

**Heterojen Filo Üzerinde Araç Rotalama Probleminin Melez
Yaklaşım ile Uyum Temalı Çözümü**

Nisanur BULUT



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Heterojen Filo Üzerinde Araç Rotalama Probleminin Melez Yaklaşımla Uyum
Temalı Çözümü**

Nisanur BULUT
0000-0002-9282-5960

Dr. Öğr. Üyesi Metin BİLGİN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
Bilgisayar Mühendisliği ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Nisanur BULUT tarafından hazırlanan “HETEROJEN FİLO ÜZERİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN MELEZ YAKLAŞIMLA UYUM TEMALI ÇÖZÜMÜ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr.Öğr.Üyesi Metin BİLGİN

Başkan : Dr.Öğr.Üyesi Metin BİLGİN
0000-0002-4216-0542
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Bursa Uludağ Üniversitesi ,
Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı

İmza



Üye : Doç. Dr. Gıyasettin ÖZCAN
0000-0002-1166-5919
Bursa Uludağ Üniversitesi ,
Bursa Uludağ Üniversitesi ,
Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı

İmza



Üye : Dr. Öğr.Üyesi Şaban GÜLCÜ
0000-0001-7714-8861
Necmettin Erbakan Üniversitesi,
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitü Müdürü
.././2020

.././2020

Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

5.11.2020.

Nisanur BULUT



ÖZET

Yüksek Lisans

Heterojen Filo Üzerinde Araç Rotalama Probleminin Melez Yaklaşımla Uyum Temalı Çözümü

Nisanur BULUT

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Metin Bilgin

Günümüz lojistik uygulamalarında çeşitlenen müşteri talepleri ve belirlenen yasal zorunluluklar sebebiyle araç rotalama işleminin kısıtları çeşitlenmiş ve rotalama karmaşıklığı giderek artmıştır. Firmalar müşteri teslimatlarını gerçekleştirirken düşük maliyetli ancak değişen koşullara uyum sağlayacak esnek ve kalıcı çözümlere ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada farklı tipte taşıma ihtiyaçları oldukları bilinen müşteri taleplerinin, farklı kapasite ve özelliklerde araçlar içeren heterojen filo kullanılarak karşılanmasıyla ortaya çıkan tek depolu sıkı zaman pencereli heterojen filolu araç rotalama problemi ele alınmıştır. İptal edilen müşteri talepleri, kapanan yollar veya arızalanan araçların olması gibi çeşitli durumlarda yeni çözümler üretebilen hiyerarşik yapıda üç aşamalı bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Birinci aşamada müşteri talepleri en kısa yol mesafesine sahip olacak şekilde tavlama benzetimi algoritması kullanılarak gruplandırılmıştır. Bu gruplama yapılırken, her grubun toplam yol mesafesinin dengeli olması yani eşit olması hedeflenmiştir. İkinci aşamada araç atama modellemesi kullanılmıştır. Birinci aşamada gruplanan müşteri talepleri uygun tip ve özelliklerdeki araçlarla eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme işlemi yapılırken problem kısıtlarına uygun optimal çözüm genetik algoritma yardımıyla araştırılmıştır. Üçüncü aşamadaysa ikinci aşamada bulunan optimal çözüm üzerinde lineer düzeltme yapılarak çözümün kalitesi artırılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zaman pencereli araç rotalama problemi, heterojen filo, tavlama benzetimi, genetik algoritma, çoklu gezgin satıcı problemi

2020, vii + 88 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

Compatibility Themed Solution of the Vehicle Routing Problem on the Heterogeneous Fleet

Nisanur BULUT

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineer

Supervisor: Dr. Metin BİLGİN

In today's logistics applications, the constraints of the vehicle routing process have diversified and the routing complexity has gradually increased due to the diversified customer demands and the determined legal requirements. Firms need low-cost but flexible and permanent solutions that will adapt to changing conditions while performing customer deliveries. In this study, the problem of single-warehouse heterogeneous fleet vehicle routing with tight time windows, which occurs when customer demands, which are known to have different types of transportation needs, are met by using a heterogeneous fleet containing vehicles with different capacities and characteristics. A hierarchical three-stage decision support system has been designed to produce new solutions in various situations such as canceled customer requests, closed roads or broken vehicles. In the first stage, customer demands are grouped using the simulated annealing algorithm to have the shortest path distance. While making this grouping, it is aimed that the total distance of each group is balanced, that is, equal. In the second stage, vehicle assignment modeling was used. The customer demands grouped in the first stage were matched with suitable types and features. While performing this matching process, the optimal solution suitable for the problem constraints was investigated with the help of genetic algorithm. In the third stage, the quality of the solution was tried to be increased by linear correction on the optimal solution in the second stage.

Keywords: Time window vehicle routing problem, heterogeneous fleet, simulated annealing, genetic algorithm, multiple traveling salesmen problem

2020, vii + 88 pages.

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitimin boyunca ve bu tezin gerçekleştirilmesinde bilgi ve tecrübeleriyle bilimsel çalışmalarımı yönlendiren ve destek olan başta danışmanım saygıdeğer Dr. Öğr. üyesi Metin Bilgin olmak üzere eğitim hayatımda her zaman yanımda olan anneme şükran ve minnetlerimi sunarım.

Nisanur BULUT
23/07/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1 Araç Rotalama Probleminin Tanımı	8
2.2 Araç Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri	9
2.3 Temel Araç Rotalama Probleminin Matematiksel Modeli	10
2.4 Araç Rotalama Problemlerinin Türleri	11
2.4.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (KKARP)	11
2.4.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi (MKARP)	11
2.4.2. Heterojen filolu araç rotalama problemi (HARP)	12
2.4.3. Zaman pencereci araç rotalama problemi (ZPARP)	12
2.5 Araç Rotalama Problemlerinin Çözüm Yöntemleri	13
2.5.1 Sezgisel yöntemler	14
2.5.2 Kesin yöntemler	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	24
3.1 Problem Tanımı	24
3.2 Kullanılan Modellemeler	26
3.3 Nakliyeleştirme Aşaması	27
3.4 Uyum Arama Aşaması	33
3.4.1 Genetik algoritmanın uyum arama aşamasında kullanılması	34
3.4.2 Yeni bireylerin oluşturulması	35
3.4.3 Skor değeri hesaplama	38
3.5 Doğrusal Düzeltme Aşaması	39
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	40
5. SONUÇ	44
KAYNAKLAR	45
EKLER	49
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Q	Araç Kapasitesi
N	Müşteri veya Durak Kümesi
t_{ij}	i ve j müşteri noktaları arasındaki tasarruf değeri
q_i	i Müşterisinin talep miktarı
d_{ij}	i müşterisi ile j müşteri arasındaki uzaklık
d_i	i müşterisinin dağıtım talebi miktarı
c_{ij}	i ve j noktaları arasındaki toplam yol (mesafe veya zaman) maliyeti
d_i	i noktasına olan maliyet (yol veya zaman)

Kısaltmalar	Açıklama
NP	Non-deterministic-polynomial Time
ARP	Araç Rotalama Problemi
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
QAP	Kuadratik Atama Problemi
KKARP	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MKARP	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
ZPARP	Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
SZPARP	Sıkı Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
EZPARP	Esnek Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
TBA	Tavlama Benzetimi Algoritması
GA	Genetik Algoritma
YSA	Yapay Sinir Ağları
TAA	Tabu Arama Algoritması
SAO	Sıcaklık Azaltma Oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Rampa kapısı tanımlaması.....	4
Şekil 2.1. Araç rotalama problemi çözüm yöntemleri (Ekizler, H. 2011).....	13
Şekil 2.2. Tasarruf algoritması tanımlaması.....	15
Şekil 2.3. Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Şeması (S. Zhan et. Al. 2016).....	20
Şekil 2.4. Genetik Algoritma Şeması.....	21
Şekil 3.1. Çözüm Arama Aşamaları	24
Şekil 3.2. Problem Girdilerinin Tanımlaması	25
Şekil 3.3. Taşıma Nakliye İlişkisi Tanımlaması.....	26
Şekil 3.4 Başlangıç Çözümü Oluşturma	29
Şekil 3.5. Nakliyeleştirme Aşaması Amaç Fonksiyonu Değerlendirmesi	31
Şekil 3.6 Çözüm Oluşturma	32
Algoritma 1. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Sözde Kodu	32
Şekil 3.7. Genetik Algoritma Birimlerinin Tanım Gösterimi	34
Algoritma 2. Genetik Algoritma Sözde Kodu.....	34
Şekil 3.8 Yeni Birey Üretilmesi	36
Şekil 3.9 Çaprazlama İşlemi Gösterimi	37
Algoritma 3. Mutasyon Oranının Belirlenmesi Sözde Kodu	37
Şekil 3.10. Mutasyon İşlemi Gösterimi	38
Algoritma 4. Skor Değerinin Hesaplanması	38
Algoritma 5. Lineer düzenleme sözde kodu.....	39
Şekil 4.1 Nakliyeleştirme Aşaması Skor Sonuçları.....	40
Şekil 4.2 GA'nın Ürettiği Elit Çözümlerin Değerlendirmesi.....	41
Şekil 4.3. Uyum değerlerine göre geç kalmamış toplam taşıma sayıları.....	43
Şekil 4.4. Değişim Skorları	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Tavlama Benzetimi Parametre Değerleri	30
Çizelge 3.2 Genetik Algoritma Parametreleri	35
Çizelge 4.1. Çözüm Skor Değerlerinin Kümülatif Gösterimi	41
Çizelge 4.2. Zamanında Varış Uyumu Olan Taşımların Toplam Sayıları	42

1. GİRİŞ

Lojistik genel anlamda müşteri isterlerinin talep edilen hedef noktalarına akışını sağlayan yöntemler bütünüdür. Bu akış kara, deniz, hava veya tren yoluyla sağlanırken kullanılan akaryakıt, alınan mesafe, kullanılan insan gücü gibi kaynak maliyetlerinin en aza indirilmesi hedeflenir. Ayrıca müşteri isterlerinin verimli şekilde ve zamanında teslim edilmesi amaçlanır. Şirketlerin bu problemleri etkili ve hızlı şekilde çözmeleri gerekirken bu çözümlerin sürdürülebilir olması da gerekmektedir. Bu koşullar altında, lojistik faaliyetlerinin, finans ve çevresel kaynakları minimum düzeyde kullanarak yürütülmesi ve yönetilmesi için sürdürülebilirliği sağlayacak yaratıcı yaklaşımlara ihtiyacı vardır (Simchi-Levi ve Bramel, 1997).

Araç rotalama problemi (ARP) literatürde ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından ele alınmıştır (G.B. Dantzig, J.H. Ramser,1959). Sabit bir noktadan en kısa yol mesafesini kullanarak n tane hedef noktasına yalnızca bir defa uğramak şartıyla yapılan dolaşım gezgin satıcı problemi olarak tanımlanır (I.Dumitrescu, et al. 2016). Lojistik uygulamalarında da aslında müşteri noktaları arasında yapılan her bir gezinim, gezgin satıcı problemidir ve en kısa yolun kat edilmesi kritik bir değerdir. Çünkü artan yol mesafesiyle birlikte hem çevreye verilen zarar hem de firmanın kaybettiği zaman ve maddi değer kaybı artmaktadır. Bu sebeple firmalar lojistik faaliyetlerini sürdürürken yaşanan hava kirliliği, sera etkisi, doğal afetler ve doğal kaynakların tükenmesi gibi sonuçları da göz önüne alarak çevreye karşı duyarlı olmayı amaç edinmişlerdir (S. E. Dinçer, F. Dişkaya, 2018).

Taşınması yapılan mal ve hizmetlerin çeşitlenmesiyle birlikte lojistik faaliyetlerine eklenen kısıtlarda çeşitlenmiştir. Bu durum, ARP'yi de çeşitlendirmiştir. Taşınan varlıkların özel ihtiyaçlarına göre kullanılan araç filosu da çeşitlenmiş olup bir taşıyan(aracı)-taşınan(varlık) atama problemi ortaya çıkmıştır. Araç filosu homojenken dahi klasik ARP çözülmesi zor Non-deterministic-polynomial Time (NP) problemlerdendir. Heterojen filo kullanılmasıyla problemin çözümü daha da zorlaşmaktadır. Ancak gerçek hayat lojistik uygulamalarında bütün müşteri taleplerinin

homojen araçlarla yani aynı tip özelliklerde ve eşit kapasitede araçlarla sağlanması pek yaygın değildir (S. Çetin, E. Özkütük, C. Gencer,2011).

Bu çalışmada ele alınan ARP, gerçek lojistik uygulamalarında görülen kısıtlara sahiptir. Bu kısıtlar müşteri ya da özel sebeplerden oluşabilmektedir. Örneğin: Müşteri talepleri olan malların, taşınması sürecinde yerine getirilmesi gereken istekler mevcuttur. Bu istekler müşterilerin yalnızca belirli tipteki araçlarla çalışmak istemesi gibi özel talepler, taşınan varlıkların ihtiyacı olan özel ekipmanların kullanılması ya da müşteriyle dağıtıcı firma arasında cezai sonuçları olan mutabakatların yapılması sebebiyle ortaya çıkmıştır.

Taşınan malların türlerine bağlı olarak farklı tipte taşınma ihtiyaçları ortaya çıkar. Örneğin süt, yağ, yakıt gibi sıvı özellikteki malların taşımacılığı için tanker içeren araçlar kullanılması gerekirken koli içerisinde muhafaza edilmesi gereken bisküvi, montaj malzemesi gibi mallar içinse paletli taşımaya imkan sağlayan araçlarla taşıma yapılması gerekir. Hammadde tipinde mallar ya da süt, çikolata gibi belirli sıcaklık derecesinde taşınması gereken mallar içinde araçların özel ısıtıcılar taşınması gerekir. Ayrıca, tehlikeli ve yanıcı madde taşımacılığında da uygun tipte araçlar kullanılmadığı durumlarda can ve mal kaybına, yangın gibi doğa tahribatına sebep olabilecek, kabul edilemez sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu sebeple taşımayı yapan araçların gerekli koruma ekipmanlarına sahip olması gerekir (Z. Yılmaz, S. Erol, H. S. Aplak, 2016).

Lojistik faaliyetlerinde zamanda dikkate alınması gereken bir diğer değerdir. Aracın güzergâhı boyunca hareket halinde geçirdiği zamanın yanı sıra araca mal yüklenmesi ve yüklenen malların araçtan boşaltılması süreçleri de zaman almaktadır. Bu sebeple, bazı müşteriler teslimat sürecinde aracın boşaltma zamanının kısalması ya da depo merkezlerinin uyumundan dolayı özellikle asansörlü taşımaya imkan veren araçlar kullanılmasını talep eder. Bu durum da heterojen filo kullanımını gerektirmektedir. Farklı kapasitif araçlardan oluşan filo ile ARP'nin ele alınması heterojen araç rotalama problemi (HARP) olarak adlandırılır. Golden ve arkadaşları tarafından literatüre kazandırılan HARP zamanla çeşitlenmiş olup zaman penceresi içermesi ya da içermemesi, filo boyutunun sınırlı ya da sınırsız olması, tip, kapasite gibi özelliklerinin de kısıtlara eklenmesiyle araştırma sahasında geniş yer almıştır. Baldacci ve ark. yaptıkları

çalışmalarla HARP'i ele almış ve sezgisel çözümler sunmuşlardır. Hoff ve ark. deniz ve kara yolu gibi farklı taşımacılık sektörlerinde HARP'i ele almışlardır (Ç. Koç ve ark. 2016) Bu problemde yer alan araç filosu sınırlı sayıda farklı tip, kapasite ve mülkiyetlere ait araçlardır.

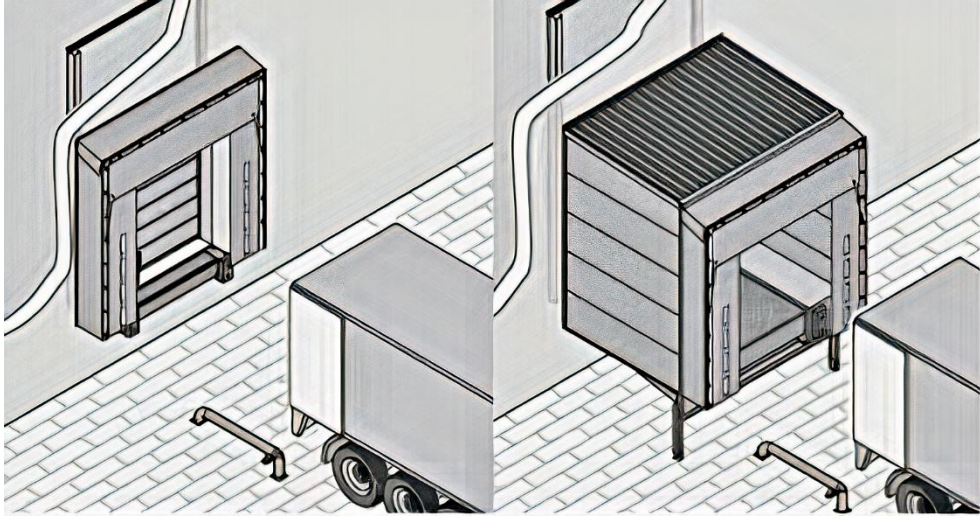
Müşteriler, mal teslimatlarını genellikle randevu sistemiyle yaparlar. Müşteriler, haftanın belirli günlerinde mal kabulü yapabildiği gibi haftanın her günü belirli saatlerde de mal kabulü yapabilirler. Dağıtım firması ve müşteriler arasında yapılan ortak mutabakatlarda malın kabul saatleri yükümlülüklerle daha da özelleştirilebilir. Bu durumda araçtan mal kabulü için belirlenen randevu zamanında teslimat noktasına varması ya da yükünü hedef depo noktasına boşaltmış olması beklenir. Bu randevu zamanı, zaman penceresi olarak isimlendirilir.

Biri depo noktası olmak üzere n tane noktadan oluşan ARP içerisinde her bir noktaya belirli zaman penceresi içerisinde uğramak koşulu eklendiğinde klasik ARP, zaman pencereci araç rotalama problemine (ZPARP) dönüşür (C.-Y. Liang et. Al,2008). Eğer ki araçlar, mal kabulü için belirlenen zaman penceresi içerisinde teslimat noktasına varıp yükünü indirmek zorundaysa bu zaman penceresi sıkı zaman penceresi olarak isimlendirilir. Zaman penceresi içerisinde araç teslimat noktasına varamaz ya da yükünü boşaltamazsa para cezası gibi maddi cezalar alabilirken aracın mal indirmesine izin verilmeyebilir. Bu durumda araçlar bir sonraki randevu vaktine kadar teslimat noktasında yükünü indirmek için beklemek zorunda kalabilir. Bu durum zaman ve hizmet maliyeti olarak dağıtıcı firmaya ve müşteriye yansır.

Bu çalışmada zaman penceresi kavramı her müşteri noktası için özelleştirilmiştir ve aracın müşteri noktasına zaman penceresi içerisinde varması yeterli değildir. Aracın zaman penceresi içerisinde yükünü boşaltması, müşteriye teslim etmesi beklenenler arasındadır. Ancak bazı müşteriler için bu yeterli değildir. Çünkü yükün araçtan indirilmesi de ekstra bir zaman maliyetidir. Dolayısıyla araçların yükünü boşaltması için verilen bir boşaltma süresi de mevcuttur. Bu süre içerisinde aracın malını boşaltması yani müşteriye teslim etmesi beklenir. Çalışma içerisinde aracın teslimat noktasına hedeflenen zaman diliminde varması durumu zamanında varış olarak nitelendirilir. Eğer ki araç belirtilen boşaltma

süresi içerisinde yükünü teslimat noktasına boşaltırsa bu durum zamanında teslimat olarak nitelendirilir.

Mal teslimatı yapılan hedef noktaları, genellikle mal depolayan alanlardır. Araçlar teslimat noktalarına malını boşaltmak için şekil 1.1’de gösterilen rampa kapılarını kullanır. Rampa sayısı sonsuz sayıda değildir ve araçların sahip olduğu uzunluk, yükseklik, genişlik gibi hacimsel niteliklerinden ya da tek katlı, çift katlı olmasından dolayı özelleşmiştir. Dolayısıyla her araç her rampa kapısına yanaşamaz. Bu sebeple dağıtım planı yapılırken araçların varacağı teslimat noktalarındaki rampa kapılarıyla uygun özelliklerde olması gerekir. Ayrıca aracın yükünü boşaltabilmesi için teslimat noktasında hacimsel özelliklerine uygun boşta rampa kapısı bulabilmesi gerekir. Aksi durumda araç teslimat noktasına vardığında boş vaziyette bir rampa kapısı bulamaz dolayısıyla yükünü boşaltamaz. Bu sebeple aracın teslimat noktasında bulunan rampa kapılarıyla olan uyumu zamanında teslimat niteliğini doğrudan etkiler.



Şekil 1.1. Rampa kapısı tanımlaması

ARP eklenen kısıtlarla birlikte çok değişkenli bir problem haline gelir. Çok değişkenli problemlerde sonuca ulaşmak için kesin yöntemler kullanmak çözümü imkânsız kılabilirken çözüm süresini de uzatır. Ölçütler arttıkça problem daha karmaşık hale gelebilir. Bu sebeple daha karmaşık problemlerde klasik sezgiseller ve metasezgiseller tercih edilmektedir. Bu çalışmada da problemi çözebilmek için metasezgisel algoritmalarından faydalanılmıştı

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

İlk kez Dantzing ve Ramser tarafından ortaya atılan ARP, aracın kaynak noktasından n tane hedef noktasına giderken en kısa yolu kullanmasını konu edinir (G. B. Dantzig, J. H. Ramser,1959). Clarce ve Wright çalışmalarında, belirli miktarda olan müşteri taleplerinin dağıtımını için eşit özelliklerde araçları kullanarak bir depoda başlayıp yine depoda biten araç rotalama problemi için tasarruf algoritmasını önermişlerdir. Tasarruf algoritmasıyla müşteri talepleri karşılanırken araç kapasitesi aşılmaksızın alınan toplam yol mesafesi, kullanılan araçların sayısı gibi maliyetlerin indirgenmesi amaçlanır (Clarke, G. & Wright, J.W,1964).

