryolu ağı verileri	2.4 GHz 8 GB RAM CPLEX 12.3
156	Peng ve diğ. (2017)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Parçacık sürü optimizasyonu	Tesadüfsellik	Prodhon verileri	2.80 GHz 16 GB RAM
157	Kartal ve diğ. (2017)	Eş zamanlı dağıtım toplama p-hub SARP	tekli	det.	çok	çoklu	yok	yok	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin ve metasezgisel	KTP - Tavlama benzetimi	Tesadüfsellik	Türkiye sivil havacılık ve Avustralya posta teşkilatı verileri	16 GB RAM CPLEX 12.6
158	Nedjati ve diğ. (2017)	İki amaçlı kapsama turu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin ve metasezgisel	Epsilon kısıtlı metodu - BSGA II	Tesadüfsellik	Hipotetik	3.00 GHz 4.00 GB RAM

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

159	Rayat ve diğ. (2017)	Aksama altında kısmi birikmiş siparişli iki amaçlı envanter YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Çok amaçlı taşıma benzetimi	Tesadüfsellik	Hipotetik	2.5 GHz 8 GB RAM
160	Hiassat ve diğ. (2017)	Bozulabilir ürünün Envanter YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtsız	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma	Tesadüfsellik - Mesafe odaklı yaklaşım	Hipotetik	-
161	Parragh ve Cordeau (2017)	Zaman çerçeveli kamyon römork rotalama problemi	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-fiyat algoritması	Uyarlanabilir geniş Ufırch Derigs ve hipotetik	Solomon, Ufırch Derigs ve hipotetik	2.67 GHz 9 GB RAM Cplex 12.5
162	Wang ve Li (2017)	Heterojen filo, eş zamanlı dağıtım toplama ve zaman çerçeveli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Değişken konşubuk arama - Tavlama benzetimi	Zamansal uzay mesafe ve Genetik algoritma	Prodhon verileri tabanlı hipotetik	3.0 GHz 2 GB RAM
163	Karimi ve Setak (2018)	Akış sevkiyat izelgelemeli iki amaçlı merkez YSARP	tekli	det.	çok	-	-	-	-	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin	e-kısıt tabanlı metot - Normalize ağırlıklandırılmış toplam metodu	Iran posta teşkilatı ve AP verileri	2.53 GHz 4 GB RAM Cplex 12.5	
164	Navazi ve diğ. (2018)	Çoklu periyodu Yer seçimi- atama-envanter problemi	tekli	bul.	çok	-	-	var	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	kesin	Robust olasılıksal metot	Hipotetik	Gams 24.8.3	
165	Rafie-Majid ve diğ. (2018)	Üç kademeli çoklu periyodu entegre envanter YSARP	üçlü	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	tekli	kesin	Lagranj gevşetmesi	Hipotetik	2.00 GHz GAMS	
166	Karimi (2018)	Eşzamanlı dağıtmalı toplama sistem için kapasite kısıtlı merkez kapsama YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin- metasezgisel	KTP - Tabu arama	Avustralya ve Türkiye posta teşkilatı verileri	2.53 GHz 3 GB RAM Cplex 12	
167	Aydemir-Karadağ (2018)	Tehlikeli Maddeli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtsız	tekli	kesin	KTP	Hipotetik	2.0 GHz 88 GB RAM Cplex 12.6	
168	Bartolini ve Schneider (2018)	İki ürün akış formülasyon için kapasite kısıtlı kamyon ve römork rotalama problemi	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtsız	tekli	kesin	Dal-kesme algoritması	Chao ve Tai verileri	3.40 GHz 16 GB RAM Cplex 12.7	
169	Ahmadi-Javid ve diğ. (2018)	Fiyat hassasiyeti talepli kazanç en büyükleme YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-fiyat algoritması	Barreto ve Archetti verileri	1.7 GHz 4 GB RAM Cplex 12.3	
170	Farham ve diğ. (2018)	Zaman çerçeveli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	Dal-fiyat algoritması	Solomon, Ponboon, Park ve Jun verileri ve hipotetik	3.20 GHz 16 GB RAM Cplex 12.6.3	