ARP'de en kısa yol mesafesi niteliği temel kısıttır. Çünkü toplam mesafe kısaldıkça araçların yıpranma payı, ortama salınan gaz miktarı, kaza riski ve seyahat süresi değerleri minimuma indirgenir. Toplam yol mesafesini indirgerken araçları tam kapasiteyle kullanan bir servis uygulaması için ARP, Eryavuz ve Gencer tarafından bir kıyaslama çalışmasıyla ele alınmıştır. Üretilen güzergâhlar tasarruf algoritması ve rastgele tasarruf algoritması ile belirlenmiş ve tur geliştirici sezgisel algoritma olan 2-opt ve Or-opt algoritmaları ile iyileştirilmiştir. Elde edilen birincil çözümlerde toplam yol mesafesi rastgele tasarruf algoritmasıyla daha optimal bir sonuç olurken tur geliştirici algoritmanın kullanılmasının ardından tasarruf algoritmasının ürettiği sonuçlar daha optimal hale gelmiştir (M. Eryavuz, C. Gencer,2001).

HARP gerçek lojistik uygulamalarında yaygın bir durumken literatürde bu konuyu ele alan çalışma sayısı oldukça azdır ve HARP'ı ele alan çalışmalar daha çok araçların fiziksel özelliklerine odaklanmıştır. Bilgimiz dahilinde daha önce hiçbir çalışma araçların hedef noktadaki rampa kapısına olan uyumunu ele alarak HARP'ı ele almamıştır. Ayrıca araçların genişlik, uzunluk gibi hacimsel özelliklerinden ziyade sahip olduğu hava perdesi, soğutucu gibi ekipmanlara göre ya da yükleme boşaltma sırasında forklift gibi yardımcıların kullanılabilirliğini ölçen çalışmalar oldukça azdır.

Heterojen filoda bulunan araçlar sahip oldukları uzunluk, genişlik gibi farklılıklar sebebiyle çeşitli boyutlardadır. Bu boyutlar ise yükleme ve boşaltma işlemlerini doğrudan

etkiler. Leung ve arkadaşları bu durumu ele alarak sınırsız aracı olan heterojen filolu araç rotalama problemine (HARP) tavlama benzetimi algoritmasını kullanarak bir çözüm önermişlerdir. 360 adet Benchmark örneği üzerinde önerdikleri yöntemin etkinliğini doğrulamışlardır (Stephen C. H. Leung, ve ark. 2013).

Toplam yol mesafesi, şoförlerin çalışma saatlerini ve mola sürelerini doğrudan etkiler. Şoförlerin çalışma ve mola süreleri yasal yükümlülüklerle koruma altına alınmıştır. Duygu ve ark. HARP'ı ele alırken sürücülerin mola sürelerini de gözeterek tabu algoritmasına dayanan bir model geliştirmişlerdir. HARP'e zaman penceresi eklendiğinde zaman pencereli heterojen filolu araç rotalama problemine (HZPARP) dönüşür. Bu model ile zaman penceresine uymayan teslimatlarda erken varıştan kaynaklı bekleme maliyetleri ve geç teslimattan kaynaklı hizmet maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Optimizasyondan elde ettikleri çözümleri daha sonra post-optimizasyon bir işlemle daha da geliştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçların başarılı olduğunu ifade etmişlerdir (D. Taş ve ark. 2013).

ARP konulu birçok problemde esas değerlerden biri de müşteriye zamanında teslimat yapabilmektir. Bu teslimat zamanı müşterinin talebine göre sabit bir zaman olabilirken başlangıç ve bitiş aralığı olan zaman penceresi de olabilir. Yumuşak zaman penceresi kısıtlaması içeren durumlarda, müşteri talebi ilgili zaman diliminde karşılanamaz ise cezai durumlarda tolerans sağlanabilirken sıkı zaman pencereli kısıtlaması olan durumlarda cezai bedel ya da teslimatın kabul edilmemesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilir.

Taillard ve arkadaşları, tabu arama algoritması ile homojen filo üzerinde tek depolu bir araç rotalama problemi için yumuşak zaman penceresi kısıtını ele almışlardır. Araç, Zaman penceresinin alt sınırından önce hedef noktasına varırsa boş yere beklemek zorunda kalırken zaman penceresinin üst sınırından sonra hedef noktasına gelirse geç kalmış sayılacaktır. Bu sebeple çalışmada her müşteri için bir ceza katsayısı belirlenir. Ceza katsayısı büyük olan müşteriler için zaman penceresi sıkılaştırılırken ceza katsayısı küçük olan müşteriler için zaman penceresi yumuşar. Lagrange yöntemi ile amaç fonksiyonu bu bağlamda işlevselleştirilmiştir (E. Taillard ve ark. 1997).

Artan müşteri talepleri ve çeşitlenen taşımacılık yöntemleriyle ARP'nin varyasyonları da çoğalmıştır. Tek depolu ARP problemi çok depolu ARP problemine evrilmiştir. Baea ve Moonb elektronik cihazların bakım ve onarımı için kullanılan servis araçlarını konu edinen problemi çözmek için sezgisel bir genetik algoritma önermişlerdir. Karmaşık tamsayı modelini kullandıkları bu yöntem ile nispeten büyük problemlerde uygun çözümler bulabildiklerini belirtmişlerdir (H. Bae, I. Moon,2016).

Doğru koşullarda taşınmayan ve zamanında teslim edilmediğinde bozulan gıda ürünleri için lojistik uygulamalarında dağıtım planının optimal olması gerekir. Tirkolae ve ark. birden fazla depo içeren ZARP için karınca kolonisi sezgisel algoritmasını kullanarak karma tam sayılı doğrusal programlama yöntemiyle bir model önermişlerdir. Önerdikleri model ile teslimatın erken ya da geç olmasından dolayı ortaya çıkan maliyetleri, toplam seyahat süresini, araç kullanım maliyetlerini en aza indirerek müşteri taleplerinin karşılanabilmesini amaçlamışlardır. Küçük, orta ve büyük boyutlarda üç tip rastgele oluşturulmuş problem üzerinde duyarlılık deneyleri yapmışlar ve modelin problemler üzerindeki başarısını ortaya koymuşlardır (E. B. Tirkolae ve ark. 2017).

Michel ve André HARP ile birlikte sürücülerin toplam çalışma süresi ve araçların ortalama hız kısıtlarını ele alarak yay akış değişkenlerine dayanan matematiksel bir model sunmuşlardır. Problemlerinde, her araç gün içinde birden fazla rota izleyebilirken her aracın sadece bir tane sürücüsü vardır kuralını kabul etmişlerdir. Yapısal bir sezgiselle başlangıç çözümü oluşturup ardından tabu algoritmasıyla çözüm uzayında tarama yapmışlardır. Çalışma sonuçlarını değerlendirmek içinse sütun geliştirme yönteminden faydalanmışlardır. Çalışma sonucunda ise nispeten başarılı çözümler elde etmişlerdir (M. P. Seixas, A. B. Mendes, 2013).

Zaman penceresini konu edinen çalışmalar incelendiğinde cezai durumlara odaklanıldığı ya da zaman penceresi içerisinde aracın hedef noktaya varması durumunun ele alındığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada zaman penceresi, zamanında teslimat ve zamanında varış olarak iki kavrama bölünmüştür. Böylece aracın zaman penceresi içerisinde yükünü boşaltma durumu da ortaya konulmuş ve incelenmiştir. Ayrıca, hedef noktada araç yükünü indirirken hacimsel özellikleriyle hedef noktanın rampa kapılarıyla olan uyumu

da ele alınmıştır. Bu iki yaklaşım çalışmanın literatüre kazandırdığı yeniliklerdir. Ayrıca aracın teslimat noktasında yükünü boşaltabilmesi için boş rampa kapısı bulması gerekir. Bu çalışma, aracın hedef noktada zaman penceresi içerisinde boş rampa kapısı bulma olasılığını da ele alır. Bu durumun ele alındığı çalışma örneklerine literatür taramasında karşılaşılmamıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde en kısa yol mesafesi kısıtını esas alarak heterojen filo kullanan ve sıkı zaman penceresi içeren ARP'lerin çok az sayıda ele alındığı görülmüştür. Ancak eklenecek olan kısıtlar genişletilebilir. Zaman penceresinden doğan cezai yükümlülükler, taşınan yüke özgü hava perdesi gibi ekipmanların araçta bulunması zorunluluğu, şoförlerin sayısına göre mola sürelerinin değişmesi ve buna benzer pek çok kısıt ARP'ye eklenebilir. Literatür incelendiğinde bu kısıtların parça parça ele alındığı bir bütün olarak değerlendirilmediği gözlemlenmiştir. Çünkü ARP başlı başına çözümü NP zor olan bir problemken eklenen kısıtlarla birlikte çözümü daha da zorlaştırır. Ancak bütün kısıtlar tam anlamıyla yerine getirilip yaşanabilecek tüm olası durumlar düşünüldüğünde bile problemin bütün kısıtlarla kesin bir optimal çözüme her zaman ulaşması beklenemez. Çünkü gerçek hayattaki müşteri talepleri stokastiktir. Yaşanabilen bir trafik kazası, doğal afetlerden dolayı yolların kapanması, aracın başına gelebilecek bir arızalanma durumu ya da müşterinin çeşitli sebeplerle siparişini iptal etmesi her zaman olası durumlardır. Bu sebeple çalışmamızda problemi çözerken kısıtları bir bütün olarak ele alıp uyum kavramıyla değerlendirdik. Böylece oluşabilecek sürpriz değişimlere karşı hızlıca adapte olabilen bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmayla literatürün zenginleştirilmesi hedeflenirken gerçek lojistik uygulamalarına uygun bir problem çözülmesi amaç edinilmiştir.

2.1 Araç Rotalama Probleminin Tanımı

ARP, merkezi bir depoda bulunan her biri aynı veya farklı tip özelliklere ve kapasitelere sahip olan araç filosunun farklı ya da aynı hedeflere sahip oldukları bilinen belirli müşteri taleplerinin karşılanması problemidir ve müşteri taleplerini karşılarken toplam yol mesafesi ya da toplam yol süresini en küçük seviyeye indirgeyerek merkezi depoya dönüşü için gerekli olan güzergâhların belirlenmesi gerekir. (S. Çetin, C. Gencer, 2010)

ARP, 1959 yılında “Dantzig ve Ramser” tarafından ilk kez tanımlanmıştır. Yazarlar bir benzin deposundan dağıtım yapacak olan araçlar için ARP’yi ele almışlar ve matematiksel modelini ortaya koymuşlardır. (Dantzig ve Ramser, 1959). Sonrasında Clarce ve Wright 1964 yılında ARP problemi için tasarruf algoritmasını önermişlerdir. Yazarlar bu çalışmalarında müşteri talepleri karşılanırken araç kapasitesi aşılmaksızın alınan toplam yol mesafesi, kullanılan araç sayısı gibi maliyetlerin en küçük olmasını amaçlamışlardır. (Clarce ve Wright,1964)

En basit ARP’nin amacı belirli müşteri taleplerini karşılayacak olan araç filosu için en az maliyetli güzergâhı belirlemektir. Bu güzergâhın başlangıç ve bitiş noktası aynı olmalıdır. Her müşteri talebi bir araç ile eşleştirilir ve araç kapasitesinin müşterinin tüm taleplerini karşılayacak seviyede olması gerekir. ARP’de kullanılan en genel farklılık müşteri hedef noktaları için teslimat zaman aralıklarının olmasıdır. Bunun dışında ele alınan farklılıklar da mevcuttur. Bunlar: Kullanılan araç filosunun heterojen olması, araçların aynı güzergâh üzerinde hem mal dağıtımını hem mal toplama işlemi yapması, bazı müşteriler için hedef noktaların aynı zaman dilimi içerisinde birden fazla ziyaret edilmesi, dağıtımların araçlar arasında paylaşılması... (Aydemir, 2006).

2.2 Araç Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri

ARP türlerinde dört temel bileşen vardır. Bunlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

1. Talep Yapısı: ARP’de gerçekleştirilen müşteri talepleri yapısı gereği sabit ya da stokastik olabilir. Sabit talep yapısında müşteri talepleri önceden bilinirken, stokastik durumda ise bazı müşteri noktalarına varıldığında bir sonraki müşteri noktası belirlenir.
2. Taşınan Varlık Cinsi: Taşınan malların türlerine bağlı olarak farklı tipte taşınma ihtiyaçları ortaya çıkar. Örneğin süt, yağ, yakıt gibi sıvı özellikteki malların taşımıcılığı için tanker içeren araçlar kullanılması gerekirken koli içerisinde muhafaza edilmesi gereken bisküvi gibi mallar içinse paletli taşımaya imkan

sağlayan araçlarla taşıma yapılması gerekir. Hammadde tipinde mallar ya da süt, çikolata gibi belirli sıcaklık değerinde taşınması gereken mallar içinde araçların özel ısıtıcılara sahip olması gerekir. Bu sebepler probleme ilave bir karmaşıklık getirirler.

3. Dağıtım/Toplama noktaları: Müşteri noktaları dağıtım genel olarak dağıtım noktası olarak kabul edilirken depo noktaları toplama noktaları olarak kabul edilir. Ancak bir müşteri noktasına dağıtım yapıldıktan sonra o müşteri noktasına toplama noktası gibi de davranılabilir.
4. Filo: Kullanılan araçların eşit kapasitede aynı özellikler aynı ekipmanlara sahip olup olmadıkları tüm durumları ifade eder. Filoda yine ARP'ye ilave bir karmaşıklık getirir ve ARP'yi çeşitlendirir.

2.3. Temel Araç Rotalama Probleminin Matematiksel Modeli

Klasik bir araç rotalama probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (Erol, 2006).

Parametreler:

Q= araç kapasitesi,

N= müşteri veya durak sayısı,

$q_i = i$ ($i > 0$) müşterisinin talep miktarı,

$d_{ij} = i$ müşterisi ile j müşterisi arasındaki uzaklık

Değişkenler;

$i \neq j, i, j \in \{0 \dots N\}$ ve 0 ana depo olmak üzere

$$\begin{cases} x_{ija} = 1, & \text{a nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En az } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{i \neq j, j=0}^N \sum_{a=1}^N d_{ij} X_{ija} \quad (2.1)$$

Kısıtlar:

$$i = 0 \text{ için } \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^N X_{ija} = A \quad (2.2)$$

$$i \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{a=1}^A \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ija} = 1 \quad (2.3)$$

$$j \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{a=1}^A \sum_{i=0, i \neq j}^N X_{ija} = 1 \quad (2.4)$$

$$a \in \{1, \dots, A\} \text{ için } \sum_{i=1}^N X_{i0a} \leq 1 \quad (2.5)$$

$$a \in \{1, \dots, A\} \text{ için } \sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, i \neq j}^N X_{ija} \leq Q \quad (2.6)$$

Amaç fonksiyonu (2.1) toplam kat edilen mesafenin en az olması gerektiğini ifade etmektedir. (2.2) nolu denklemde merkez depo noktasından çıkan toplam araç sayısının A adet olduğunu, (2.3) ve (2.4) nolu kısıtlar ise, bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi gerektiğini anlatmaktadır. Bu kısıtlar aynı zamanda müşteriye gelen yollardan sadece bir tanesinin kullanılması şartını ve müşteri noktasına uğrayan aracın yine o müşteri noktasından hareket etmesini yani ayrılması gerektiği kuralını belirtmektedir. (2.5) nolu kısıt, bir aracın merkez depo noktasından yalnızca bir kez ayrılabilceğini dolayısıyla bir aracın yalnızca bir defa kullanılabileceğini ifade eder. (2.6) nolu kısıt ise araçlara yapılan yüklemelerin araç kapasite değerini geçmemesi gerektiğini belirtmektedir. (Kurt, M.2008)

2.4 Araç Rotalama Problemlerinin Türleri

2.4.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (KKARP)

Araç rotalama problem türleri içerisindeki en temel problem türüdür. Müşteri talepleri önceden belirlidir ve araçlar müşteri taleplerini bölmeden karşılar. Kullanılan araç filosundaki bütün araçların eşit kapasitede (homojen-filo) olduğu kabul edilir. Araçlar merkez bir depo noktasından yola çıkarak müşteri noktalarına uğrarlar ve sonrasında merkez depo noktasına dönerler. Araçların kapasiteleri sabit olduğu için aracın müşterisinin toplam talebi, aracın kapasitesinden daha fazla olamaz. Amaç fonksiyonu, toplam yol maliyeti (zaman veya maliyet) en küçük olan rotayı belirler. (Takan, M.A. 2019)

2.4.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi (MKARP)

MARP türünde, probleme katılan her araç için alınacak toplam yol mesafesi belirlidir. Lojistik sektöründe taşınan malların hammadde ya da tehlikeli tipte olması, sürücünün

belirli bir süreden sonra mola vermesi gerekmesi gibi sebeplerden dolayı bu ARP çeşidi kullanılır (Dursun, 2009).

2.4.2. Heterojen filolu araç rotalama problemi (HARP)

Araçlardan gerek müşteri taleplerinin özelleşmesinden gerekse taşınan malzemenin cinsinden dolayı hava perdesi, ısıtıcı gibi farklı ekipmanlara sahip olması beklenir. Dolayısıyla taşımacılık sektörünün gerçek hayattaki uygulamalarında filonun her zaman homojen olması mümkün değildir. KKARP'nin tersine HARP'te müşteri talepleri farklı kapasiteye sahip farklı tip ve özelliklere sahip araçlarla karşılanır.

İlk olarak Golden ve arkadaşları tarafından ele alınan HARP'ın çözümü zor olduğu için bu ARP türünün çözümüne yönelik çalışmalar genel olarak metasezgisel yaklaşımlarla yapılmıştır. Problem sınırlı sayıda ve sınırsız sayıda farklı kapasitede araçlar içermesine göre iki kategoriye ayrılır. Bunlar:

- Sınırsız sayıda araçtan oluşan heterojen filolu araç rotalama problemi: Bu ARP türünde sınır sayıda araç bulunmaktadır ve bu araçların birbirinden farklı tip, kapasite ve özelliklerde olduğu kabul edilir (Golden,1984).
- Sınırlı sayıda araçtan oluşan heterojen filolu araç rotalama problemi: Taillard tarafından ele alınan bu ARP türünde araç sayısı sınırlıdır (Taillard,1999).

2.4.3. Zaman pencereci araç rotalama problemi (ZPARP)

ZARP günlük yaşamda en sık karşılaştığımız ARP türüdür. Her müşterinin hizmet almak istediği belirli zaman pencereleri vardır ve aracın bu zaman diliminde müşteriye ulaşması ve teslimatını yapması beklenir. Bu işlem, müşterinin belirlediği zaman penceresi içerisinde başlamalı ve bitmelidir. Eğer araç müşteri noktasına, belirlenen zaman penceresinin başlangıcından önce varmışsa zaman penceresi başlangıç anına kadar beklemelidir. Kentsel atıkların toplanması, gıda zincir lojistiği, tehlikeli atıkların taşımacılığı, belirli zaman aralıklarında yapılan okul servisi gibi hizmetler, gazete

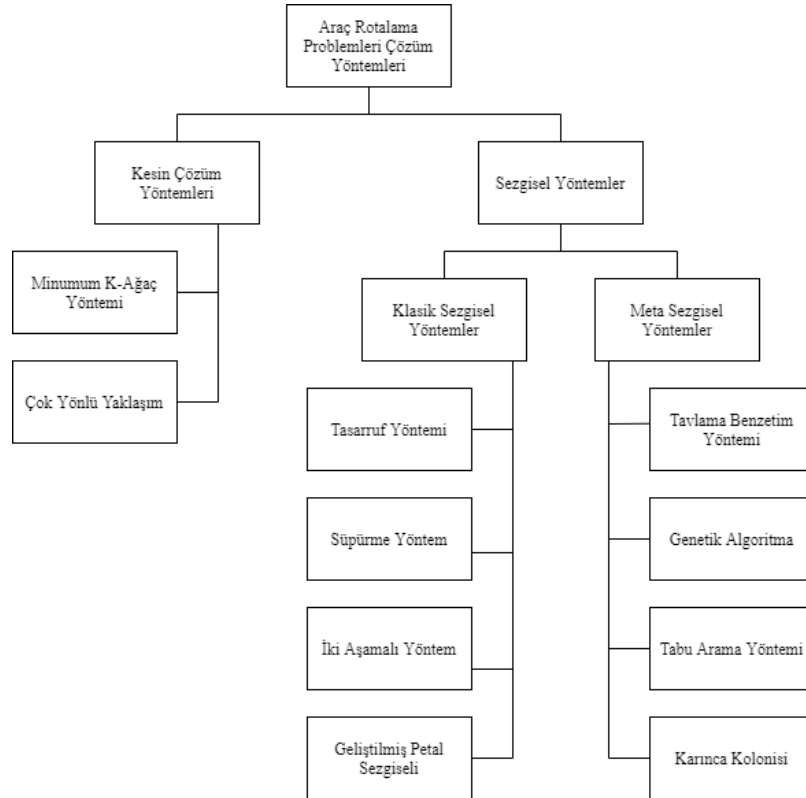
dağıtımı, banka teslimatları birer ZARP örneğidir (Atasagun, 2015). ZARP, zaman penceresinin uygulanması kuralına göre ikiye ayrılır.

Sıkı Zaman Pencere AR (SZPARP): araç müşterinin belirlediği zaman penceresi içinde müşteri noktasına varmalı ve teslimatını gerçekleştirmelidir. Eğer zaman penceresinden önce müşteri noktasına varmışsa beklemek zorundadır. Zaman penceresi dışındaki bir anda müşteriye teslimat yapamaz.

Esnek Zaman Pencere AR (EZPARP): Araç zaman penceresi dışındaki bir anda müşteriye teslimat yapabilir ancak bu durumun cezai sonuçları olabilir.

2.5 Araç Rotalama Problemlerinin Çözüm Yöntemleri

ARP, NP zor problem sınıfına girmektedir. Literatürde, bu problem türünü çözmek için tanımlı pek çok yöntem tanımlanmıştır. Bu yöntemler, şekil 2.1’de gösterildiği gibi kesin yöntemler ve sezgisel yöntemler olarak iki kategoriye ayrılır. Problem çözümünde en kısa sürede en verimli sonuçları üretecek olan çözümler tercih edilme sebebidir.



Şekil 2.1. Araç rotalama problemi çözüm yöntemleri (Ekizler. H. 2011)

2.5.1 Sezgisel yöntemler

a) Klasik sezgisel yöntemler

Klasik sezgisel çözüm algoritmaları Lawler vd. (1985) tarafından üç grupta incelenmiştir.

Bunlar:

1. Tur kurucu yöntemler
2. İki aşamalı yöntemler
3. İyileştirici yöntemler

Tur kurucu yöntemler, uygun olmayan eşleşmelerle çözüme başlar ve her turda noktaları kısıt uygunluklarını kontrol ederek birleştirir ve uygun çözüme ulaşmaya çalışırlar. Tur kurucu sezgiseller arasında en çok tercih edilen yöntem tasarruf yöntemidir. Tasarruf yöntemi, Dantzing ve Ramser (1957)'in çalışmalarından yola çıkan Clark ve Wright (1964) tarafından geliştirilmiştir.

İki aşamalı yöntem, Christofides ve ark. (1979) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Genel olarak önce grupla sonra rotala türündeki yaklaşımlara örnektir. Gillet ve Miller (1974) tarafından önerilen süpürme yöntemi ve Renaud ve ark. (1996) tarafından önerilen petal yöntemi klasik sezgisel yöntemlerdir. (Tüfekçier,2008)

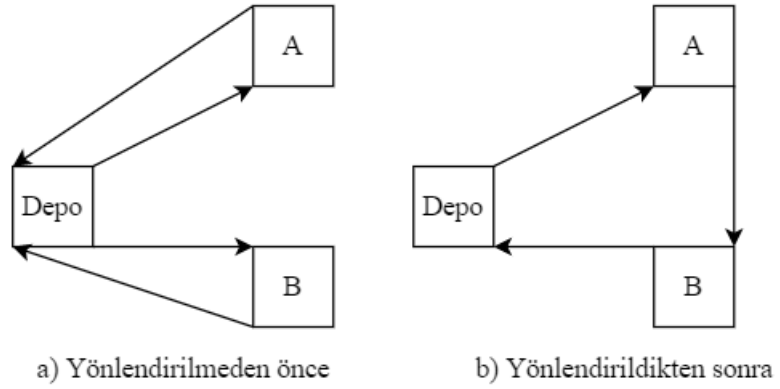
Literatürde tanımlı pek çok metasegzisel çözüm yöntem vardır. Ancak çözümü kısa sürede verebilmesi ya da uygulamasındaki kolaylıklar gibi sebeplerle bazı metasegziseller daha sık kullanılmakta, daha çok öne çıkmaktadır. Bunlar: Genetik Algoritma, Tavlama Benzetim Algoritması, Yapay Sinir Ağları ve Tabu Aramadır (Aarts ve Lenstra, 1997).

Tasarruf yöntemi

Tasarruf algoritması Clark ve Wright (1964) tarafından ileri sürülmüştür. Bu yöntemde yinelemeli olarak her bir adımda kümeler, daha da iyileştirilmek için değiştirilir. Dolayısıyla tasarruf yöntemi bir değişim yöntemidir. Araç sayısının değişken olduğu kabul edilen problemlerde tasarruf algoritması kullanılır böylelikle en tasarruflu rota belirlenirken aynı zamanda en verimli araç sayısı da belirlenebilir. Tasarruf algoritması

iki çeşittir. Bunlar: Paralel tasarruf algoritması ve sıralı tasarruf algoritmasıdır (Yazgan ve ark. 2014).

Şekil 2.2’de tasarruf algoritmasının genel tanımı verilmiştir. Bu genelde tanımda da gösterildiği gibi problem çözümü için merkez bir depo noktası olduğu varsayılır. Tüm hedef noktalara depo noktasından erişildiği kabul edilir ve her bir alt için tasarruflar belirlenir. Sonraki adımda en büyük tasarrufu üretecek şekilde her bir alt tur sırasıyla birleştirilir ve tam bir alt tur elde edilir.



Şekil 2.2. Tasarruf algoritması tanımlaması

Tasarruf algoritmasının temel adımları:

1. Her bir hedef nokta ikilisi için tasarruf hesaplaması yapılır ve t_{ij} büyükten küçüğe sıralanır.

$$t_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij} \quad (2.7)$$

2. Paralel tasarruf algoritmasında belirli bir kural gözetilerek birleştirilir. Sıralanan müşteri çiftleri arka arkaya geliyorsa doğrudan birleştirilir. Örneğin, tasarruf değerlerine göre sıralandıklarında a-b müşteri çiftinin ardından b-c müşteri çifti geliyorsa doğrudan birleştirilir ve a-b-c rotası oluşturulur. Eğer müşteri çiftleri arka arkaya gelmiyorsa, bu müşteri çiftleri için ayrı rotalar oluşturulur ve daha önce oluşturulan rotaların tasarruf değerleriyle kıyaslanır eğer tasarruf değeri daha uygunsa rotaya eklenir. Bu şekilde birden fazla rota oluşturulur ve paralel şekilde ekleme yapılabilir.

3. Sıralı tasarruf algoritmasında ise bir rota tamamen bitene dek bütün müşteri çiftleri araştırılır. Örneğin, a-b müşteri çifti kısıtlar gözetilerek b-c müşteri çifti ile birleştirilir ve a-b-c rotası oluşturulur. Bu rota için diğer müşteri çiftleri sırasıyla kıyaslanır ve eğer kısıtlara uygun başka bir müşteri çifti varsa rotaya eklenir.

Tasarruf algoritmasında, yöntemler kıyaslandığında paralel yöntemin sıralı yöntemle göre nispeten daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Çünkü sıralı yöntemde sıralı olan t_{ij} tasarruf değerleri gözetilerek sadece bir tane rota oluşturulur ancak paralel yöntemde sıralı t_{ij} değerleri gözetilerek mevcut müşteri çiftinin birden fazla rotayla olan tasarruf uyumu değerlendirilir. Böylece daha fazla alternatif ele alınır (Erol, 2006).

Süpürme yöntemi

Süpürme yöntem, Gillet ve Miller (1974) tarafından ileri sürülmüştür. Araç doluluk oranlarını gözeterek hiçbir müşteri boşta kalmayacak şekilde problemi çözümleyebilmek amacıyla kullanılan iki aşamalı bir yöntemdir. Bu çözüm yönteminde her bir nokta polar koordinatlara sahiptir. Koordinat noktaları: $i=1, \dots, n$ için x_i, y_i olarak tanımlanırken depo noktası $x_0=0$ ve $y_0=0$ olarak belirtilir. Koordinat noktası x_i esas alınarak artan sırayla dizilir.

Süpürme Yönteminin Temel Adımları:

1. Rotalama işlemine katılmamış olan k . araç seçilir.
2. k . aracın kapasitesi dolana dek, en küçük açığa sahip olan noktalar sırasıyla araca atanır. k . Aracın rotası tamamlanıncaya dek nokta-arac atama işlemine devam edilir.
3. Her aracın rotası GSP yöntemlerinden biri kullanılarak en küçük maliyete sahip olacak şekilde optimize edilir.

İki Aşamalı Yöntem

Bu yöntem, KKARP'leri çözmek için kullanılmaktadır.

İki Aşamalı Yöntemin Temel Adımları-Aşama 1:

1. Başlangıç değeri k için 1 alınır.

- Hiçbir rotaya dahil edilmeyen müşteriler (m) arasından seçim yapılır ve k aracı için R rotası oluşturulur. Bütün rotaya dahil edilmeyen müşteriler için ($i \neq m$) f_i aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f_i = c_{0i} + p c_{im} \quad p \geq 1$$

- $f_{i^*} = \min(f_i)$ olan değer belirlenir ve k aracının R_k rotasına eklenir. R_k rotasına başka bir m müşterisi eklenemeyecek duruma gelenek kadar r-Opt kullanılarak optimizasyon işlemi uygulanır.
- k değeri 1 artırılır ($k = k + 1$) ve bir rotaya katılmamış olan müşteri kalmayana kadar 2'inci adım ve 3'üncü adım sırasıyla uygulanmaya devam edilir.

İki Aşamalı Yöntemin Temel Adımlar-Aşama 2:

- R kümesi $(0, m_r, 0)$ birinci aşamadan elde edilen rota kümesi olmak üzere h bu rota kümesinin eleman sayısıdır ve bu kümeden seçilen m_r için eşleşme kümesi (R_1, R_2, \dots, R_h) belirlenir.
- R kümesinde yer alıp rotaya katılmayan her bir j noktası için minimum ϵ_{rj} hesaplanır.

$$\epsilon_{rj} = c_{0jr} + \mu c_{jir} - c_{0ir}, \quad \min(\epsilon_{rj}) = \epsilon_{r^*j} \quad \mu \geq 1 \quad (2.8)$$
- $R_r \in K$ seçilir ve $K = K \setminus R_r$ olarak eşleştirilir. Kümede yer alan her j değeri için f_j değeri hesaplanır.

$$\epsilon_{r^*j} = \min(R_r \epsilon_{rj}), \quad f_j = \epsilon_{r^*j} - \epsilon_{rj} \quad (2.9)$$
- $f_{j^*} = \max(f_j)$ yapan j değeri belirlenir ve R kümesine eklenir. Ardından r-Opt yöntemi kullanılarak R kümesine optimizasyon işlemi uygulanır. Başka kenar kalmayınca değin 3'üncü adım uygulanır.
- $K \neq \emptyset$ ise, 2'inci adıma geri dönülür. Bütün kenarlar güzergâha eklenmişse aşama sonlandırılır. Diğer durumlarda ise 1'inci aşamada bulunan 2'inci adıma geri dönülür (Düzakın ve Demircioğlu, 2014).

Geliştirilmiş petal sezgiseli

Foster ve Ryan (1976) tarafından önerilen tur oluşturma işlemine dayanan petal sezgiseli yöntemi, Ryan ve arkadaşları tarafından 1993 tarafından geliştirilmiştir ve 1996 yılında literatüre kazandırılmıştır (Renaud ve diğerleri, 1996). Petal yöntemiyle turlar oluşturulurken sütun yenileme yöntemiyle optimal seçimler yapılır. Bu sezgisel yaklaşımla kısa sürede optimal çözüm bulunabilir. Başlangıç turu oluştururken 1-petal

sezgiseli kullanılıyorsa bir tane nokta seçilir, eğer 2-petal sezgiseli kullanılıyorsa birbirine uzaklığı en fazla olan iki nokta seçilir. Güzergahlar ise 4-opt yöntemi kullanılarak optimize edilir (Keskintürk, T. ve ark. 2015).

Geliştirilmiş petal sezgiseli adımları:

1. Merkez depo noktasına olan kutupsal açı pozisyonlarına göre artan sırada olacak şekilde bütün noktalar listelenirler.
2. $i > n$ olana dek $i=i+1$
3. $S = \{v_i\}$ olmak üzere $c = 2c_{0i}$ maliyeti hesaplanır. $j = i + 1$ ve $S = \{v_i, v_j\}$ olarak belirlenir. Eğer rota maliyeti kabul edilebilir ise 4'üncü adıma gidilir kabul edilebilir değilse S kümesi ve c değeri güncellenir.
4. $j = j + 1$ ve $S = \{v_i, v_j\}$ olarak belirlenir. Eğer $q_k > Q_{jk=i}$ ise 5'inci adıma gidilir. Ters durumda S kümesi üzerinde 1-petal sezgiseli uygulanır. Eğer kabul edilebilir bir maliyet tanımlanamamış ise 5'inci adıma gidilir. Ters durumda S çözümünü ve c maliyeti kaydedilir ve bu adım tekrar edilir.
5. Eğer $\sum_{k=i}^j qk > 2Q$ ise 6'ncı adıma geçilir. Eğer $\sum_{k=i}^j qk \leq 2Q$ ise 2-petal sezgiseli uygulanır. Üretilen çözümlerden uygun olan çözümün maliyeti (c) hesaplanır ve S kümesine eklenir. Ancak uygun bir çözüm bulunamazsa 6'ncı adıma geçilir. j değeri bir artırılır.
6. Eğer $j = 2$ ise 2'inci adıma geri dönülür. Ters durumda S kümesinde bulunan son nokta (h)'nın c 'deki maliyeti(c_h) belirlenir. Eğer $c_{h-1} \leq c_h$ ise, v_h S kümesinden çıkarılır ve 2'inci adıma geri dönülür.

L , 1-petal ve 2-petal çözüm kümesidir.

c_l l kümesinin rota maliyetidir.

Eğer v_l l rotasına aitse $a_{kl}=1$

Amaç Fonksiyonu : $Min(Z) = \sum_{l \in L} c_l x_l$

Kısıtlar :

$$\sum_{l \in L} a_{kl} x_l = 1, x_l \in \{0,1\} \quad k \in (1,2,3,\dots,N) \quad (2.10)$$

Bu sezgiselle elde edilen çözümlerde çakışan turlar olabilir. Bu çakışan haldeki turları düzeltmek için yukarıdaki formülasyondan faydalanılır (Düzakın ve Demircioğlu, 2014).

b) Meta sezgisel yöntemler

ARP problemlerinin çözümünde en sık kullanılan metasezgisel yöntemler şunlardır: Tavlama Benzetimidir (TB), Genetik Algoritma (GA), Tabu Arama (TA), Yapay Sinir Ağları (YSA).

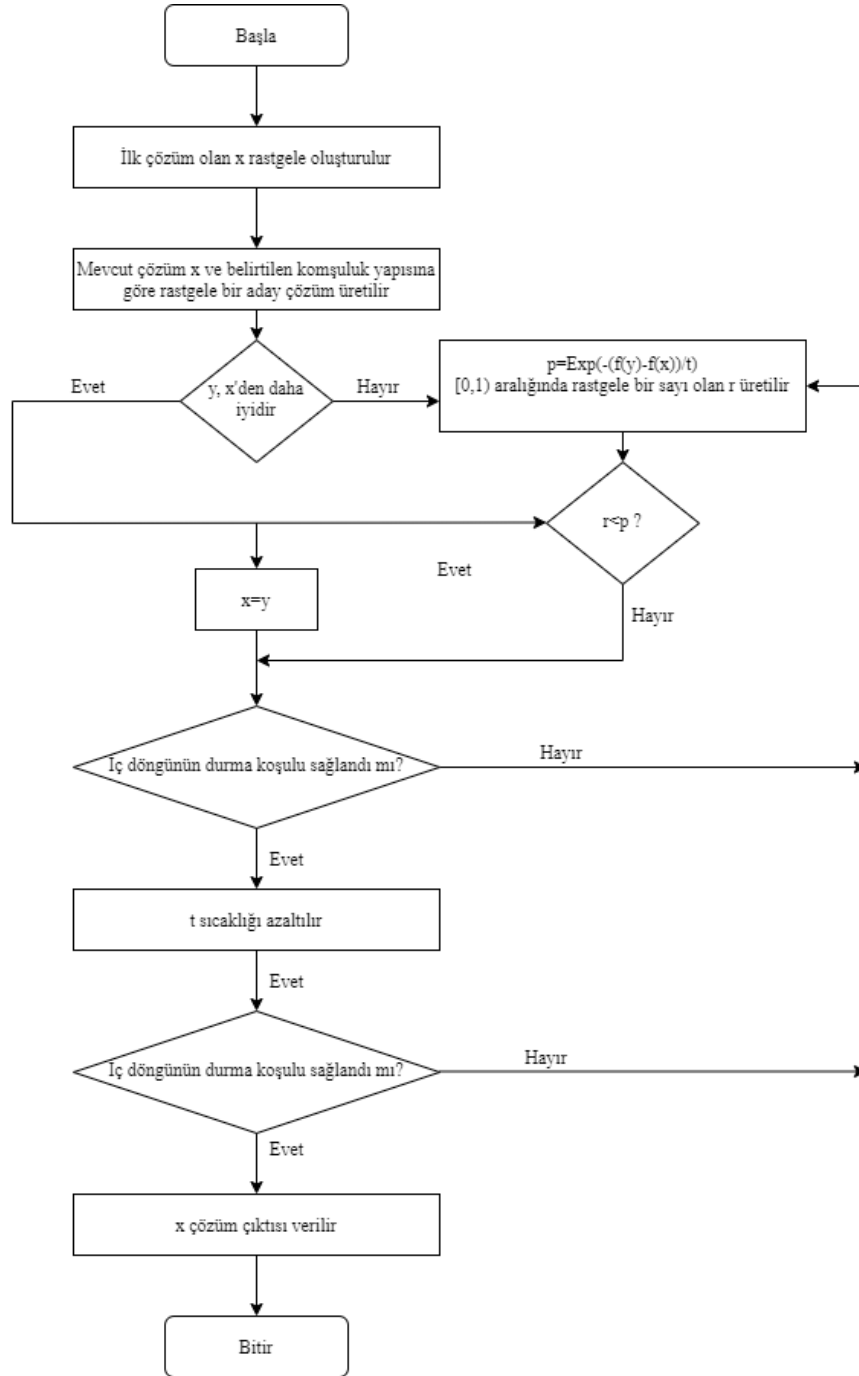
Yapay sinir ağları: Canlılardaki sinir hücrelerinden esinlenerek oluşturulan yapay sinir ağları insan beyninin öğrenme sürecini taklit eder. Birçok sinir hücresi bir araya gelerek daha karmaşık bir yapıyı oluşturur. Bu hücre setler, bir girdi kümesi ile eğitilir ve eğitim kümesinde olmayan girdiler içinde sonuçlar üretir.

Karıncı kolonisi yöntemi: Böcek davranışlarından esinlenerek oluşturulan Karıncı Kolonisi Algoritması (KKA) Dorigo ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. GSP ve kuadratik atama problemi (QAP) gibi zor optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Karıncalar, görme yetilerini kullanmadan yuvalarına giden en kısa yolu bulabilirler ve dış etkenler yüzünden değişim yaşandığında yuvalarını kısa yoldan bulabilmek için ortama kolay adapte olabilirler. Kullandıkları yola feromon maddesi bırakırlar. Bir yol ne kadar sık kullanılıyorsa feromon miktarı da o kadar fazladır. KKA bu yöntemi nümerik değerlerle kullanarak problemi çözmeye çalışır.

Tavlama benzetim algoritması: Adını demir ısıtmak anlamına gelen tavlama kelimesinden alan Tavlama Benzetimi Algoritması (TBA) algoritması Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından (1983) önerilmiştir. Alfa ve ark. (1991), Osman (1993) ve Breedam (1995) tarafından önerilen üç yöntemdir. 1991 yılında Alfa ve ark. önerdiği TB yöntemi, küçük ve orta boyuttaki problemler için çok iyi sonuçlar vermemiştir (Aarts ve Lenstra, 1997).

Algoritmanın amacı, bir problemin maliyet değerini iyileştirmektir. Bunu yapmak için çözüm uzayında sıçramalar yapar. Yerel minimum ya da yerel maksimum maliyet değerlerine takılı kalmamak için sıcaklık parametresini kullanır ve olası kötü çözümleri de kabul eder. Böylelikle olası kötü bir çözümden daha iyi bir çözüme geçiş imkânı olur.

Tıpkı demir tavlama işleminde olduğu gibi, algoritmada yüksek bir sıcaklık parametresinden başlayarak olası çözümler üretilir. Şekil 2.3'teki akış şemasında da gösterildiği gibi bu sıcaklık değerini her bir iterasyonda bir SAO kullanarak ya da özel tanımlanmış bir fonksiyon yardımıyla azaltılır ve sıcaklık değerine bağlı olan rastgele nümerik bir sayısal değer üretilir. Bu rastgele değere göre üretilen çözüm kabul edilir ya da edilmez.



Şekil 2.3. Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Şeması (S. Zhan ve ark.2016)

Tavlama işleminde amaç, yüksek sıcaklık değerini indirgeyerek komşu çözümler arasında dolaşmak ve en iyi çözüme ulaşmaktır. Eğer yüksek bir sıcaklık değerinden başlanırsa araştırılan çözüm uzayı genişleyecektir. Ancak sıcaklık parametresi hızlı bir şekilde indirgenirse de araştırılan komşu çözüm sayısı azalacaktır.

Genetik algoritma: Yapay zekanın bir kolu olan genetik algoritmanın temelleri 1970’li yıllarda John Holland tarafından Darwin’in doğal seçilim teorisinden esinlenerek ortaya atılmıştır. Mevcut çözümler üzerinde çaprazlama ve mutasyon işlemleri yapılarak yeni ve optimal çözümler üretilmeye çalışılır. GA, küresel aramada etkin bir yöntemdir ve ARP çeşitlerinin çözümünde en sık kullanılan metasezgisel yöntemdir (Baker ve Ayechev, 2003). GA’nın işleyişi için bazı kavramlardan faydalanılır. Bunlar: Gen, kromozom, popülasyon, mutasyon, çaprazlama.

Gen: Canlının özelliklerini taşıyan en küçük yapı birimidir.