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

171	Ferreira ve de Queros (2018)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi - Lin-Kernighan sezgiseli	Açgözlü sezgisel	Prodhon, Barreto ve Tuzun ve Burke verileri	4.0 GHz 32 GB RAM
172	Habibi ve diğ. (2018)	Envanter YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Tavlama benzetimi - Genetik algoritma - Aleyböceği algoritması	Formül tabanlı algoritma	Hipotetik	2.0 GHz 8 GB RAM
173	Wang ve diğ. (2018)	Zaman çerçevesi iki kademeli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Modifiye BSGA-II	K-ortalamlar kümeleme algoritması	Hipotetik ve Chongqing (Çin) şirket verileri	1.70 GHz 5.00 GB RAM
174	Pichka ve diğ. (2018)	İki kademeli açık YSARP	ikili	det.	tek	çoklu	var	yok	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin ve metasezgisel	KTP - Hibrit tavlama benzetimi	Matematik temelli bir sezgisel - Clarke ve Wright kazanç alg.	Nguyen, Prodhon, Barreto ve Tuzun ve Burke verileri	2.6 GHz 16 GB RAM CPLEX 12.5
175	Ghaffarinasab ve diğ. (2018)	Düzensel merkez YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Iteratif Wenzfeld-tip algoritması - Parçacık sürü optimizasyonu	Tesadüfîellik	Hipotetik	3.30 GHz 16 GB RAM
176	Fazayeli ve diğ. (2018)	Çoklu model taşımacılık ağında zaman çerçevesi ve bulaşık talepli YSARP	tekli	bul.	çok	çoklu	var	yok	ara	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	İki aşamalı genetik algoritma	Tesadüfîellik	Solomon verileri	2.4 GHz 6 GB RAM
177	Zhang ve diğ. (2018)	Belirsizlik altında çoklu depolu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Hibrit zekâ alg-Genetik algoritma	Tesadüfîellik	Hipotetik	2.20 GHz 4.00 GB RAM
178	Razaei ve diğ. (2018)	İki kademeli çoklu ürünün kapasite kısıtlı tur kapasite YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Genetik algoritma	Tesadüfîellik	Hipotetik	2.6 GHz 6 GB RAM
179	Veenstra ve diğ. (2018)	Eşzamanlı TYP ve ARP	tekli	det.	çok	çoklu	yok	yok	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin ve metasezgisel	Dal-sınır alg-Değişken Kompakt arama	Tesadüfîellik	Hipotetik	2.667 GHz 48 GB RAM
180	Asadi ve diğ. (2018)	İki amaçlı stokastik envanter YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu - BSGA II	Tesadüfîellik	İran yosun biyodizel üretim daha verileri	2.0 GHz
181	Tavana ve diğ. (2018)	Entegre envanter YSAR insanı yardım tedarik zinciri ağı	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	BSGA II ve Referans noktalı tabanlı versiyonu	Tesadüfîellik	Hipotetik	3.60 GHz 16.0 GB RAM
182	Rabbani ve diğ. (2018)	Çoklu amaçlı endüstriyel tehlikeli maddeli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	BSGA II - Çoklu amaçlı parçacık sürü optimizasyonu	Tesadüfîellik	Hipotetik	2 GHz 8 GB RAM