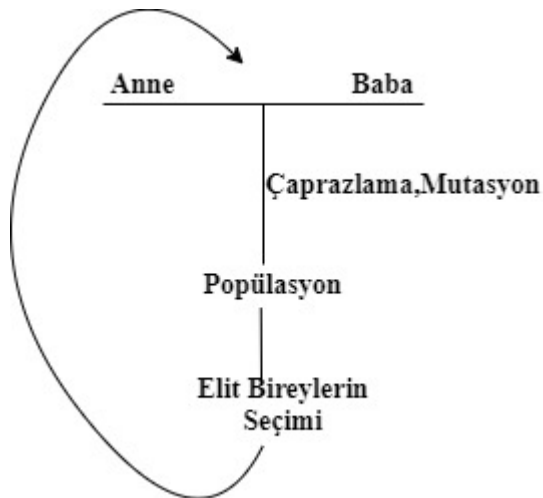
Kromozom: Genlerin bir araya gelmesiyle oluşan bireyi ifade eden yapılardır.

Popülasyon: Kromozomların bir araya gelmesiyle oluşur.

Skor Değeri: Amaç fonksiyonunu değeridir, çözümün kalitesini belirtir. Her bireyin bir skor değeri vardır. Bu skor değeri kullanılarak popülasyon içerisindeki elit bireyler belirlenir.

Çaprazlama: Kromozomlar üzerinde belirli bir kurala göre ya da rastgele yapılan gen değişim işlemidir.

Mutasyon: Kromozomlar üzerinde rastgele şekilde yapılan ani gen değişimidir.



Şekil 2.4. Genetik Algoritma Şeması

GA, canlıların yeni ortam koşullarına uyum sağlamasını örnek alan evrim esaslı bir yaklaşımdır. Bu sebeple de Şekil 2.4'te verilen şemada da gösterildiği gibi mevcut çözümler, ileri döngü adımlarında çözüm oluşturmak için temel olarak kullanılır. Her döngü adımında amaç fonksiyonunun değerini optimale yaklaştıran çözümler anne ve baba olarak seçilir ve bu çözümler yeni popülasyonun üretilmesi için kullanılır. Bu süreç durdurma şartı sağlanana kadar devam eder. (Blum ve Roli, 2003). Oluşturulan popülasyonda bireyler, başlangıçta birbirinden oldukça farklıdır. Ancak her iterasyonda elit bireylerin seçilip, sonraki popülasyonların oluşturulmasında kullanılmasıyla bireyler arasındaki benzerlikler azalır ve amaç fonksiyonunun skor değerleri yakınsamaya başlar. (Preux ve Talbi, 1999). Bu noktada oluşan bu tekdüzelikten kurtulmak ve çözüm uzayında sıçramalar yapabilmek için mutasyon işlemi uygulanır.

Tabu arama yöntemi: F.Glover tarafından geliştirilen Tabu Arama Algoritması (TAA) algoritması döngüye dayalı bir araştırma algoritmasıdır. Algoritma, her döngüde, problemin maliyetini en iyi yapan çözümü kabul ederek çözüm uzayını tarar. Bu tarama işlemini yaparken, aynı çözümlere tekrar dönüş olmaması için yapılan hareketlerin listesi tutulur. Bu liste literatürde tabu listesi olarak adlandırılır. Tabu listesinden eleman çıkarılması tabu yıkma işlemidir. Tabu listesi dolduğunda ya da özel kısıtlarla liste üzerinde tabu yıkma işlemi uygulanır. Tabu yıkma işlemi uygulanırken tabu listesinin ne kadar eleman tutabildiği bilgisi önemlidir. Optimal sonucun bulunma hızını ve bulunabilme ihtimalini önemli derecede etkileyebilir. Yapılan deneylerde görülmüştür ki problem boyutu ile tabu listesinin eleman tutma kapasitesinin artması gerekmektedir.

2.5.2 Kesin yöntemler

Dal-Sınır Algoritması: Land ve Doig tarafından 1960'larda önerilen algoritma, ARP'nin çözümünde en etkili yöntemlerden biri olarak kabul görmüştür. Ancak sonraları yerini daha kesin sonuçlar üreten, daha ileri bir kesin çözüm yöntemi olarak kabul gören Lagrangian ayrıştırması gibi yöntemlere bırakmıştır (Barnhart, C., Laporte, G.,2007). Tam sayılı doğrusal programlama modellerini çözümlmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem ile problemler böl ve yönet yaklaşımı kullanılarak dal adı verilen alt parçalara

bölünür. Dalların amaç fonksiyonu değerlerini alt ve üst sınırlarla kontrol ederek dalın çözülmeye değer olup olmadığına karar verilir. En iyi çözüme ulaştırmayacak olan dallar elenir (Başkaya, Z. ve Öztürk, B.A. (2005).

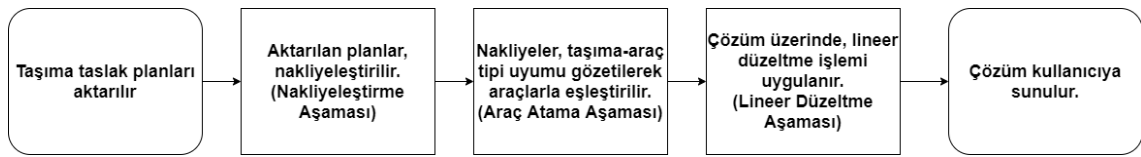
Kesme Düzlemi Yöntemi: 1950 yılında Ralph Edward Gomory tarafından önerilmiştir. Dal sınır algoritmasının alternatifidir. Alt ve üst sınırlar kullanılarak en iyi çözüm araştırılır ancak bunu yaparken kesme adı verilen özel kısıtlarla çözüm uzayı daraltılır (Takan, A. M. 2019).

Dinamik Programlama Yöntemi: Dinamik programlama, yinelemeli adımlardan oluşur ve problemi aşamalar halinde çözer. Başka matematiksel yaklaşımlarda da en iyi çözüme aşamalar halinde ilerlenir ancak buradaki aşama kavramı yineleme değil döngüye dayanma durumudur. Örneğin, doğrusal programlamada en iyi çözüme ulaşmak için döngü kullanımından yararlanır. Dinamik programlamada ise her aşama kendisinden bir önceki aşama ile ilişkilidir. Bir aşama kendisinden sonraki aşamanın girdi parametresidir. Dinamik programlamanın etkin yönü çok büyük problemlerde verimli hesaplama yapılmasını sağlaması ve zaman kavramını da gözetmesidir. Ancak bütün problemler için ortak kullanılacak bir modeli yoktur bu sebeple her problem kendi modeliyle ifade edilmelidir. En büyük dezavantajı bütün problemler için uygun gelen bir modelin ifade edilememesidir (Patir, S.2009).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez kapsamında ele alınan problemde, araç ve taşıma bilgileri problemin materyalleridir. Bu materyal bilgileri bir lojistik firmasından alınmıştır. Nokta bilgileri Ek'1 de verildiği gibi enlem ve boylam bilgilerinden oluşmaktadır. Bu enlem ve boylam bilgileri çözüm aşamasında kolaylık sağlaması için numaralandırılmışlardır. Ayrıca Ek 2'de araç tipleri, sayıları ve araçların taşıyabilecekleri taşıma tipleri de sunulmuştur.

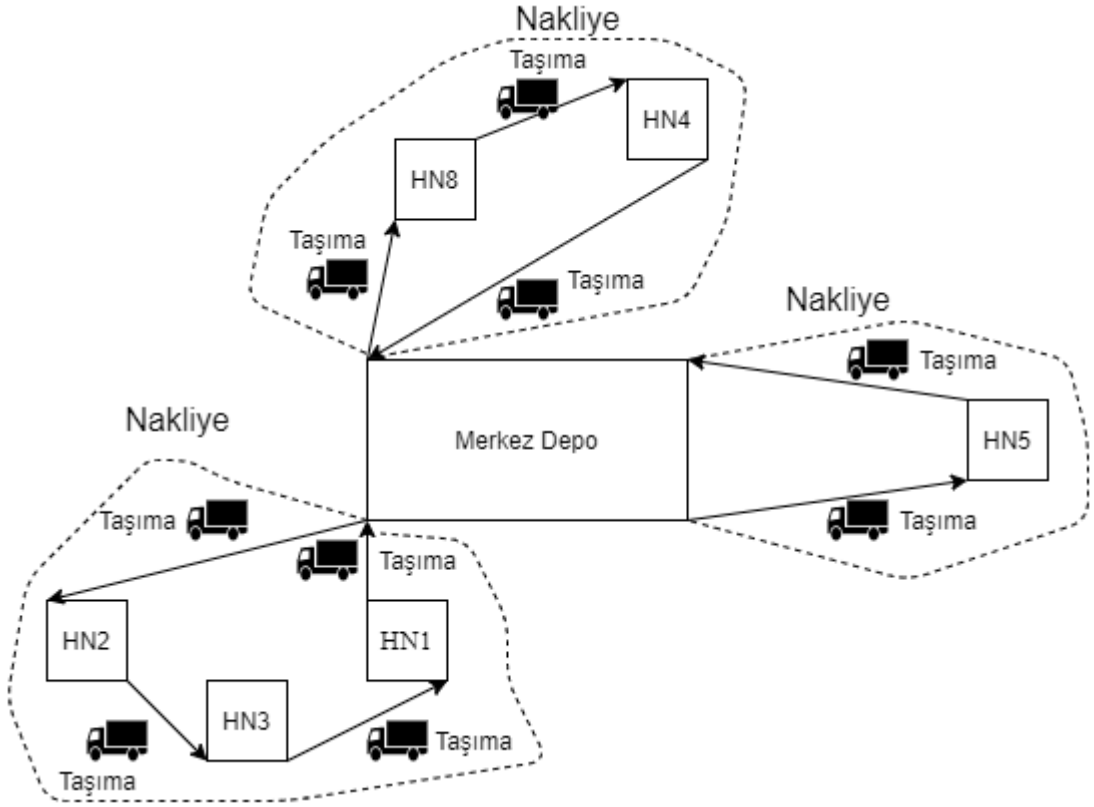
Ele alınan problemi çözmek için Şekil 3.1'de gösterildiği gibi üç aşamalı bir yöntem önerilmiştir. Birinci aşamada sadece mesafe kısıtı dikkate alınarak müşteri talepleri en kısa yol maliyetine sahip olacak şekilde güzergâhlara ayrılır. Bu aşama nakliyeleştirme aşaması olarak isimlendirilmiştir ve her çözüm araştırılmasında uygulanmaz. Sadece taşıma planlarına ekleme ya da çıkarma yapıldığı durumlarda uygulanır. Böylece çözüm süresinin kısılması hedeflenmiştir. İkinci aşamada ise birinci aşamada oluşturulan nakliyeler, problemde ele alınan diğer kısıtlar dikkate alınarak araçlarla eşleştirilir. Bu aşama araç atama olarak isimlendirilmiştir. Araçların değişen konumları, problemin ele aldığı kısıtları doğrudan etkileyebilmektedir. Bundan ötürü, araç atama aşaması her çözüm araştırma sürecinde tekrarlanarak hesaplanır. Üçüncü aşamamızda lineer düzeltme aşamasıdır. İkinci aşamada elde edilen çözüm üzerinde 20 döngü yapılarak lineer düzeltmeler uygulanır ve olası daha iyi bir çözümün araştırması yapılır.



Şekil 3.1. Çözüm Arama Aşamaları

3.1 Problem Tanımı

Bu çalışmada ele alınan problem temel anlamda, farklı tipte araçların en kısa yol mesafesini kullanarak merkez depodan dağıtım noktalarına mal teslimatı yapmasını konu alır. Bu temel tanımdan da anlaşıldığı üzere ele alınan problem merkez kabul edilen bir depodan m tane araç içeren heterojen filoyla yapılan zaman pencereli araç rotalama problemidir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Problem Girdilerinin Tanımlaması

Problem kurallardan ve uyum değeri olan kavramlardan oluşur. Bu bölümde problemde yer alan kısıtlar ve kavramlar hakkında bilgiler sunulacaktır.

Problemde Yer alan Kısıtlar

1. Her müşteri talebi, uygun ekipman ve özelliklere sahip araçlar kullanılarak karşılanmalıdır.
2. Her müşteri talebi sadece bir tane araç kullanılarak karşılanır.
3. Her araç, hedef teslimat noktasına giderken en kısa rotayı kullanmalıdır.
4. Araçlar yalnızca merkez depo noktasından yük teslim alırlar.
5. Araçlar merkez depodan hareket eder ve her bir teslimat noktasına yalnızca bir kez uğradıktan sonra yine merkez depo noktasına dönüş yapar.
6. Araçlar, belirlenen zaman penceresi içerisinde müşteri taleplerini teslim etmelidir.
7. Müşteri talepleri bölünemez.

Problem İçerisinde Yer Alan Kavramlar

Problem çözümünde uyum araştırması yapılan bu kavramlar problem için üretilen çözümün kalitesini belirtir.

Mesafe Uyumu (MU): Araçların sahip olduğu kilometre sabitidir. Araçların kullanım durumunu ifade eder.

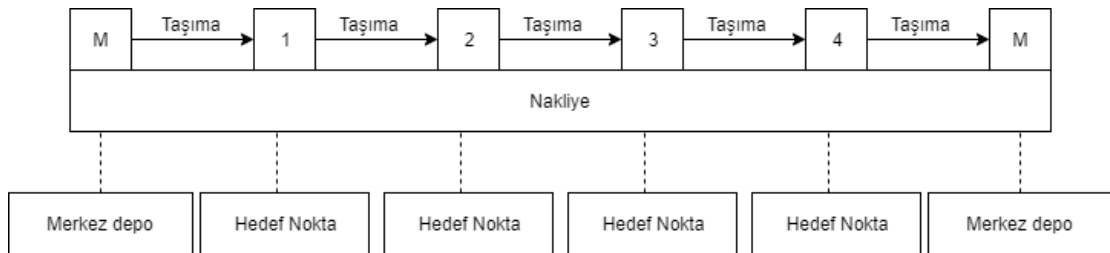
Verimlilik Derecesi (VU): Aracın üzerinde yük varken geçirdiği toplam zaman süresidir.

Rampa Uyumu (RU): Teslimat noktasına aynı anda birden fazla araç gönderilmesi yük indirme işlemini engeller. Teslimat noktasında aynı anda kullanılan yani çakışan rampa kapısı sayısını ifade eder. Rampa uyumu ne kadar düşükse çözüm kalitesi o kadar yüksektir.

Zamanında Varış Uyumu (ZVU): Aracın, yükünü teslimat noktasına zaman penceresi içerisinde indirmesini belirtir.

3.2 Kullanılan Modellemeler

Problem çözümünün daha anlaşılır ve kolay yapılabilmesi için problem girdileri üzerinde bazı modellemeler yapılmıştır. Şekil 3.3'te gösterilen bu modellemeler şunlardır: Nakliye, taşıma, hedef nokta, merkez depo noktası, sanal araç, gerçek araç.



Şekil 3.3. Taşıma Nakliye İlişkisi Tanımlaması

Kaynak Nokta (KN): İki nokta arasında yapılan yük taşıma işleminde, başlangıç noktasını ifade eder.

Hedef Nokta (HN): İki nokta arasında yapılan yük taşıma işleminde yük teslimatı yapılacak olan noktayı ifade eder.

Merkez Depo Nokta (M): Merkez depo noktası, nakliyenin başlangıç ve bitiş noktasıdır.

Taşıma: Bir kaynak noktasından bir hedef noktasına yapılması istenen yük taşımacılığıdır. Her bir müşteri talebini ifade eder.

Nakliye: Taşımaların, en küçük toplam yol mesafesine sahip olacak şekilde sıralanarak kümelenmesidir. Her nakliyenin ilk kaynak noktası merkez depo noktasıdır.

Gerçek Araç: Mevcut bulunan araçları ifade eder.

Sanal Araç: Mevcutta bulunan araç sayısı, müşteri talepleri için yeterli olmadığında müşteri talebine uygun olan tip ve özelliklerdeki araç var kabul edilir ve sanal araç olarak işaretlenir.

3.3 Nakliyeleştirme Aşaması

Problem çözümünün ilk aşaması nakliyeleştirme aşamasıdır. Nakliyeleştirme temel anlamda taşımaları gruplamak anlamına gelir. Taşımalar gruplanırken, grubun bütünündeki toplam yol mesafesinin en az olması hedeflenir. Her grup Nakliye olarak isimlendirilir. Bu tez çalışmasında, nakliyelerin belirlenmesi aşaması için tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır.

Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından önerilen tavlama benzetimi katıların ısınması ardından yavaş yavaş soğutulması sürecini taklit ederek modellenmiştir. Tavlama ile malzeme ısıtılarak yumuşatılır ve kademeli olarak ısıtılarak malzemenin moleküllerinin düzenli hal alması sağlanır. Optimizasyon uygulamasında ise bu davranış taklit edilir. Yüksek bir sıcaklık değerinden arama işlemine başlanarak çözüm uzayı geniş tutulur. Sıcaklık değerinin her indirgenişinde belirli sayıda döngü içinde komşu çözüm üretilir. Böylece olası çözümler arasında gezinim sağlanır. Tavlama benzetimi rastgeleliğe

dayanarak amaç fonksiyonuna katkı sağlamayan kötü çözümlerinde kabul edilmesine olanak sağlar böylece yerel en iyi noktalara takılıp kalınması önlenmiş olur.

Nakliyeleştirme aşamasında kullanılan taşımaların örnekleri Ek 4'te verilmiştir. Oluşturulan her bir nakliye, eşsiz bir numara ile işaretlenir. Çözüm sonuçları, bu numaralar kullanılarak takip edilir.

Bir kaynak noktasından bir hedef noktasına yapılan hareket taşıma işlemidir. Her taşımanın kendine has bir tipi vardır. Bu taşıma tipleri sayısal değerlerle (1,2,3) anlamlandırılmıştır. Taşımanın toplam yol mesafesinin hesaplanabilmesi için noktalar arası mesafeler, Ek 1'de verilen enlem ve boylam bilgilerinden yararlanılarak hesaplanır.

Aslında her nakliye bir gezgin satıcı problemi olarak ele alınmıştır ve nakliyeleştirme işleminin çözümü matematiksel olarak Eşitlik 3.1-3.6 kullanılarak ifade edilmiştir.

$$\text{Skorlar} = \{ \text{Skor}(N_1), \text{Skor}(N_2), \text{Skor}(N_3) \dots \text{Skor}(N_s) \} \quad (3.1)$$

$$\text{Skor} = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1, n \neq t}^T m(n, t) u(n, t) \quad (3.2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{t=1, t \neq n}^N m(n, t) = 1 \quad t=1, 2, 3, \dots, N \quad (3.3)$$

$$\sum_{n=1, n \neq j}^N m(n, t) = 1 \quad n=1, 2, 3, \dots, N \quad (3.4)$$

$$\sum_{n, t \in S, n \neq t} m(n, t) \leq |F| - 1, \forall NF_{\in(1, 2, 3, 4, \dots, n)} \quad n=1, 2, 3, \dots, N \quad (3.5)$$

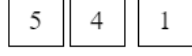
$$m(n, t) = \begin{cases} 1, n \text{ noktasından } t \text{ noktasına gidiliyor ise} \\ 0, n \text{ noktasından } t \text{ noktasına gidilmiyor ise} \end{cases} \quad (3.6)$$

En Küçük Skor = $S \in \text{Skorlar}$

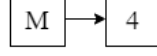
Nakliyeleştirme aşamasında, rastgele yöntemle başlangıç çözümü oluşturulur. Başlangıç çözümünün oluşturulma yöntemine dair iki örnek Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu örneklerde de gösterildiği gibi her nakliye merkez noktasından başlar ve yine merkez noktasında sonlanır. Merkez başlangıç noktasına rastgele seçilen bir hedef nokta eklenir böylece nakliyeye bir taşıma eklenmiş olur. Bir hedef noktası, seçilmiş durumdaysa, bir nakliyeye eklenmiş ise olası başka çözümlerde yeniden yer almaması için hedef nokta listesinden çıkarılır.

Çözüm Oluşturma Örneği 1

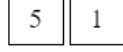
Olası hedef noktaları



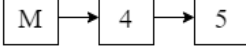
Adım 1: Rastgele yapılan seçimde 4 nolu hedef noktası seçilir



Olası hedef noktaları



Adım 1: Rastgele yapılan seçimde 5 nolu hedef noktası seçilir



Olası hedef noktaları



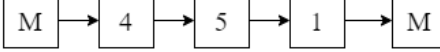
Adım 1: Rastgele yapılan seçimde 1 nolu hedef noktası seçilir



Olası hedef noktaları

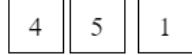


Adım 4: Merkez depo noktasına geri dönlür



Çözüm Oluşturma Örneği 2

Olası hedef noktaları



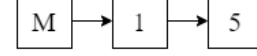
Adım 1: Rastgele yapılan seçimde 1 nolu hedef noktası seçilir



Olası hedef noktaları



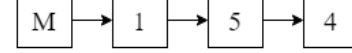
Adım 1: Rastgele yapılan seçimde 5 nolu hedef noktası seçilir



Olası hedef noktaları



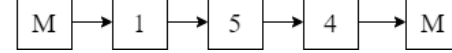
Adım 1: Rastgele yapılan seçimde 4 nolu hedef noktası seçilir



Olası hedef noktaları



Adım 4: Merkez depo noktasına geri dönlür



Şekil 3.4 Başlangıç Çözümü Oluşturma

TA, her sıcaklık değeri için belirli sayıda döngü yaparak çözüm uzayını tarar. Her bir sıcaklık değeri için Çizelge 3.1’de yer alan parametre değerleri kullanılarak çözüm araması yapılmıştır. Sıcaklık parametresi komşu çözümün mevcut çözüm olarak kabul edilmesini doğrudan etkiler. Dolayısıyla, sıcaklık parametresinin çok yüksek olması araştırılan çözüm uzayının çok geniş tutulmasını sağlarken çözüm süresini oldukça uzatabilir. Ancak sıcaklık parametresinin çok düşük tutulması ise çözüm uzayında yapılan sıçramaları azaltır dolayısıyla olası iyi çözümlerin gözden kaçırılmasına sebep olabilir. Çözüm arama süresini kısaltmak için sıcaklık parametresi hızlı şekilde

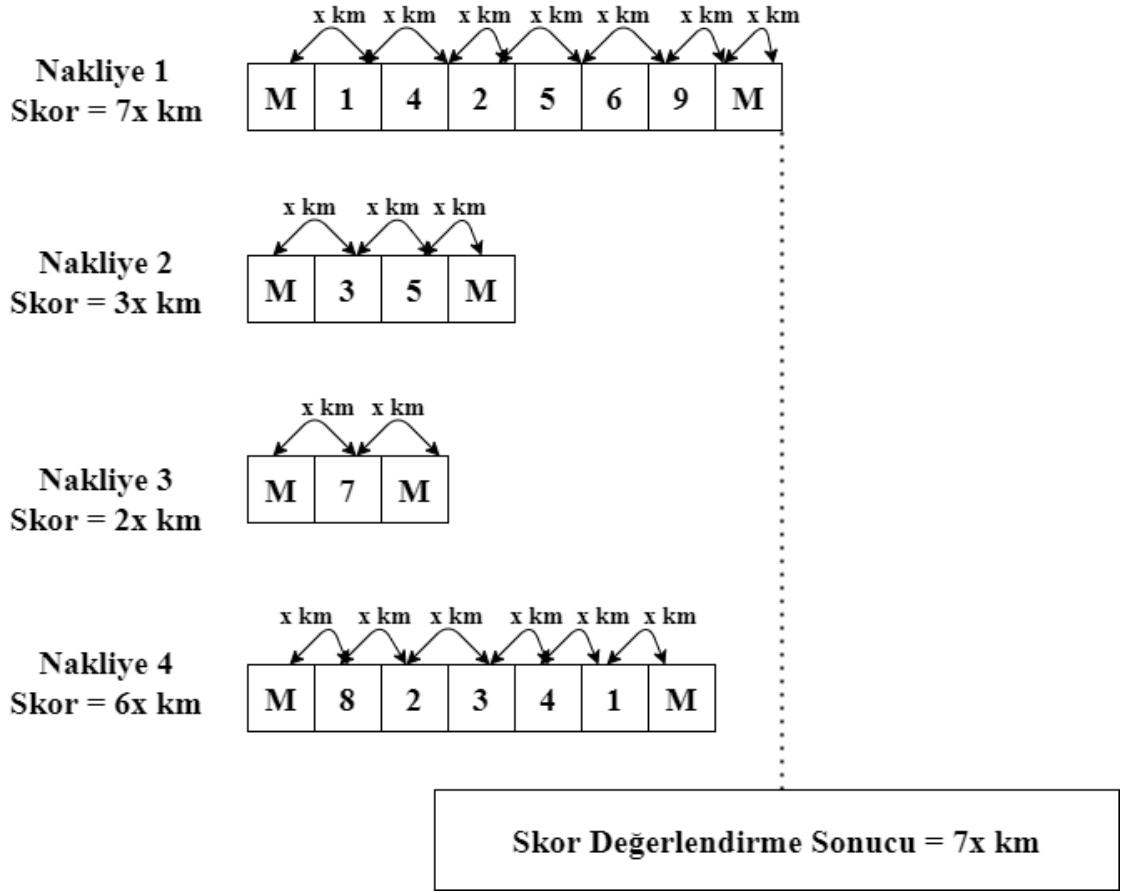
indirgendiğinde ise en iyi çözümün bulunabilmesi için yeterli araştırma yapılması engellenebilir (S. Kirkpatrick ve ark. 1983).

Çizelge 3.1. Tavlama Benzetimi Parametre Değerleri

Parametre	Değer
Sıcaklık	5, 10, 15, 20, 25, 50, 75
Sıcaklık Azaltma Oranı	0,99
Döngü Sayısı	250, 500, 750, 1000

Çizelge 3.1’de belirtilen parametreler kullanılarak nakliyeleştirme aşaması gerçekleştirildiğinde elde edilen sonuçların örnekleri Ek 5’te verilmiştir. Değişen parametrelerle birlikte lede edilen test sonuçları gözlemlenmiş ve nakliyeleştirme aşamasının uygulama parametreleri 20 derece sıcaklık ve 750 döngü sayısı olarak kabul edilmiştir.

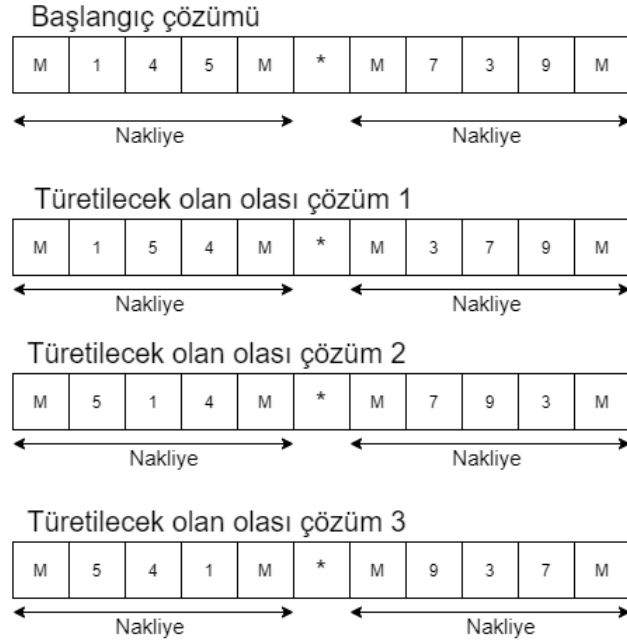
TA’da amaç fonksiyonu, toplam yol mesafesini hesaplar. Hesaplanan bu değer her nakliye için ayrı ayrı hesaplanır ancak değerlendirilirken Şekil 3.5’te gösterildiği gibi çözümde yer alan bütün nakliyeler aynı anda değerlendirilir. TA’nın her döngüde ürettiği çözümün skor değeri, o çözüm içinde yer alan en büyük toplam yol mesafesine sahip nakliyenin skor değeri olarak kabul edilir. Böylece her döngüde bütün nakliyelerin toplam yol mesafelerinin en küçük olması ve dengeli olması dağlanır.



Şekil 3.5. Nakliyeleştirme Aşaması Amaç Fonksiyonu Değerlendirmesi

Nakliyeleştirme aşamasını test edebilmek için çeşitli ölçeklerde 14 taşıma planı kullanılmıştır. En küçük planda 48 adet taşıma varken en büyük planda 140 adet taşıma bulunmaktadır. Test verilerinin büyüklüğü sebebiyle sadece birinci plan verisi Ek 3'te verilmiştir.

TA için başlangıç çözümü ve her döngüde üretilen çözümlerin üretilme yöntemi aynıdır. Bir çözüm üretilirken, her nakliye için iki nokta yer değiştirme işlemi yapar ve bir nakliyeye verilen hedef noktanın yeniden seçilmesi engellenir (bkz. Şekil 3.4). Hedef noktalar kendi aralarında değişim yaparken, başlangıç çözümünde belirtildiği gibi nakliyenin kendi hedef noktaları içinde bir değişim yapılır. Bu değişim işlemi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Nakliyeler arasındaki ayrımı sağlayabilmek için her nakliye gösterimi arasında * karakteri eklenmiştir. Ancak * karakterinin eklenmesi yalnızca gösterim içindir. Çözüm uygulaması yapılırken her nakliye taşımalarından oluşan bir dizi olarak ele alınmıştır.



Şekil 3.6 Çözüm Oluşturma

Algoritma 1’de TA’nın problem çözümünde kullanımını anlatan sözde koda yer verilmiştir.

Algoritma 1. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Sözde Kodu

1. Başlangıç sıcaklık değeriyle döngüye başlanır.
2. Belirlenen döngü sayısı kadar komşu çözüm üretilir. Her döngü adımı için komşu çözüm üretimi şu şekildedir:
 - a) Bütün taşımalar içerisinde rastgele şekilde seçimler yapılarak nakliyeler üretilir (bkz. Şekil 3.6).
 - b) Çözümde yer alan bir nakliye için rastgele olarak belirlenen iki hedef noktası yer değiştirir.
 - c) Nakliye içinde yer alan sıralı hedef noktaları için toplam yol mesafesi öklit formülü kullanılarak hesaplanır.
 - d) Komşu çözüm kümesi içinde yer alan bütün nakliyeler için skor değeri hesaplanır (bkz. Şekil 3.5).
 - e) Mevcut çözüm kümesinin skor değeri ile komşuluk çözüm kümesinin skor değeri arasındaki fark (Δ) hesaplanır.
 - i. Eğer $\Delta \geq 0$ ise komşu çözüm kümesi kabul edilir.

- ii. Eğer $\Delta < 0$ ise $0 < r < 1$ aralığında bir r değeri için $r < \exp\left(\frac{-\Delta}{\text{sıcaklık}}\right)$ ise komşu çözüm kümesi kabul edilir.
 - iii. Eğer Δ için şartlar sağlanamamış ise komşu çözüm kümesi kabul edilmez.
 - f) Döngü kontrol parametresi 1 değer artırılır.
3. Sıcaklık kontrol parametresi 0.99 değeri ile çarpılarak azaltılır.
 4. Eğer Sıcaklık değeri > 1 ise 1,2,3 adımları tekrarlanır, değilse algoritmanın çalışması durdurulur.
-

3.4 Araç Atama Aşaması

Bu aşama çözüm arama sürecinin ikinci aşamasıdır. Bu aşamada daha önceki aşamada rotalanmış olan nakliyeler araçlarla eşleştirilir. Bu eşleştirmenin problem tanımında yer alan kısıtlara ne kadar uyumlu olduğunu gösteren uyum skorları hesaplanır. Hesaplama sonuçlarının içerisinde en uyumlu çözümü bulmak içinse genetik algorithmadan faydalanılmıştır.

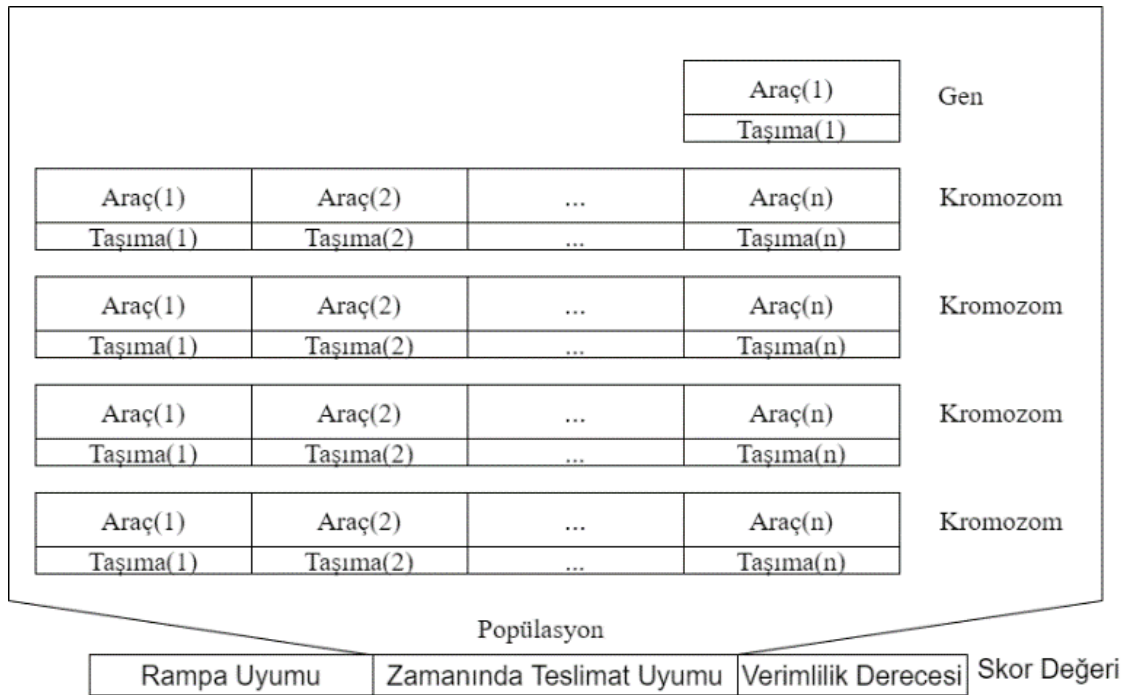
1930'lu yıllarda Menger tarafından tanıtılan genetik algoritma kombinasyonel optimizasyon problemleri üzerinde en çok kullanılan algoritma olmuştur (K. Menger, 1932). Goldberg tarafından temelleri atılan genetik algoritma çözüm uzayı çok geniş problemler için optimal çözümün araştırılmasında kullanılır. Evrimsel yaklaşımı kullanarak tüm çözüm uzayını aramak yerine kötü çözümleri eleyerek çözüm uzayının bir kısmını tarar. Bu sayede çözüm süresi kısalmıştır (Goldberg D. E. 1989). Genetik algoritmanın pek çok çeşidi vardır. Uygulamada kullanılan genetik algoritma çeşidi basit genetik algoritmadır.

Genetik algoritmanın problem çözümünde kullanılmasında temel işlemler; problemin kromozom birimi olarak modellenmesi, amaç fonksiyonunun belirlenmesidir. Bu işlemler optimal çözümün bulunmasını doğrudan etkiler (Grefenstette J. J. 1986). Kromozom gösterimi için literatürde pek çok yöntem tanımlıdır. Bu kromozom gösterim yöntemlerine ikili kodlama, permütasyon gösterimi, değer kodlama, ağaç gösterimi ile kodlama örnek verilebilir. Bu çalışmada uygulama yapılırken kromozom gösterimi için

permütasyon kodlama tekniğinden faydalanılmıştır. Kromozom birimleri Şekil 3.7’de gösterildiği gibi taşıma ve taşımanın eşleştiği araç bilgisinden oluşur.

3.4.1 Genetik algoritmanın araç atama aşamasında kullanılması

Genetik algoritmada temel birim gen’dir. Genler bir araya gelerek kromozomları oluşturur. Problem modellemesinde kullanılan her bir taşıma genetik algoritma çözümünde gen olarak kabul edilmiştir. Genin kullandığı şifreler ise problemin değerlendirilmesinde kullanılan kısıtlardır. Nakliyeler ise genetik algoritmada kromozom olarak kabul edilmiştir. Probleme katılan bütün nakliyeler ise popülasyon olarak modellenmiştir. Bu aşamanın çalışma süresini kısaltmak için paralel programlama yöntemi kullanılmış ve her nakliye için bir proses oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. Genetik Algoritma Birimlerinin Tanım Gösterimi

Algoritma 2. Genetik Algoritma Sözde Kodu

1. Parametreler okunur. (Mutasyon oranı, döngü sayısı)
2. Optimizasyona katılan taşımalar okunur.
3. Optimizasyona katılan araçlar okunur.
4. Taşımaları tipine uygun olarak gerçekleştirecek araç sayısının varlığı araştırılır. Çünkü her taşıma her araç üzerinde yapılamaz. Eğer ki araç sayısı taşımalar için uygun değilse taşıma tiplerine uygun sanal araçlar üretilir.

5. Sözlük oluşturulur. Sözlük, optimizasyona katılan her taşımanın her bir araç üzerinde taşınacağı varsayılarak oluşturulan olasılıklar kümesidir.
6. Maksimum yineleme sayısı için veya program süresi geçene kadar aşağıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilir.
 - a. Başlangıç popülasyonu oluşturulur.
 - b. Başlangıç popülasyonunda yer alan her birey için uyum skorları hesaplanır.
 - c. Bireyler uyum skorlarına göre sıralanır ve N adet birey elit birey olarak belirlenir.
 - d. Yeni popülasyon üretilir.
 - i. Elit bireyler üzerinde çaprazlama işlemi uygulanarak yeni popülasyon üretilir.
 - ii. Mutasyon oranı dinamik olarak değiştirilir.
 - iii. Mutasyon oranı 1-100 arasında rastgele üretilen sayıdan küçükse mutasyon işlemi uygulanır.
7. Sonuç kümesi belirlenir.

Araç atama aşaması uygulanırken, Algoritma 2’de verilen işlemleri Çizelge 3.2’de verilen parametreler kullanılmıştır. Elit bireyleri toplam sayısı belirlenirken popülasyonun toplam kromozom sayısının %10’u dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.2 Genetik Algoritma Parametreleri

Parametre	Değer
Popülasyon Sayısı	500
Elit Birey Sayısı	50
Toplam Döngü Sayısı	1000

Popülasyon ve döngü sayısı parametreleri değiştirilerek test çalışmaları yapılmıştır. Bu test çalışmalarının sonuçları Ek 9’da sunulmuştur. Bu test sonuçları gözetilerek Çizelge 3.2’de belirtilen parametrelerin GA’da kullanılmasına karar verilmiştir.

3.4.2 Yeni bireylerin oluşturulması

Genetik algorithmada yeni bireylerin oluşturulması mutasyon ve çaprazlama işlemleri yapılarak gerçekleştirilir. Her iki işlemde rastgelelik temelinde oturulmuştur. Çaprazlama ya da mutasyon işlemi yapılırken araç taşıma tip uygunluğu gözetilir. Böylece taşıma tip uyumsuzluğu bulunan çözümlerin üretilmesi engellenmiş olur. Şekil 3.8’de gösterildiği gibi, kromozomda yer alan taşımalar eşlendikleri araç tiplerine göre gruplanırlar. Bu grupta eleman sayısı 2’den fazla olan gruplar içerisinde mutasyon ya da çaprazlama

işlemi yapılır. Eğer gruptaki eleman sayısı 2’den fazla olan birden fazla grupta varsa çaprazlama ya da mutasyon işleminin uygulanacağı grup yine rastgele seçilir. Rastgele seçim yapılacak grup olmaması durumunun önüne geçilmek için yeterli sayıda olmayan araç tipleri sanal olarak üretilir.

Taşıma(1)	Taşıma(2)	Taşıma(3)	Taşıma(4)	Taşıma(5)
Araç(x)	Araç(x)	Araç(x)	Araç(y)	Araç(y)
← Nakliye 1			← Nakliye 2 →	

Tipine göre araçlar	Araç taşımaları
x	Taşıma(1), Taşıma(2), Taşıma(3)
y	Taşıma(4), Taşıma(5)

Şekil 3.8 Yeni Birey Üretilmesi

Çaprazlama işlemi yapılmadan önce mevcut popülasyon içindeki elit bireyler belirlenir. Şekil 3.9’da gösterildiği şekilde elit bireyler üzerinde çaprazlama işlemi uygulanır. Bu Kromozomlardan rastgele seçilen genler arasında değişim yapılarak yeni kromozomlar elde edilir. Burada yapılan çaprazlama işlemi tip garantili bir işlemdir. Tip garantili olması, rastgele değiştirilen iki genin, araç ve taşıma çifti, aynı tip ve özelliklerde olması şartının sağlanmasıdır (Bkz. Şekil 3.8).



Şekil 3.9 Çaprazlama İşlemi Gösterimi

Çaprazlama işlemiyle elde edilen popülasyon ve mevcut döngüden bir önceki döngüde üretilen popülasyonun skor değerleri kıyaslanarak mutasyon oranı belirlenir. Mutasyon oranı genetik algoritmanın çalışma süreci boyunca dinamiktir. Algoritma 3’te verilen sözde kodda gösterildiği şekilde kovaryans değeri hesaplanır. Bu kovaryans değeri mutasyon oranının değişiminde kullanılır.

Algoritma 3. Mutasyon Oranının Belirlenmesi Sözde Kodu

Başla:

A bir önceki popülasyonun skor değerler kümesinin ortalaması

B mevcut popülasyonun skor değerler kümesi ortalaması

s A kümesinin sayısı

i=0

While(i<s){

kovaryans = kovaryans +[(A_i – A)*(B_i – B)]

}

MutasyonOran=(Kovaryans/S)*100

if(MutasyonOran>50)

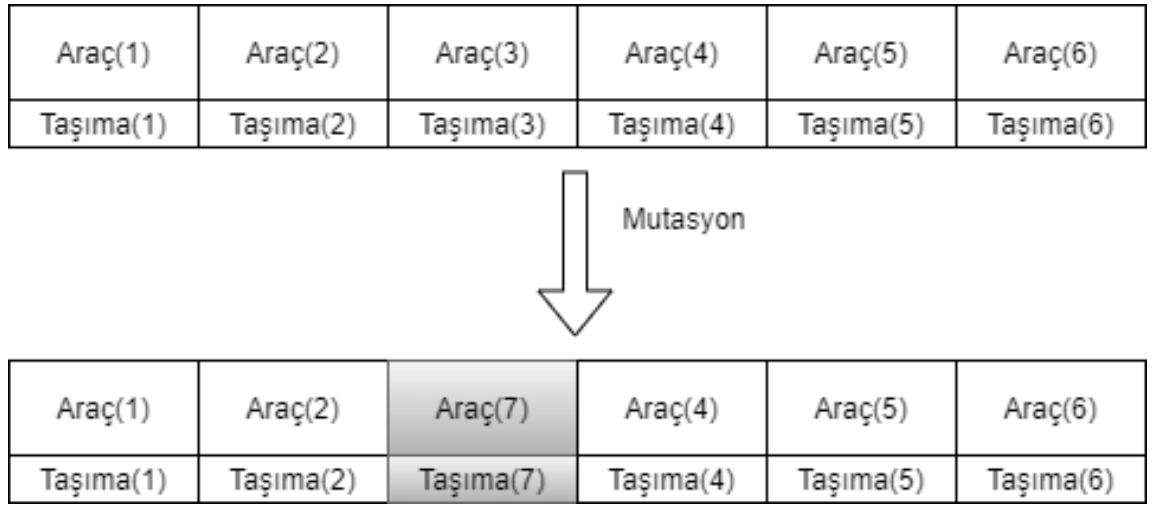
 MutasyonOran=50


```

else if(MutasyonOran<20)
    MutasyonOran=20
Return MutasyonOran

```

Mutasyon işlemi, Şekil 3.10’da gösterildiği gibi gende yapılan rastgele değişimdir. Ancak bu değişim yapılırken tıpkı çaprazlama işleminde olduğu gibi taşıma araç tipi uygunluğu kontrol edilir (Bkz. Şekil 3.8). Mutasyon işlemi sonrasında üretilen çözümün skor değeri, mutasyona uğramadan önceki çözümün skor değeriyle kıyaslanır. Eğer mutasyon işlemi skor değerinde iyileşme yapmamışsa eldeki çözüm değiştirilmez, mevcut bireyle arama işlemine devam edilir.