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

183	Schiffer ve Walthner (2018)	Zaman çerçevesi ve kısmi sarj etmeli robust elektrik YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	-	-	-	-	çoklu	çoklu	çoklu	metasezgisel	Uyarlanabilir geniş komşuluk arama	Yok etme ve tamir etme operatörü	Solomon ve dünya verileri	-
184	Ghaderi ve Burdett (2019)	İki modlu taşıma ağında tehlikeli madde taşımali entegre YSARP	tekli	sto.	çok	-	-	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	kesin ve sezgisel	kesin ve sezgisel	Stokastik prog. - Maksimum olasılık Ornekleme - Ornek ortalamaya yakınsaması	-	Xie ve Jiang tabanlı hipotetik	3.1 GHz 8 GB RAM CPLEX	
185	Lu ve diğ. (2019)	Kaynak şarj istasyonlu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	-	var	ara	çoklu	çoklu	kesin	kesin	Lagranj gevşetmesi	-	Hipotetik	2.5 GHz 16 GB RAM GAMS	
186	Amiri ve diğ. (2019)	Zaman çerçevesi iki kademeli filo birleşimli karışık periyodlu YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	kesin	kesin	Lagranj ayrıştırma metodu	-	Ulusal İran Petrol Şirketi verileri	2.8 GHz 8 GB RAM CPLEX	
187	Tirkolaee ve diğ. (2019)	Çoklu bozulabilir ürünler için ara depolu YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	-	ara	-	kısıtlı	-	kesin-sezgisel	kesin-sezgisel	KTP - Biyografi tabanlı optimizasyon algoritması	-	-	CPLEX	
188	Dorrington ve Olsen (2019)	Asteroid madenciliği tedarik zinciri tasarımı için YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	yok	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	kesin	Doğrusal programlama	-	Uzay verisi tabanlı hipotetik	Lambert çözümü	
189	Aráoz ve diğ. (2019)	Ağaçlı ağ SARP	tekli	det.	çok	-	-	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	kesin	Dinamik programlama	-	-	-	
190	Darvish ve diğ. (2019)	Esnek 2 kademeli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin	kesin	Dal-sınır algoritması	-	-	Hipotetik	3.4 GHz 64 GB RAM CPLEX 12.8
191	Capelle ve diğ. (2019)	Dağıtımali toplamalı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin ve sezgisel	kesin ve sezgisel	Dal-fiyat algoritması - Etiket ayarlama algoritması	-	Ropke ve Cordeau verileri	3.5 GHz 16 GB RAM CPLEX 12.5	
192	Yang ve diğ. (2019)	Ayrı toplama ve teslimat turu merkez YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	kesin ve metasezgisel	kesin ve metasezgisel	Memetik algoritma-KTP	-	Avustralya posta teşkilatı verileri	3.07 GHz 8 GB RAM CPLEX 12.6.1	
193	Hosseini ve diğ. (2019)	Tesviğe bağlı geri dönüşlü seçici toplamalı kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin ve sezgisel	kesin ve sezgisel	İteratif yerel arama - KTP	5 aşamalı sezgisel algoritma	Prodhon ve Karaoglan verileri tabanlı hipotetik	3.07 GHz 16 GB RAM CPLEX 12.6.1	
194	Schmidt ve diğ. (2019)	Zamana bağlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	sezgisel	sezgisel	7 yapıcı sezgisel algoritma - Küme kapsama yöntemi	7 farklı yapıcı sezgisel	Quebec (Kanada) trafik verileri	3.4 GHz 64 GB RAM Gurobi 8.0.1	

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

195	Pekel ve Kara (2019)	Bulamık kapasite kısıtlı YSARP	tekli	bul.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Değişken komşuluk arama - Evrimsel yerel arama	Ağzolu tesadüfisel uyumlu arama	Prodhoon ve gıda şirketi (Türkiye) verileri	2.9 GHz 4 GB RAM
196	Dai ve diğ. (2019)	Çoklu kademeli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	sezgisel	İki safhali gelişirilmiş Clarke ve Wright kazaç algoritması	Clarke ve Wright kazaç alg.	Prodhoon verileri	2 GHz 2 GB RAM
197	Dukkanci ve diğ. (2019)	Yeşil YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	yok	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin ve sezgisel	İteratif yerel arama - Karışık tamsayı programlama	En yakın komşu arama - Tesadüfisel	Kanada fiziksel dağıtım yönetimi başkanı verileri	96 GB RAM CPLX 12.6.1.
198	Yu ve diğ. (2019)	Sıkı kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Hibrit genetik algoritma	Tesadüfisel Clarke ve Wright kazaç alg.	Prodhoon, Barreto, Tunun ve Burke verileri	2.20 GHz 8 GB RAM
199	Yaghoubi ve Akrami (2019)	Bonulabilir hammaddeler tedarikinde YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Karınca kolonisi algoritması - Parçacık sürü optimizasyonu	Tesadüfisel	Süt endüstrisine tabanlı hipotetik	2.4 GHz 2 GB RAM
200	Sauf-Eddine ve diğ. (2019)	Envanter YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Geliştirilmiş genetik algoritma	Tesadüfisel	Kanada dağıtım başkanı verileri	-
201	Zhang ve diğ. (2019)	Stokastik talepli elektrikli araç batarya değişim istasyonu YSARP	tekli	sto.	tek	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Değişken komşuluk arama - Parçacık sürü optimizasyonu	Tesadüfisel	Hipotetik	2.50 GHz 8 GB RAM
202	Rabbani ve diğ. (2019)	Stokastik çoklu periyodu tehlikeli maddeli envanter YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	yok	ara	çoklu	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	BSCA II- Monte Carlo simülasyonu	Tesadüfisel	Hipotetik	2 GHz GB RAM GAMS
203	Karakostas ve diğ. (2019)	Dağıtımda dış kaynaklı envanter YSARP	üçlü	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	kesin ve metasezgisel	Genel değişken komşuluk arama - KTP	Yer seçimi-atama ve envanter-rotalama için iki yapıcı sezgisel	Zhang verileri ve hipotetik	3.5 GHz 16 GB RAM CPLX 12.7.1
204	Almoubanna ve diğ. (2020)	Kısıtlı mesafeli elektrik araçlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	metasezgisel	Değişken komşuluk arama	Clarke ve Wright kazaç alg.	Barreto, Akca ve Belenguer verileri	2.3 GHz 8 GB RAM
205	Tomassen ve Arts (2020)	Stokastik bakım YSARP atama problemi	ikili	-	çok	-	-	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	KTP	-	Hollanda Demiryolları verileri	-