Şekil 3.10. Mutasyon İşlemi Gösterimi

3.4.3 Skor değeri hesaplama

Skor değeri, genetik algoritmanın sonuçlarını kıyaslamak için kullanılır. Popülasyon içerisinde üretilen her bir birey skor değerine sahiptir ve bireyler skor değerlerine göre sıralanırlar. Popülasyon içindeki en verimli skor değeri, popülasyonun skor değeri olarak kabul edilir. Skor hesaplama yönteminin sözde kodu Algoritma 4’te gösterilmiştir.

Algoritma 4. Skor Değerinin Hesaplanması

A bir hedef noktasında aynı anda bulunan toplam araç sayısıdır

K bir hedef noktasındaki toplam kapı sayısıdır

İf(A>K) { // Çakışma durumu vardır.

$$RU=K/A \}$$

TMU=Nakliyeleştirme sürecinde çalıştırılan algoritmanın skor değeridir.

Z hedef noktasına zamanında varan araçların toplam sayısıdır

$$ZVU=Z/A$$

VU=Tüm araçların boş zaman toplamı / toplam taşıma sayısı

$$\text{Skor Değeri}=\text{MU}+\text{ZVU}+\text{RU}+\text{VU}$$

3.5 Doğrusal Düzeltme Aşaması

Lineer düzeltme işlemi genetik algoritmanın ürettiği sonuç çözümünün iyileştirilmesi işlemidir. Nakliyeleştirme ve araç atama aşamaları metasezgisel algoritmalar kullanarak optimal çözüme ulaşmaya çalışır. Sezgisel yaklaşımla üretilen çözümlerin kesim çözüm oldukları doğru değildir bu sebeple mevcut çözüm üzerinde lineer düzeltme işlemi uygulanır. Bu iyileştirme işlemi zamanında varış yapan taşıma sayısını artırmayı ve rampa uyumu skorunun indirgenmesini amaçlar. Her araç için lineer düzeltme işlemi uygulanmaz. Yalnızca sanal olmayan araçlar için lineer düzenleme gerçekleştirilir. Algoritma 5'te lineer düzeltme işleminin sözde kodu verilmiştir.

Algoritma 5. Lineer düzenleme sözde kodu

Sozluk her aracın her taşımayı yapması ihtimaliyle oluşturulan küme

As Araç kümesi

Ts Taşıma Kümesi

Foreach a in As

 Foreach t in Ts

 Sozluğe a aracında t taşımasının yapılması durumunu ekle, Skor değerini hesapla

Foreach a in As

 İf a sanal araç değilse

 skorArac=A aracının skor değeri

 sozlukTasima=A aracının skorArac değerine sahip sözlükteki taşıması

 aracTasima=A aracının taşıması

 skorSozluk=A aracının sözlükteki en iyi skorunu bul

 İf(skorSozluk>skorArac)

 aracTasima=sozlukTasima

For i to Ts

 For j to Ts

 İf(Ts[i]'nin Skor<Ts[j]'nin skor)

 //yer değiştirme işlemi

 Temporary= Ts[i]

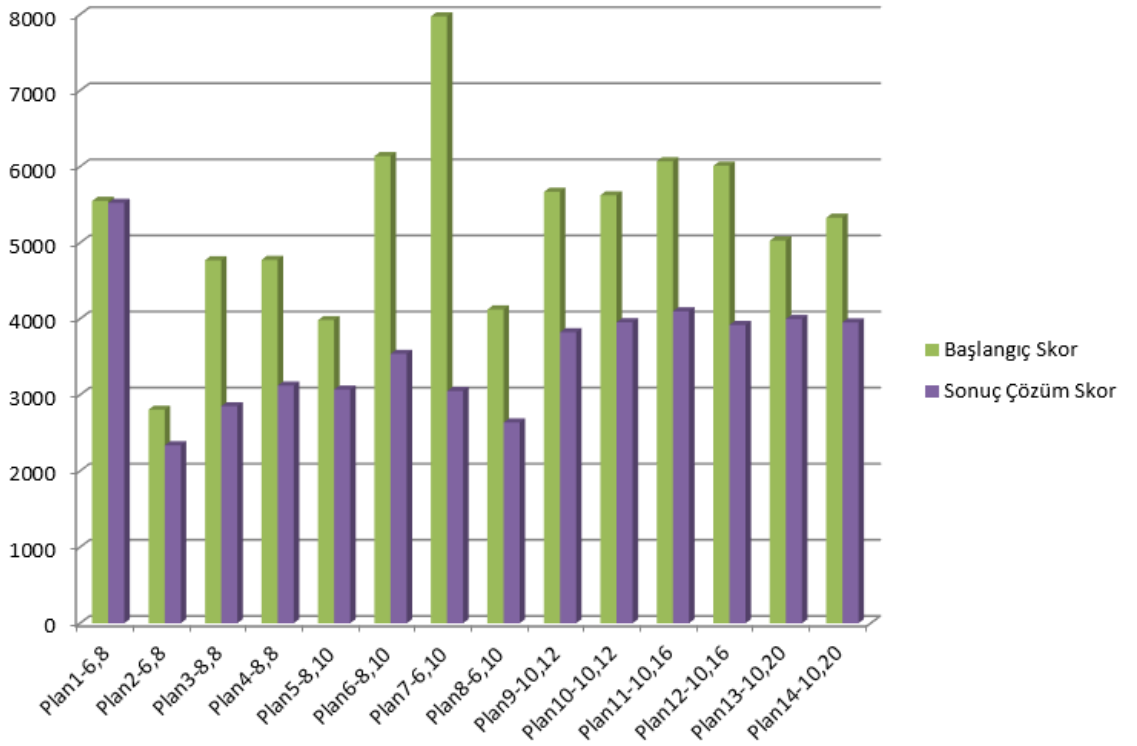
 Ts[i]= Ts[j]

 T[j]= Temporary

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Aynı araç kümesi ve farklı taşıma planları kullanılarak uygulama test edilmiştir. Çözüm aşamalarının etkisini gözlemleyebilmek için başlangıç ve sonuç çözümleri üzerinde çözüm aşamaları uygulanmıştır. Sonuç değerlendirmelerinde başlangıç ve sonuç çözümlerinin skor değerleri kıyaslanmış olup araç atama aşması ve lineer düzeltme aşamasının skor sonuçları kümülatif olarak çizelgelerde sunulmuştur.

Nakliyeleştirme aşamasında, başlangıçta dağınık halde olan müşteri talepleri TA kullanılarak rotalanmıştır. Bu rotalama işleminin sonuçları Şekil 4.1’de sunulmuştur. TA, testlerde kullanılan her taşıma planı için başlangıç çözümünü iyileştirmiş yani toplam yol mesafesini azaltmıştır.



Şekil 4.1 Nakliyeleştirme Aşaması Skor Sonuçları

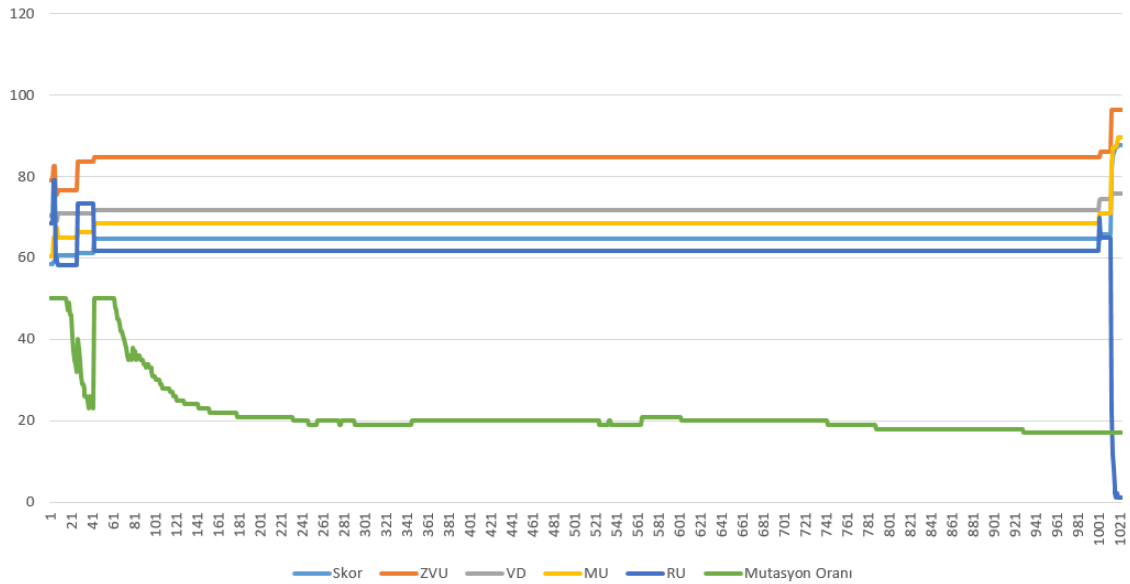
Çizelge 4.1’de araç atama aşamasının ve lineer düzeltme aşamasının test sonuçları kümülatif olarak verilmiştir. Çizelge 4.1’de gösterilen başlangıç çözümü genetik algoritma çalışmadan önce rastgele olarak oluşturulan çözümdür. Sonuç çözümü ise genetik algoritmanın ürettiği optimal kabul edilen çözümdür. Her iki çözüm üzerinde de

lineer düzeltme işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde başlangıç çözümü skor değerlerinin lineer düzeltme işleminin öncesinde ve sonrasında olumlu değişim yaşadığı görülür. Rampa uyumu skor değerinde beklenildiği gibi düşüş görülürken diğer skor değerlerinde artış görülmektedir.

Çizelge 4.1. Çözüm Skor Değerlerinin Kümülatif Gösterimi

	Zamanında Varış Uyumu	Verimlilik Derecesi	Mesafe Uyumu	Skor Derecesi	Rampa Uyumu
Lineer Düzeltme Öncesi					
	2779.51	3592.41	3202.05	59832.18	512.51
Başlangıç Çözüm	4059.83	3923.97	4009.51	80476.20	42.03
Lineer Düzeltme Sonrası					
	4038.072	3897.071	3989.496	78560.120	13.872
Sonuç Çözüm	4097.428	3941.782	4056.744	80595.603	2.03

Şekil 4.2’de araç atama aşaması ve lineer düzeltme aşamasının bütün uygulanma adımlarında elde edilen elit bireyin skor değerleri ve mutasyon oranının değişimi gösterilmiştir.



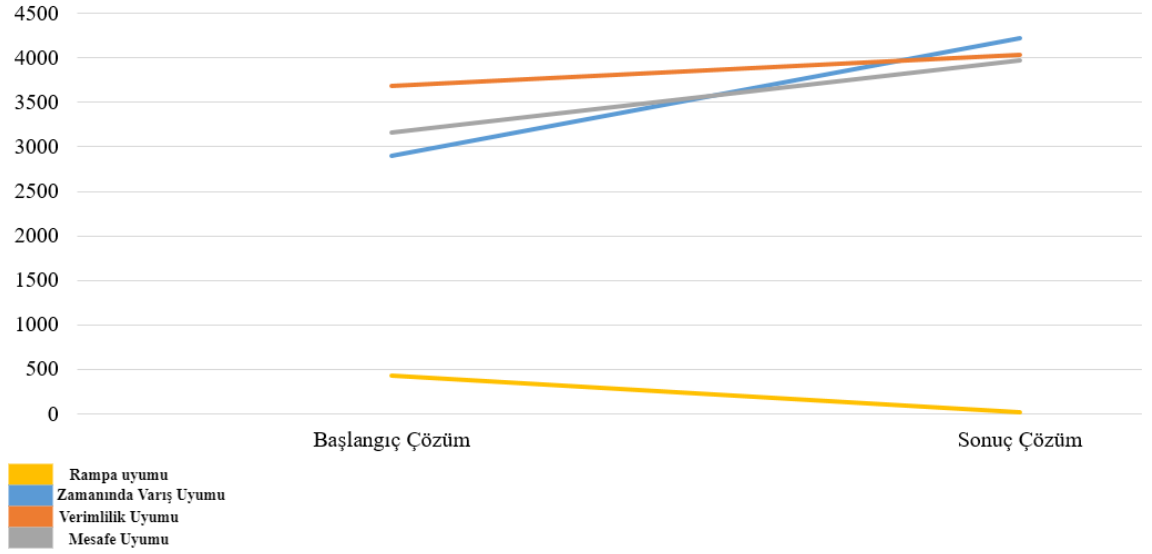
Şekil 4.2 GA'nın Ürettiği Elit Çözümlerin Değerlendirmesi

Uyum değerleri esas alınarak taşımaların zamanında varış sayıları yine Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Başlangıç çözümünün sonuç değerleri incelendiğinde lineer düzeltme işleminin etkisiyle zamanında varmış olan taşıma sayısında artış olduğu görülür. Başlangıç çözümü ve sonuç çözümü karşılıklı kıyaslandığında sonuç çözümünde zamanında varmış olan taşıma sayısında yine artış olduğu fark edilir. Ancak sonuç çözümünde uygulanan lineer düzeltme işlemi zamanında varmış olan taşıma sayısını etkilememiştir.

Çizelge 4.2. Zamanında Varış Uyumu Olan Taşımaların Toplam Sayıları

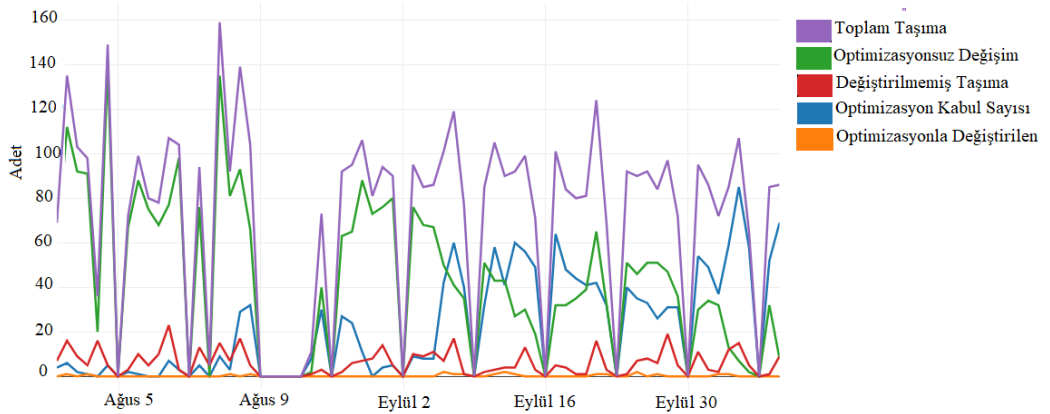
	Zamanında Varış Uyumu	Verimlilik Derecesi	Mesafe Uyumu	Skor Derecesi	Rampa Uyumu
Lineer Düzeltme Öncesi Zamanında Varmış Olan Taşıma Oranları					
	2899.86	3690.60	3164.42	420.91	61476.21
Başlangıç Çözüm	4251.84	4067.03	3990.91	39.39	84262.25
Lineer Düzeltme Sonrası Zamanında Varmış Olan Taşıma Oranları					
	4229.34	4042.17	3972.13	12.55	82376.58
Sonuç Çözüm	4229.34	4042.17	3972.13	12.55	82376.58

Şekil 4.3’te lineer düzeltme öncesinde başlangıç çözümden sonuç çözüme olan değişimin kümülâtif sonuçları gösterilmiştir. Kısıtlar göz önüne alınarak geç kalmamış taşımaların toplam sayıları incelenmiştir. Rampa uyumu hariç bütün kısıtlarda yapılan deneylerde geç kalmamış olan taşıma sayısı artmıştır. Ancak rampa kapısı uyumu esas alındığında yani araçların rampa kapılarına mutlaka uyacak şekilde optimize edilmesi amaçlandığında geç kalan taşıma sayısı artmıştır. Bir rampa kapısı bir anda yalnızca bir araç için kullanılabilir; rampa kapısı uyumu ele alınan diğer uyum kriterleri arasında en kısıtlı olabilecek kaynaktır. Diğer uyumlara öncelik verildiğinde rampa uyumunun başarı skoru düşmüştür.



Şekil 4.3. Uyum değerlerine göre geç kalmamış toplam taşıma sayıları

Optimizasyon uygulamasının, problem üzerindeki değişimlerine ait genel gösterim Şekil 4.4'te verilmiştir. Optimizasyonun çalışmasıyla genel anlamda neredeyse bütün taşımalarda değişim yaşanmıştır. Değişim, taşımanın atandığı aracın değişmesidir. Değiştirilmemiş olan taşıma sayısı oldukça azdır. Optimizasyon uygulanmadan değişim durumu, probleme girdi olan taşımaların kullanıcı tarafı değişimini göstermektedir. Kullanıcının optimizasyon sonuçlarını kabul etme durumu da incelendiğinde yine toplam taşıma sayısına yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Değişim Skorları

5. SONUÇ

Bu çalışma ile çözüm süresi problem boyutuyla doğru orantılı artan heterojen filolu sıkı zaman pencereci araç rotalama problemine değişen koşullarda hızlı cevaplar verebilecek bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Gerçek hayatta müşteri talepleri stokastiktir ve hava durumu, yol kapanması gibi dış sebeplerle anlık olarak müşteri talepleri değişebilir. Bu durumlarda, araç ve taşıma eşleşmesini yeniden ele alarak kısıtları yeniden ele alarak anlık değişimlere hızlıca cevap verebilecek bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Uygulama sonuçları incelendiğinde skor değerlerinin bu hedeflere uygun olduğu neticesine varılmıştır.

Problem boyutu arttıkça ele alınan kısıtlarında çeşitliliği sebebiyle sonuçlarda olumlu değişimler görülse dahi bu olumlu değişimlerin artış derecelerinin azaldığı görülmüştür. Bu durum hali hazırda çözümü NP olan bir problem ele alındığı için olağandır. Çalışma sonuçlarından asıl beklenen durum problemin değişen koşullarda hızlı ve etkili şekilde çözümlenmesi, başlangıç durumuna göre iyileştirme sağlanması ve uyum skorlarını artmış olmasıdır. Uyum skorları sabit çarpan parametreleri kullanılarak ağırlıklandırılmamıştır. Bu çarpan parametreleri değiştirilerek çözüm aşamasında belirli uyum türünün önceliklendirilmesi sağlanarak bu çalışma yeniden ele alınabilir. Böylece kısıtlara öncelik tanınan yeni çözümler üretilebilir.

Uygulama sonuçları skor değerlerini kullanıcıya sunar. Optimizasyon her çalıştığında bir öncekinden daha iyi ya da daha kötü sonuçlar üretebilir ya da iyi bir sonucun çok daha iyisini üretebilir. Kullanıcı bu skor değerlerini göz önüne alarak müşteri taleplerini karşılar. Skor değerlerinin kullanıcıya olan gösteriminde iyileştirmeler yapılarak kullanıcının daha doğru kararlar vermesi sağlanabilir.

Çalışma, merkez depodan ayrılan araçların hedef noktalara varışını ele almıştır. Çalışmanın devamında bu araçların merkez depoya dönüşü için tamamlayıcı bir çözüm uygulaması geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu tamamlayıcı uygulama, araçların merkez depoya dönerken bu uygulamada yer alan uyum kriterlerini sağlayarak potansiyel müşteri noktalarından yük almasını sağlayan tersine lojistik uygulaması olacaktır.

KAYNAKLAR

- Atasagun, G.C. 2015.** Zaman Bağımlı Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi,
- Aydemir, E. 2006.** Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi ve Bir Uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği anabilim Dalı, Ankara.
- Bae, H., Moon, I. 2016.** Multi-Depot Vehicle Routing Problem With Time Windows Considering Delivery And Installation Vehicles, *Applied Mathematical Modelling*, 40: 6536-6549.
- Baker, B.M., Ayechew, M.A. 2003.** A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 30:787-800.
- Barnhart, C., Laporte, G. 2007.** Handbooks in Operations Research and Management Science: Transportation. Elsevier Ltd. North Holland, 773 pp.
- Başkaya, Z., Öztürk, B.A. 2005.** Tamsayılı Programlamada Dal Kesme Yöntemi ve Bir Emek Fabrikasında Oluşturulan Araç Rotalama Problemine Uygulanması, *Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1):101–114.
- Blum, C., Roli, A., 2003.** Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3): 268-308.
- C.-Y. Liong, Ismail, W.R., Omar, K., Zırour, M. 2008.** Vehicle Routing Problem: Models And Solutions, *JQMA*, (4):205-218.
- Christofides, N. AND Mingozzi, A. AND Toth, P. 1979.** Combinatorial Optimization. Wiley, Chichester, UK, pp. 315-338.
- Christofides, N., 1985.** Vehicle Routing, Wiley, Chichester, Chichester,UK, pp. 431-448.
- Clarke, G., Wright, J.W. 1964.** Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, 12: 568-581.
- Çetin, S., Gencer C. 2010.** Kesin Zaman Pencereci - Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25(3):579-585.
- Çetin, S., Gencer C., Özkütük, E. 2011.** Heterojen Araç Filolu Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemi İçin Bir Karar Destek Sistemi, *International Journal of Research and Development*,3(1):11-18.
- Dantzig G.B., Ramser J.H. 1959.** The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, 6(1): 80-91.

- Dinçer, S.E., Dişkaya, F. 2018.** Yeşil Lojistik Zincirinde Araç Rotalama Problemi İçin Bir Model Önerisi. *Beykoz Akademi Dergisi*, 6(1): 26-49.
- Dumitrescu, I., Ropke, Cordeau, J.F., Laporte, G. 2016.** The Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery: Polyhedral Results and a Branch-and-Cut Algorithm. *European Journal of Operational Research*, 1: 257.
- Düzakın, E., Demircioğlu, M., 2009.** Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(1):68-87.
- E.H.L. Aarts, J.K. Lenstra, 1997.** Local Search in Combinatorial Optimization. Wiley, Chichester, Chichester, UK, 582 pp.
- Erol, V. 2006.** Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eryavuz, M., Gencer, C. 2001.** Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi BF Dergisi*, 6: 139-155.
- Goldberg D. E. 1989.** Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Addison Wesley Publishing Company, USA. 372 pp.
- Golden, B., Assad, A., Levy, L., Gheysens, G. 1984.** The fleet size and mix vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 11: 49–66.
- Grefenstette J. J. 1986.** Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 16(1):122-128.
- K. Menger, K. 1932.** Das botenproblem, in Ergebnisse eines Mathematischen Kolloquiums 2 (K. Menger, editor), Teubner, Leipzig, 1:11-12.
- Keskintürk, T., Topuk, N., Özyeşil, O. 2015.** Araç Rotalama Problemleri ile Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması ve Bir Uygulama, *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2): 77-107.
- Kirkpatrick, S., Gelatt Jr. C.D., Vecchi, M.P. 1983.** Optimization by Simulated Annealing, *Science*, 220(4598):671-680.
- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., Laporte, G. 2015.** Thirty Years Of Heterogeneous Vehicle Routing, *European Journal of Operational*, 249: 1-21.
- Kurt, M. (2008).** Çoklu Depolu Araç Rotalama Problemleri için Bir Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmasının Tasarımı ve Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lawler, E.L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A.H.G, Shmoys, D.B. 1985.** John Wiley & Sons, The traveling salesman problem, 463pp.

Patir, S., 2009. Dinamik Programlama ve Bir Ecza Deposunun, Şehir İçi İlaç Dağıtımına Alternatifli Bir Çözüm Önerisi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 63-79.

Pınar, D. 2009. Zaman Pencere Arç Rotalama Problemi'nin Genetik Algoritma İle Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Preux, P., Talbi, E.G. 1999. Towards Hybrid Evolutionary Algorithms. *International Transactions in Operation Research*, 6: 557-570.

Seixas, M. P., Mendes, A. B. 2013. Column Generation for a Multitrip Vehicle Routing Problem with Time Windows. Driver Work Hours and Heterogeneous Fleet, *Mathematical Problems in Engineering*, 1: 1-13.

Taillard, E., Badeau, P. Gendreau, M., Guertin, F. 1997. A Tabu Search Heuristic For The Vehicle Routing Problem With Soft Time Windows. *Transportation Science*, (31):170-186.

Taş, D., Dellaert, N., Woensel, T., Kok, T. 2013. Vehicle Routing Problem With Stochastic Travel Times Including Soft Time Windows And Service Costs, *Computers & Operations Research*, 40:214-224.

Tirkolaee, E. B., Goli, E., Bakhshi, M., Mahdavi, I. 2017. A Robust Multi-Trip Vehicle Routing Problem Of Perishable Products With Intermediate Depots And Time Windows. *Numerical Algebra Control And Optimization*, 7: 417-433.

Zhan, S., Lin, S., Zhang, Z., Zhong, Y. 2016, List-Based Simulated Annealing Algorithm for Traveling Salesman Problem. *Computational Intelligence and Neuroscience*, (5):1-12.

Simchi-Levi D., Xin, C., Bramel J. 1997. Logic of Logistics: Theory, Algorithms & Applications for Logistics Management, Springer-Verlag, New York, 447 pp.

Leung, S. C. H., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., Lim, K.M. 2013. A Meta-Heuristic Algorithm For Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problems With Two-Dimensional Loading Constraints. *European Journal of Operational Research*, 225: 199-210.

Taillard, E.D. 1999. A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *RAIRO (Recherche Opérationnelle/Operations Research)*, 33: 1-14.

Takan, A. M. 2019. Araç Rotalama Problemleri İçin Matematiksel Modeller Ve Subgradyant Temelli Çözüm Yaklaşımı. *Doktora Tezi*, ETÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.

Tüfekçier, H. 2008. İki Amaçlı Açık Araç Rotalama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı. *Yüksek Lisans Tezi*, EOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, Eskişehir.

Yazgan. H.R., Ercan S., Arslan C. 2014. Talep ve Kapasite Kısıtlı Optimizasyon Problemi İçin Yeni Bir Melez Algoritma. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 25(1-2): 16-28.

Yılmaz Z., S. Erol, H. S. Aplaç,2016. Tehlikeli Maddelerin Taşınması-Bir Literatür Taraması,.*Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22: 1.

EKLER

EK 1 Nokta Bilgileri

EK 2 Araç Bilgileri

EK 3 Plan Bilgileri

EK 4 Taşıma Bilgileri

EK 5 Planların Uygulama Sonuçları

EK 6 Başlangıç Çözümü Lineer Düzeltme Öncesi GA Uygulama Sonuç Örnekleri

EK 7 Başlangıç Çözümünde Lineer Düzeltme Sonrası GA Uygulama Sonuç Örnekleri

EK 8 Uygulama Sonuç Örnekleri

EK 9 GA Test Sonuçları

EK 1 Nokta Bilgileri

Nokta No	Nokta Tanım	Enlem	Boylam	Başlangıç	Bitiş
6	ZURUM	39.952307	41.299262	08:00	11:00
7	TVAN	38.516868	42.279484	08:00	16:00
9	KIROG	38.44769	43.334638	08:00	11:00
17	LATYA	38.346137	38.375633	08:00	11:00
19	KPER	40.805088	29.374526	08:00	11:00
22	NIMA	38.073534	40.036429	07:00	10:00
23	NYAD	37.93595	32.51571	07:00	10:00
26	CDET	39.797438	30.532681	08:00	11:00
27	YPAP	40.962917	39.84445	08:00	16:00
32	YSERI	38.698876	35.612817	08:00	16:00
33	KTANL	38.409852	34.004514	08:00	16:00
40	MESK	39.75507	30.667229	08:00	16:00
44	MARG	39.821119	35.0901008	08:00	16:00
48	PERLE	38.635484	27.441922	08:00	16:00
55	ILEVE	41.250326	27.688207	08:00	16:00
65	M	39.752254	30.662165	08:00	16:00
67	LENPA	38.620381	27.36313	08:00	16:00
84	KIZM	38.304054	27.174675	08:00	16:00
89	ITFI	40.916001	38.327183	08:00	16:00
94	MKAY	38.705008	35.344317	08:00	16:00
99	NTEZ	40.836578	29.555135	08:00	16:00
103	MSAK	40.746691	30.434735	08:00	16:00
268	MSAM	41.002391	29.237131	08:00	16:00
271	TIHB	41.416616	33.778707	08:00	16:00
272	NİMA	39.59083	27.82199	08:00	16:00
281	MSUN	41.300484	36.235981	08:00	16:00
305	APAZA	40.744318	30.436525	08:00	16:00
317	NUSG	40.078481	29.5279669	08:00	16:00
323	TALYA	36.96476	30.70836	08:00	16:00

EK 1 Nokta Bilgileri (Devam)

361	KATD	40.328127	36.512889	08:00	16:00
394	LCUK	37.969744	27.370762	00:00	23:59
396	NIZLI	37.816937	29.111366	00:00	23:59
398	ICIF	39.447088	29.9452221	08:00	16:00
399	NIMA	40.885389	29.365154	00:00	23:59
401	NIMAK	40.693223	30.440272	08:00	16:00
457	NEMEN	38.542765	27.030707	00:00	23:59
476	ZERSA	37.919436	32.5190699	08:00	16:00
487	LUMİ	40.736624	31.7158126	00:00	23:59
489	CORA	40.891408	29.4028036	08:00	16:00
505	NIMA	38.269521	34.025259	08:00	16:00
513	PERPA	38.23046	27.2998237	00:00	23:59
538	APAK	38.503584	27.0425199	08:00	16:00
574	ILKA	39.815689	32.403831	08:00	16:00
598	İKL	41.01602	28.810282	08:00	16:00
615	YZT	38.273497	27.1730518	08:00	11:00
757	LDAI	38.480268	27.047224	00:00	23:59
761	NIMAT	40.873882	29.340819	08:00	11:00
762	NIMAP	39.81503	30.2021884	08:00	11:00
954	YLAT	36.839343	34.6530032	08:00	11:00
1002	NIMA	38.702287	35.6222825	08:00	11:00
1005	MANYO	40.73322	29.9891792	08:00	16:00
1013	IMSA	37.053844	37.413608	00:00	23:59
1014	TINMA	41.041092	28.6275683	08:00	11:00
1016	KTUR	41.245681	27.6935146	08:00	16:00
1017	LKON	40.668037	30.6118054	08:00	16:00
1032	FARO	40.839824	29.427191	08:00	16:00
1035	MORK	41.057523	28.633815	00:00	23:59
1040	KESK	39.760865	30.6904722	08:00	11:00
1042	YILMA	41.214539	36.6732791	08:00	16:00

EK 1 Nokta Bilgileri (Devam)

1061	TA	40.67273	35.8288153	00:00	23:59
1066	RANA	40.685916	29.5344813	00:00	23:59
1087	SKÜVİ	39.745478	30.6408704	00:00	23:59
1089	HILI	39.743968	30.638198	08:00	16:00
1091	AKER	39.740128	30.6297741	00:00	23:59
1115	DERN	38.640259	27.3539693	08:00	16:00
1150	MHAS	39.981837	33.1712972	00:00	23:59
1157	NITAP	38.447359	27.3759582	00:00	23:59
1186	NIMAH	41.02465	28.558872	00:00	23:59
1318	NIMAR	41.074431	29.3402006	08:00	16:00
1406	NIAA	36.982723	35.6185244	08:00	16:00
1410	HLER	37.213966	33.2873936	08:00	16:00
1417	RVEM	40.058893	32.589792	00:00	23:59
2420	MGV	37.03435	35.4091072	08:00	10:00

EK 2 Araç Bilgileri

Araç Türü	Uygun Taşıma Tipi No	Adet
Çift Kat Frigorifik Kamyon	2,3,4,5	19
Tenteli Kamyon	2	1
Frigorifik Kamyon	2,3,4	3
Frigorifik Kamyonet	2,3	8
Kiralık Çift Kat Frigorifik Kamyon	2,3,4,5	45
Kiralık Frigorifik Kamyon	2,3,4	2
Kiralık Frigorifik Kamyonet	2,3	7
Kiralık Tenteli Kamyon	2	35
Tenteli Kamyon	2	12
Çift Kat Frigolu Tır	3,5	45
Çift Kat Mini Tır	3,5	2
Çift Kat Tenteli Tır	3,5	27
Çift Kat Frigolu Tır	3,5	1

EK 2 Araç Bilgileri (Devam)

Sözleşmeli Çift Kat Frigolu Tır	3	16
Sözleşmeli Çift Kat Tenteli Tır	3	10

EK 3 Plan Bilgileri

Plan No	Plan Tanım	Nakliye Sayısı	Taşıma Sayısı
3031	Plan1-6,8	6	8
3032	Plan2-6,8	6	8
3033	Plan3-8,8	8	8
3034	Plan4-8,8	8	8
3035	Plan5-8,10	8	10
3036	Plan6-8,10	8	10
3037	Plan7-6,10	6	10
3038	Plan8-6,10	6	10
4011	Plan9-10,12	10	12
4012	Plan10-10,12	10	12
4013	Plan11-10,16	10	16
4014	Plan12-10,16	10	16
4015	Plan13-10,20	10	20
4016	Plan14-10,20	10	20

EK 4 Taşıma Bilgileri

Taşıma No	Plan No	Taşıma Tipi	Nakliye No	Güzergâh Sırası	Kaynak Nokta No	Hedef Nokta No
31545	3031	2	N-0	0	65	1335
31546	3031	2	N-0	1	1335	169
31547	3031	2	N-0	2	169	79
31548	3031	2	N-0	3	79	474
31549	3031	2	N-0	4	474	609
31550	3031	2	N-0	5	609	65
31551	3031	3	N-1	0	65	133

EK 4 Taşıma Bilgileri (Devam)

31552	3031	3	N-1	1	133	1061
31553	3031	3	N-1	2	1061	831
31554	3031	3	N-1	3	831	803
31555	3031	3	N-1	4	803	465
31556	3031	3	N-1	5	465	65
31557	3031	3	N-2	0	65	1163
31558	3031	3	N-2	1	1163	801
31559	3031	3	N-2	2	801	1172
31560	3031	3	N-2	3	1172	271
31561	3031	3	N-2	4	271	891
31562	3031	3	N-2	5	891	65
31563	3031	5	N-3	0	65	1015
31564	3031	5	N-3	1	1015	407
31565	3031	5	N-3	2	407	1411
31566	3031	5	N-3	3	1411	1125
31567	3031	5	N-3	4	1125	938
31568	3031	5	N-3	5	938	65
31569	3031	3	N-4	0	65	1215
31570	3031	3	N-4	1	1215	1281
31571	3031	3	N-4	2	1281	929
31572	3031	3	N-4	3	929	108
31573	3031	3	N-4	4	108	1259
31574	3031	3	N-4	5	1259	65
31575	3031	2	N-5	0	65	1380
31576	3031	2	N-5	1	1380	271
31577	3031	2	N-5	2	271	683
31578	3031	2	N-5	3	683	1313
31579	3031	2	N-5	4	1313	1151
31580	3031	2	N-5	5	1151	65
31581	3031	3	N-6	0	65	471

EK 4 Taşıma Bilgileri (Devam)

31582	3031	3	N-6	1	471	478
31583	3031	3	N-6	2	478	1121
31584	3031	3	N-6	3	1121	408
31585	3031	3	N-6	4	408	1006
31586	3031	3	N-6	5	1006	65
31587	3031	1	N-7	0	65	1406
31588	3031	1	N-7	1	1406	905
31589	3031	1	N-7	2	905	314
31590	3031	1	N-7	3	314	624
31591	3031	1	N-7	4	624	776
31592	3031	1	N-7	5	776	65

EK 5 Planların Uygulama Sonuçları

Plan	Sıcaklık	Döngü	Başlangıç Skor	Sonuç Skor	Yöntem
P1-6,8	5	1000	5550.063984	5523.23516	Önerilen
P1-6,8	5	250	5550.063984	5539.527066	Mevcut
P2-6,8	5	250	2805.246257	2337.382633	Önerilen
P2-6,8	5	250	2805.246257	2434.264203	Mevcut
P3-8,8	5	500	4769.069649	2850.675297	Önerilen
P3-8,8	10	1000	4769.069649	2850.675297	Mevcut
P4-8,8	25	1000	4774.481587	3122.652722	Önerilen
P4-8,8	50	750	4774.481587	3230.324691	Mevcut
P5-8,10	10	500	3983.391731	3070.508009	Önerilen
P5-8,10	50	1500	3983.391731	3138.640627	Mevcut
P6-8,10	15	750	6138.924608	3539.108844	Önerilen
P6-8,10	10	750	6138.924608	3501.504287	Mevcut
P7-6,10	20	750	7975.010216	3050.894745	Önerilen
P7-6,10	10	1000	7975.010216	3345.792264	Mevcut
P8-6,10	5	750	4122.383091	2637.726108	Önerilen

EK 5 Planların Uygulama Sonuçları (Devam)

P8-6,10	10	750	4122.383091	2712.785779	Mevcut
P9-10,12	20	1000	5668.715257	3822.948637	Önerilen
P9-10,12	50	500	5668.715257	3764.590177	Mevcut
P1010,12	75	750	5622.764481	3953.770845	Önerilen
P10-10,12	75	750	5622.764481	4248.893896	Mevcut
P11-10,16	75	750	6070.451051	4098.831179	Önerilen
P11-10,16	50	750	6070.451051	4449.676716	Mevcut
P12-10,16	25	750	6011.785587	3919.192682	Önerilen
P12-10,16	25	500	6011.785587	4311.302766	Mevcut
P13-10,20	20	1000	5028.129453	3998.537206	Önerilen
P13-10,20	20	750	5028.129453	4046.785558	Mevcut
P14-10,20	15	750	5328.986009	3952.326316	Önerilen
P14-10,20	5	1000	5328.986009	4134.83959	Mevcut

EK 6 Başlangıç Çözümü Lineer Düzeltme Öncesi GA Uygulama Sonuç Örnekleri

Zamanında Varış Uyumu	Verimlilik Uyumu	Mesafe Uyumu	Rampa Uyumu	Skor	Taşıma Sayısı
61.02	82.80	57.63	30.51	61.86	61
55.93	79.55	61.02	11.86	62.84	61
45.76	80.33	72.88	16.95	59.90	61
54.24	78.89	64.41	22.03	60.49	61
50.85	79.34	62.71	16.95	59.80	61
54.24	82.00	55.93	8.47	62.60	61
49.15	79.34	72.88	10.17	62.43	61
60.00	90.74	84.00	0.00	75.56	28
64.00	89.51	88.00	0.00	77.73	28
64.00	84.43	84.00	0.00	75.15	28
66.67	79.85	68.18	19.70	67.65	69
60.61	75.24	69.70	6.06	66.33	69

EK 6 Başlangıç Çözümü Lineer Düzeltme Öncesi GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

63.64	82.37	63.64	19.70	66.25	69
69.70	77.53	71.21	13.64	70.01	69
65.15	77.11	60.61	10.61	66.31	69
61.54	79.62	63.08	9.23	66.33	68
63.08	76.62	73.85	23.08	65.36	68
60.00	79.73	70.77	15.38	65.98	68
66.15	81.05	61.54	12.31	67.98	68
60.00	80.36	67.69	10.77	66.51	68
66.15	79.89	63.08	7.69	68.81	68
69.23	78.26	69.23	16.92	69.01	68
63.08	79.15	60.00	12.31	65.63	68
62.50	86.34	87.50	0.00	75.84	26
70.00	89.57	60.00	0.00	74.85	22
60.00	84.29	80.00	0.00	72.50	22
77.78	77.91	66.67	12.70	73.06	63
79.37	75.31	69.84	17.46	72.55	63
74.60	79.77	71.43	17.46	72.28	63
77.78	78.20	57.14	4.76	72.84	63
77.78	76.25	69.84	6.35	74.39	63
76.19	77.70	69.84	14.29	72.59	63
50.00	75.66	81.58	7.89	63.72	41
52.83	82.39	67.92	9.43	6430.82	55
41.51	78.80	71.70	5.66	5946.69	55
47.06	79.20	64.71	7.84	6027.06	52
47.06	84.53	73.53	0.00	6546.92	36
47.62	82.31	66.67	0.00	6357.05	22
52.17	86.35	78.26	0.00	6935.34	26
50.00	84.93	78.57	0.00	6794.10	16
57.14	85.18	71.43	0.00	6981.46	16
57.14	82.88	71.43	0.00	6900.63	16

EK 6 Başlangıç Çözümü Lineer Düzeltme Öncesi GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

81.25	81.14	56.25	0.00	76.21	16
84.09	70.56	63.64	0.00	75.26	44
95.45	68.34	52.27	13.64	74.60	44
86.36	69.29	68.18	9.09	74.93	44
61.02	82.80	57.63	30.51	61.86	61
55.93	79.55	61.02	11.86	62.84	61
45.76	80.33	72.88	16.95	59.90	61

EK 7 Başlangıç Çözümünde Lineer Düzeltme Sonrası GA Uygulama Sonuç Örnekleri

Zamanında Varış Uyumu	Verimlilik Uyumu	Mesafe Uyumu	Rampa Uyumu	Skor	Taşıma Sayısı
91.53	88.78	86.44	0.00	89.55	61
89.83	88.45	83.05	0.00	87.99	61
84.75	88.00	94.92	0.00	87.92	61
86.44	85.53	86.44	0.00	86.12	61
89.83	85.60	83.05	0.00	86.99	61
88.14	86.06	84.75	0.00	86.73	61
83.05	85.21	88.14	0.00	84.82	61
96.00	95.71	100.00	0.00	96.70	28
92.00	96.10	96.00	0.00	94.23	28
96.00	92.45	92.00	0.00	93.96	28
92.42	88.48	92.42	0.00	91.04	69
78.79	82.79	77.27	16.67	76.55	69
78.79	85.24	71.21	22.73	74.98	69
96.97	86.43	90.91	0.00	92.07	69
93.94	87.56	92.42	0.00	91.40	69
89.23	88.34	90.77	0.00	89.23	68
93.85	87.18	84.62	0.00	89.67	68

EK 7 Başlangıç Çözümünde Lineer Düzeltme Sonrası GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