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

206	Alvares ve diğ. (2020)	Bölmüştü teslimatlı iki kademe kapasite kısıtlı YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin- metasezgisel	Değişken komşuluk iniş alg. - KTP	-	AB LING tedarigi verileri	2.5 GHz 40 GB RAM CPLEX 12.8
207	Liu ve diğ. (2020)	Karışık araç ve uydu depolu iki kademeli YSARP	ikili	sto.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Hibrit bağıklık algoritması	Tesadüfsellik	Hipotetik	-
208	Vincent ve diğ. (2020)	İki kademeli açık YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Tavlama benzetimi	Tesadüfsellik	Nguyen ve Prodhon verileri	2.67 GHz 8 GB RAM
209	Zhong ve diğ. (2020)	Pişmanlık içeren risk altında koşulsal değerli YSARP	tekli	sto.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	BSGA - II	Tesadüfsellik	Solomon verileri	1.60 GHz 8 GB RAM CPLEX 12.1
210	Vincent ve diğ. (2020)	Zaman bağımlı talepli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin ve metasezgisel	Tavlama benzetimi - Doğrusal olmayan KTP	Ağozlu sezgisel	Prodhon, Barreto, Tuzun ve Burke verileri	3.6 GHz 16 GB RAM CPLEX
211	Cao ve diğ. (2020)	Biyolojik kütle tedariki için YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin ve metasezgisel	Tabu arama - KTP	Bir başlama algoritması	Hipotetik	1.99 GHz 16 GB RAM CPLEX 12.9
212	Akpınar ve Akpınar (2020)	Kapasite kısıtlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Uyarlanabilir geniş komşuluk arama - Değişken komşuluk arama	K-ortalama kümeleme alg.	Prodhon, Barreto, Tuzun ve Burke verileri	2.5 GHz 8 GB RAM
213	Arnold ve Sorensen (2020)	İki kademeli YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	sezgisel	Aşamalı filtreleme sezgisel	Clarke ve Wright kazanç alg.	Prodhon, Barreto, Tuzun ve Burke verileri	3.5 GHz
214	Leng ve diğ. (2020)	Soğuk zincir tabanlı düşük karbon YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	BSGA - II - Güçlendirilmiş pareto evrimsel alg.	Tesadüfsellik	Hipotetik	4.0 GHz 12 GB RAM
215	Araghi ve diğ. (2020)	Yeşil stokastik açık YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	çoklu	kısıtlı	tekli	kesin ve metasezgisel	KTP- Emperyalist yarışmacı alg. - Değişken komşuluk arama	Tesadüfsellik	Gaskell ve Hipotetik	2.53 GHz 1 GB RAM
216	Yu ve diğ. (2020)	İki kademeli çok amaçlı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	BSGA - II	Tesadüfsellik - Clarke ve Wright kazanç alg.	Hipotetik	2.20 GHz 8 GB RAM
217	Wang ve diğ. (2020)	Eko paketli yeşil lojistik YSARP	ikili	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	kesin - metasezgisel	BSGA - II - Lagranj gevşetmesi	Clarke ve Wright kazanç alg.	Hipotetik - Solomon - Chengdu (Çin) Lojistik verisi	1.8 GHz 8 GB RAM
218	Pitakaso ve diğ. (2020)	Yeşil iki kademeli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Değişken komşuluk strateji adaptif arama	Tesadüfsellik	Tayland tarımsal verileri	2.70 GHz 4 GB Ram

Tablo A.1. (Devam) Kapsamlı YSARP literatür analizi

219	Wei ve diğ. (2020)	Acil lojistikte zaman çerçeveli YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Karınca Kolonisi algoritması	Tesadüfsellik	Sel felaket verisi (Çin)-Barreto verisi tabanlı hipotetik	3.60 GHz 8 GB RAM
220	Nikzami ve Baradaran (2020)	Sağlık bakımı atığı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	ara	tekli	kısıtlı	çoklu	metasezgisel	Çok amaçlı su akış algoritması	Tesadüfsellik	Prodhon verisi - Hipotetik	3.4 GHz 8 GB RAM
221	Perdana ve diğ. (2020)	Çok amaçlı çöktan çoğa YSARP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Endonezya hükümet verileri	-
222	Karakostas ve diğ. (2020)	Kirlilik Eavanter YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	çoklu	kısıtlı	çoklu	kesin ve metasezgisel	Değişken komşuluk arama	En yakın komşu arama - KTP	Hipotetik	2.6 GHz 16 GB RAM CPLEX 12.7.1
223	Azizi ve Hu (2020)	Çoklu ürün dağıtmalı toplamalı YSARP	tekli	det.	çok	çoklu	var	var	birinci	tekli	kısıtlı	tekli	kesin	KTP	-	Hipotetik	CPLEX 12.8
224	Kaveh ve diğ. (2020)	Optimizasyon teknikleri kullanılan acı durum sistemleri	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yıldız Kumru P., Baynal K., Aladağ Z., **Toksoy M. S.**, Determination of a Logistic Warehouse Location Based on the P-Median Problem Before a Possible Earthquake Disaster: The Case of the Province of Erzincan, *V. International Caucasus-Central Asia Foreign Trade and Logistics Congress*, İstanbul, Türkiye, 17 - 19 Eylül 2019.

Toksoy M. S., Baynal K., Haklı H., An Artificial Bee Colony Algorithm for Capacitated Location Routing Problem, *16th International Logistics and Supply Chain Congress*, Denizli, Türkiye, 17 - 19 Ekim 2018.

Kahraman T., **Toksoy M. S.**, Aykut O. H., Hancıgaz E., Meslek Yüksek Okullarında Çalışan Akademik Personelin Risk Algısı: Erzincan Üniversitesi Örneği, *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2016, **9**, 233-248.

Toksoy M. S., Baynal K., Bir Meta-Sezgisel Algoritması İçin Optimal Parametre Kombinasyonunun Belirlenmesinde Deney Tasarımı Yaklaşımı, *15. Uluslararası Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*, Isparta, Türkiye, 22 - 25 Mayıs 2014.

Toksoy M. S., Aykut O. H., Baynal K., Süpermarketlerin Algılama Haritası Üzerinde Gösterimi, *15. Uluslararası Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*, Isparta, Türkiye, 22 - 25 Mayıs 2014.

Yakut E., **Toksoy M. S.**, Yavuz S., Elmas B., Sinirsel Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini, *15. Uluslararası Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*, Isparta, Türkiye, 22 - 25 Mayıs 2014.

Bozyer Z., **Toksoy M. S.**, Ambalaj Atık Yönetimi Tersine Lojistik Uygulaması, *II. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi*, Aksaray, Türkiye, 16 - 18 Mayıs 2013.

Taşboğaz E., **Toksoy M. S.**, Kumru P. Y., Short Term Electricity Demand Forecast with Genetic Algorithms, *31. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi*, Sakarya, Türkiye, 15 - 17 Haziran 2011.

Toksoy M. S., Yiğit V., Kesikli Sıralı Median Problemi ve Bir Sezgisel Çözüm Önerisi, *29. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi*, Ankara, Türkiye, 15 - 17 Haziran 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Serdar Toksoy ilk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden 2005 yılında mezun oldu. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisansını 2010 yılında “Kesikli Sıralı Median Problemi ve Bir Sezgisel Çözüm Önerisi” başlıklı tez çalışması ile tamamladı. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başladı.

Tesis yeri seçimi, yer seçimi ve araç rotalama problemi, stratejik planlama ve kalite yönetimi alanlarında çalışan Toksoy, 2000-2007 yılları arasında kamu ve özel sektörde çeşitli kuruluşlarda çalıştıktan sonra 2007 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi’nde akademik uzman olarak çalışmaya başladı. Evli ve iki çocuk babası olan Toksoy, halen eşzamanlı olarak Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Kalite Koordinatörlüğünde koordinatör yardımcısı ve Teknoloji Transfer Ofisi Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde öğretim görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.