90.77	88.56	87.69	0.00	89.38	68
93.85	89.11	89.23	0.00	91.26	68
86.15	88.41	90.77	0.00	87.87	68
95.38	89.16	87.69	0.00	91.67	68
96.92	87.05	86.15	0.00	91.31	68
95.38	88.35	90.77	0.00	92.00	68
95.83	94.64	83.33	0.00	92.92	26
100.00	95.90	90.00	0.00	96.56	22
100.00	94.38	80.00	0.00	94.03	22
96.83	85.07	92.06	0.00	91.76	63
95.24	85.76	88.89	0.00	90.65	63
96.83	86.91	87.30	0.00	91.45	63
98.41	86.74	88.89	0.00	92.42	63
93.65	84.91	88.89	0.00	89.64	63
100.00	86.96	84.13	0.00	92.26	63
92.11	90.69	89.47	0.00	91.09	41
92.45	90.48	84.91	0.00	9025.31	55
86.79	88.94	84.91	0.00	8716.56	55
92.16	90.38	88.24	0.00	9074.90	52
82.35	93.80	85.29	0.00	8694.76	36
90.48	94.14	90.48	0.00	9175.79	22
86.96	92.45	86.96	0.00	8887.95	26
92.86	97.95	85.71	0.00	9321.11	16
92.86	92.53	78.57	0.00	8988.38	16
92.86	90.49	85.71	0.00	9059.86	16
100.00	90.28	75.00	0.00	91.60	16
97.73	75.21	81.82	0.00	86.66	44
100.00	73.95	81.82	0.00	87.24	44

EK 8 GA Uygulama Sonuç Örnekleri

Çözüm	Lineer Düzeltme	Zamanında Varış Uyumu	Toplam Kilometre Uyumu	Verimlilik Derecesi	Rampa Uyumu	Skor
BÇ	Önce	59.02	59.02	80.29	37.70	66.46
BÇ	Sonra	88.52	86.89	85.26	0.00	87.05
SÇ	Önce	88.52	86.89	85.26	0.00	87.05
SÇ	Sonra	88.52	86.89	85.26	0.00	87.05
BÇ	Önce	54.10	62.30	76.94	13.11	63.73
BÇ	Sonra	86.89	83.61	83.02	0.00	84.88
SÇ	Önce	86.89	83.61	83.02	0.00	84.88
SÇ	Sonra	86.89	83.61	83.02	0.00	84.88
BÇ	Önce	44.26	73.77	76.53	18.03	61.46
BÇ	Sonra	81.97	95.08	83.42	0.00	85.10
SÇ	Önce	81.97	95.08	83.42	0.00	85.10
SÇ	Sonra	83.61	95.08	82.77	0.00	85.61
BÇ	Önce	52.46	65.57	75.37	22.95	63.10
BÇ	Sonra	83.61	86.89	82.04	0.00	83.71
SÇ	Önce	83.61	86.89	82.04	0.00	83.71
SÇ	Sonra	85.25	88.52	83.33	0.00	85.23
BÇ	Önce	49.18	63.93	76.21	19.67	61.59
BÇ	Sonra	86.89	83.61	81.27	0.00	84.26
SÇ	Önce	86.89	83.61	81.27	0.00	84.26
SÇ	Sonra	88.52	83.61	82.46	0.00	85.42
BÇ	Önce	52.46	57.38	77.66	14.75	62.26
BÇ	Sonra	85.25	85.25	81.65	0.00	83.99
SÇ	Önce	85.25	85.25	81.65	0.00	83.99
SÇ	Sonra	85.25	85.25	82.05	0.00	84.13
BÇ	Önce	47.54	73.77	77.13	13.11	63.14
BÇ	Sonra	80.33	88.52	80.68	0.00	82.09
SÇ	Önce	80.33	88.52	80.68	0.00	82.09

EK 8 GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

SÇ	Sonra	80.33	91.80	80.81	1.64	82.79
BÇ	Önce	53.57	85.71	89.50	0.00	72.57
BÇ	Sonra	85.71	100.00	92.63	0.00	90.99
SÇ	Önce	85.71	100.00	92.63	0.00	90.99
SÇ	Sonra	85.71	100.00	93.55	0.00	91.31
BÇ	Önce	57.14	85.71	86.10	7.14	72.99
BÇ	Sonra	82.14	96.43	88.31	0.00	87.16
SÇ	Önce	82.14	96.43	88.31	0.00	87.16
SÇ	Sonra	78.57	100.00	89.67	3.57	86.74
BÇ	Önce	57.14	82.14	82.27	0.00	70.94
BÇ	Sonra	85.71	92.86	88.71	0.00	88.19
SÇ	Önce	85.71	92.86	88.71	0.00	88.19
SÇ	Sonra	85.71	100.00	89.15	0.00	89.77
BÇ	Önce	63.77	69.57	78.25	23.19	70.00
BÇ	Sonra	88.41	92.75	85.49	0.00	88.26
SÇ	Önce	88.41	92.75	85.49	0.00	88.26
SÇ	Sonra	89.86	94.20	83.83	0.00	88.62
BÇ	Önce	57.97	69.57	74.28	10.14	66.00
BÇ	Sonra	75.36	76.81	81.51	18.84	77.80
SÇ	Önce	84.06	76.81	79.33	0.00	80.95
SÇ	Sonra	92.75	81.16	84.71	33.33	87.62
BÇ	Önce	60.87	63.77	80.28	18.84	68.24
BÇ	Sonra	75.36	71.01	83.03	23.19	77.18
SÇ	Önce	82.61	81.16	80.09	4.35	81.44
SÇ	Sonra	89.86	82.61	85.29	37.68	86.81
BÇ	Önce	66.67	72.46	76.16	20.29	71.15
BÇ	Sonra	92.75	91.30	82.48	0.00	88.87
SÇ	Önce	92.75	91.30	82.48	0.00	88.87
SÇ	Sonra	94.20	91.30	84.38	0.00	90.19
BÇ	Önce	62.32	62.32	75.93	14.49	67.08

EK 8 GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

BÇ	Sonra	89.86	92.75	84.62	0.00	88.60
SÇ	Önce	89.86	92.75	84.62	0.00	88.60
SÇ	Sonra	89.86	92.75	84.86	0.00	88.69
BÇ	Önce	58.82	64.71	77.18	13.24	66.43
BÇ	Sonra	85.29	91.18	84.71	0.00	86.27
SÇ	Önce	85.29	91.18	84.71	0.00	86.27
SÇ	Sonra	85.29	91.18	85.10	0.00	86.40
BÇ	Önce	60.29	75.00	74.31	25.00	68.14
BÇ	Sonra	89.71	85.29	83.62	0.00	86.69
SÇ	Önce	89.71	85.29	83.62	0.00	86.69
SÇ	Sonra	89.71	85.29	83.93	0.00	86.80
BÇ	Önce	57.35	72.06	78.64	22.06	67.74
BÇ	Sonra	86.76	88.24	85.88	0.00	86.75
SÇ	Önce	86.76	88.24	85.88	0.00	86.75
SÇ	Sonra	88.24	88.24	84.62	0.00	86.97
BÇ	Önce	63.24	63.24	77.40	16.18	68.19
BÇ	Sonra	89.71	89.71	84.95	0.00	88.04
SÇ	Önce	89.71	89.71	84.95	0.00	88.04
SÇ	Sonra	89.71	89.71	85.30	0.00	88.17
BÇ	Önce	57.35	69.12	78.35	14.71	67.05
BÇ	Sonra	82.35	91.18	84.42	0.00	84.84
SÇ	Önce	82.35	91.18	84.42	0.00	84.84
SÇ	Sonra	82.35	91.18	84.51	0.00	84.87
BÇ	Önce	63.24	64.71	78.09	16.18	68.73
BÇ	Sonra	91.18	86.76	85.41	0.00	88.28
SÇ	Önce	91.18	86.76	85.41	0.00	88.28
SÇ	Sonra	91.18	91.18	84.76	0.00	88.93
BÇ	Önce	66.18	70.59	76.78	23.53	70.77
BÇ	Sonra	92.65	86.76	85.29	0.00	88.89
SÇ	Önce	92.65	86.76	85.29	0.00	88.89

EK 8 GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

SÇ	Sonra	92.65	86.76	85.76	0.00	89.06
BÇ	Önce	60.29	61.76	77.55	11.76	66.63
BÇ	Sonra	91.18	91.18	84.60	0.00	88.88
SÇ	Önce	91.18	91.18	84.60	0.00	88.88
SÇ	Sonra	91.18	91.18	84.93	0.00	88.99
BÇ	Önce	57.69	84.62	81.76	0.00	71.50
BÇ	Sonra	88.46	84.62	89.62	0.00	88.10
SÇ	Önce	88.46	84.62	89.62	0.00	88.10
SÇ	Sonra	88.46	88.46	89.57	0.00	88.85
BÇ	Önce	63.64	63.64	81.51	0.00	69.89
BÇ	Sonra	90.91	90.91	88.94	0.00	90.22
SÇ	Önce	90.91	90.91	88.94	0.00	90.22
SÇ	Sonra	90.91	90.91	89.06	0.00	90.26
BÇ	Önce	54.55	81.82	78.99	0.00	68.56
BÇ	Sonra	90.91	81.82	87.21	0.00	87.80
SÇ	Önce	90.91	81.82	87.21	0.00	87.80
SÇ	Sonra	90.91	81.82	87.21	0.00	87.80
BÇ	Önce	77.78	66.67	77.91	12.70	75.60
BÇ	Sonra	96.83	92.06	85.07	0.00	91.76
SÇ	Önce	96.83	92.06	85.07	0.00	91.76
SÇ	Sonra	96.83	93.65	85.33	0.00	92.17
BÇ	Önce	79.37	69.84	75.31	17.46	76.04
BÇ	Sonra	95.24	88.89	85.76	0.00	90.65
SÇ	Önce	95.24	88.89	85.76	0.00	90.65
SÇ	Sonra	95.24	88.89	86.41	0.00	90.88
BÇ	Önce	74.60	71.43	79.77	17.46	75.78
BÇ	Sonra	96.83	87.30	86.91	0.00	91.45
SÇ	Önce	96.83	87.30	86.91	0.00	91.45
SÇ	Sonra	96.83	87.30	87.55	0.00	91.67
BÇ	Önce	77.78	57.14	78.20	4.76	73.80

EK 8 GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

BÇ	Sonra	98.41	88.89	86.74	0.00	92.42
SÇ	Önce	98.41	88.89	86.74	0.00	92.42
SÇ	Sonra	98.41	88.89	87.19	0.00	92.58
BÇ	Önce	77.78	69.84	76.25	6.35	75.66
BÇ	Sonra	93.65	88.89	84.91	0.00	89.64
SÇ	Önce	80.95	69.84	79.27	9.52	78.14
SÇ	Sonra	95.24	90.48	88.59	0.00	91.96
BÇ	Önce	76.19	69.84	77.70	14.29	75.45
BÇ	Sonra	100.00	84.13	86.96	0.00	92.26
SÇ	Önce	100.00	84.13	86.96	0.00	92.26
SÇ	Sonra	98.41	84.13	86.07	0.00	91.23
BÇ	Önce	46.34	82.93	75.14	7.32	63.74
BÇ	Sonra	85.37	90.24	88.07	0.00	87.29
SÇ	Önce	85.37	90.24	88.07	0.00	87.29
SÇ	Sonra	85.37	90.24	88.43	2.44	87.41
BÇ	Önce	50.91	69.09	80.52	14.55	6490.95
BÇ	Sonra	89.09	85.45	87.27	0.00	8772.73
SÇ	Önce	89.09	85.45	87.27	0.00	8772.73
SÇ	Sonra	89.09	85.45	87.27	0.00	8772.73
BÇ	Önce	40.00	72.73	76.75	7.27	5940.90
BÇ	Sonra	83.64	85.45	85.87	0.00	8478.13
SÇ	Önce	83.64	85.45	85.87	0.00	8478.13
SÇ	Sonra	83.64	85.45	85.87	0.00	8478.17
BÇ	Önce	46.15	65.38	78.82	11.54	6143.15
BÇ	Sonra	90.38	88.46	88.68	0.00	8940.43
SÇ	Önce	90.38	88.46	88.68	0.00	8940.43
SÇ	Sonra	90.38	88.46	88.82	0.00	8945.11
BÇ	Önce	44.44	72.22	81.93	0.00	6312.06
BÇ	Sonra	77.78	86.11	90.60	0.00	8393.09
SÇ	Önce	52.78	75.00	74.46	0.00	6481.11

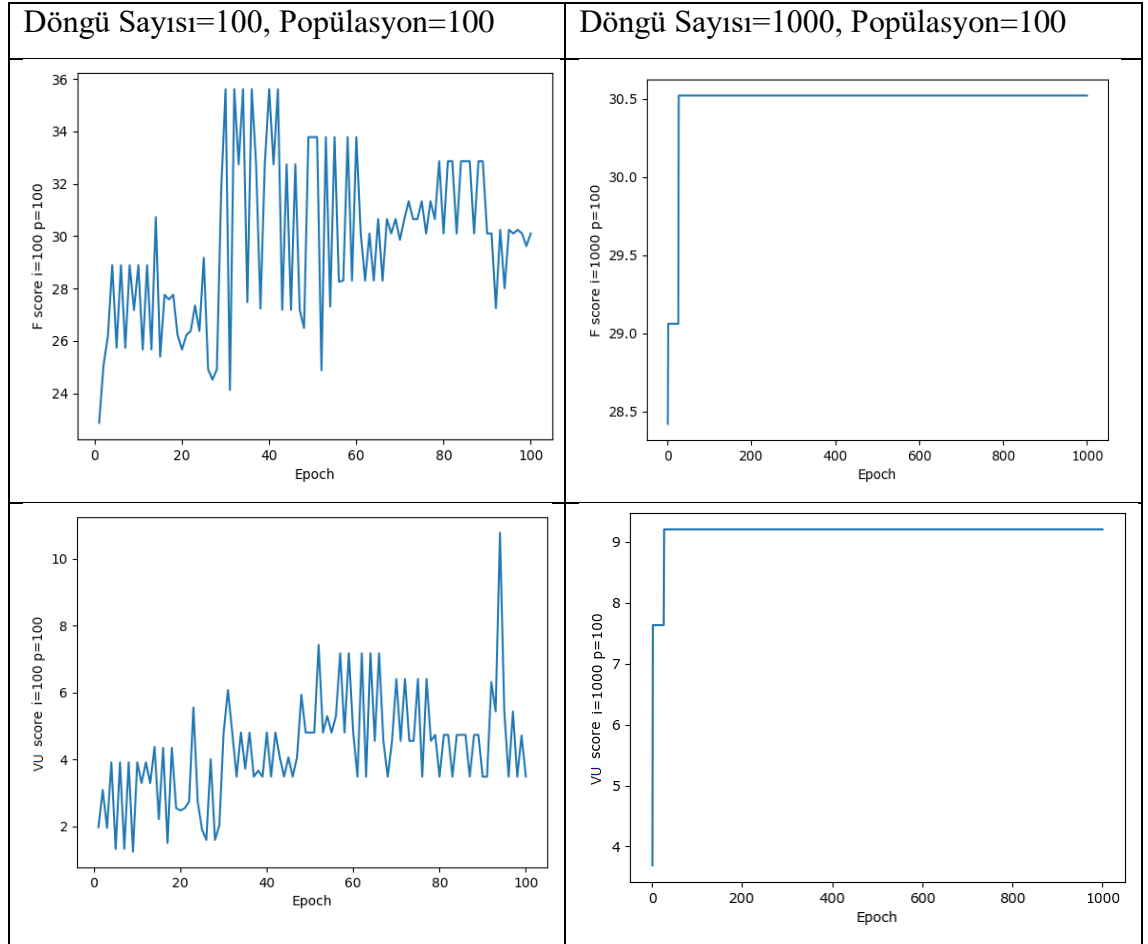
EK 8 GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

SÇ	Sonra	77.78	88.89	90.26	0.00	8436.98
BÇ	Önce	50.00	68.18	82.98	0.00	6517.87
BÇ	Sonra	90.91	90.91	94.27	0.00	9208.48
SÇ	Önce	90.91	90.91	94.27	0.00	9208.48
SÇ	Sonra	90.91	90.91	94.27	0.00	9208.48
BÇ	Önce	46.15	76.92	80.70	0.00	6439.77
BÇ	Sonra	76.92	84.62	84.12	0.00	8098.06
SÇ	Önce	76.92	84.62	84.12	0.00	8098.06
SÇ	Sonra	76.92	84.62	84.74	0.00	8119.76
BÇ	Önce	43.75	81.25	82.14	0.00	6468.78
BÇ	Sonra	81.25	87.50	93.53	0.00	8679.92
SÇ	Önce	81.25	87.50	93.53	0.00	8679.92
SÇ	Sonra	81.25	87.50	93.53	0.00	8679.92
BÇ	Önce	50.00	75.00	78.44	0.00	6495.42
BÇ	Sonra	81.25	81.25	81.98	0.00	8150.63
SÇ	Önce	81.25	81.25	81.98	0.00	8150.63
SÇ	Sonra	81.25	81.25	82.15	0.00	8156.43
BÇ	Önce	50.00	75.00	77.07	0.00	6447.30
BÇ	Sonra	81.25	87.50	89.11	0.00	8524.97
SÇ	Önce	81.25	87.50	89.11	0.00	8524.97
SÇ	Sonra	81.25	87.50	89.44	0.00	8536.56
BÇ	Önce	81.25	56.25	81.14	0.00	76.21
BÇ	Sonra	100.00	75.00	90.28	0.00	91.60
SÇ	Önce	100.00	75.00	90.28	0.00	91.60
SÇ	Sonra	100.00	75.00	90.52	0.00	91.68
BÇ	Önce	84.09	63.64	70.56	0.00	75.26
BÇ	Sonra	97.73	81.82	75.21	0.00	86.66
SÇ	Önce	97.73	81.82	75.21	0.00	86.66
SÇ	Sonra	97.73	81.82	75.44	0.00	86.74
BÇ	Önce	95.45	52.27	68.34	13.64	77.33

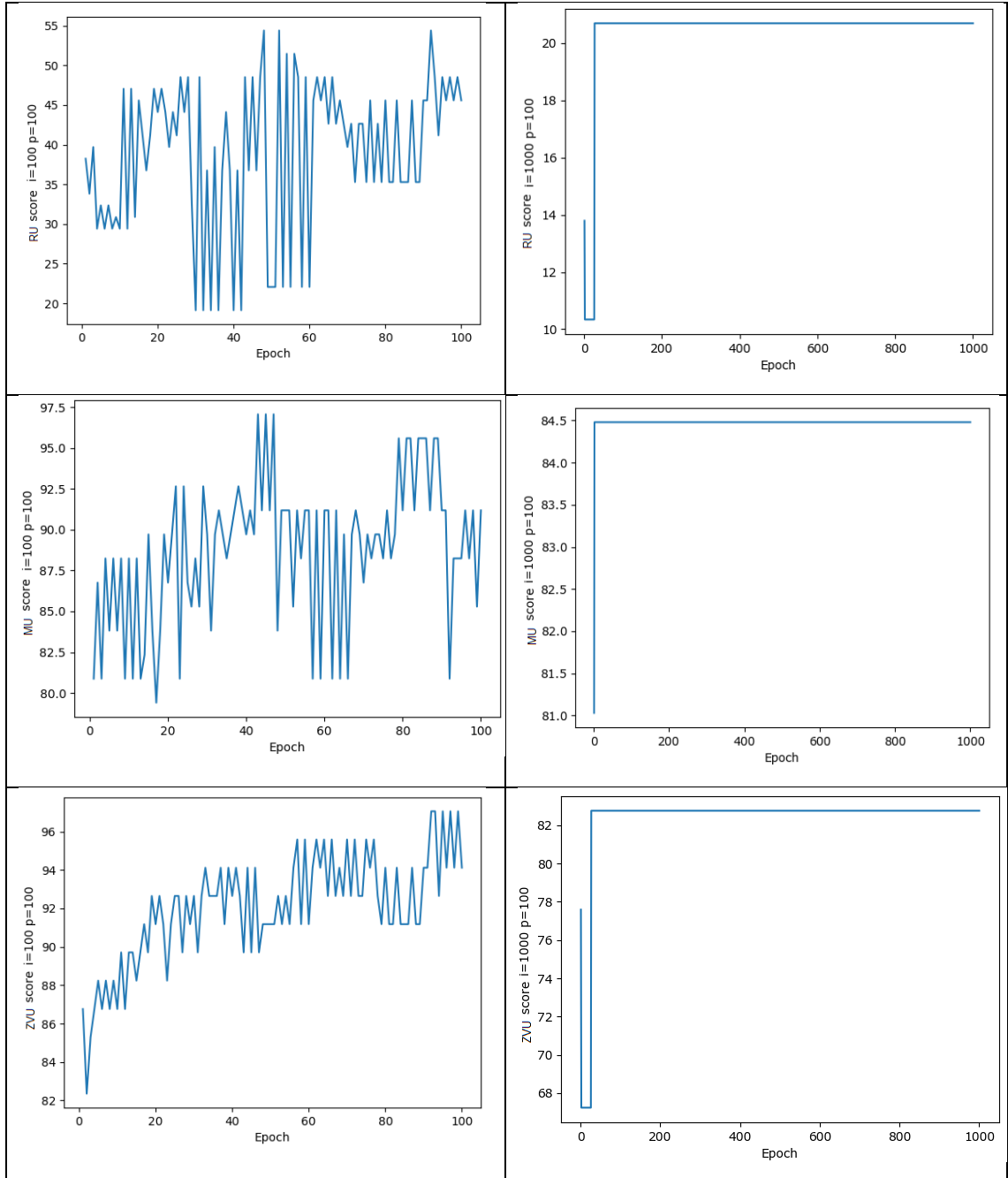
EK 8 GA Uygulama Sonuç Örnekleri (Devam)

BÇ	Sonra	100.00	81.82	73.95	0.00	87.24
SÇ	Önce	100.00	81.82	73.95	0.00	87.24
SÇ	Sonra	100.00	81.82	74.09	0.00	87.30
BÇ	Önce	86.36	68.18	69.29	9.09	76.75
BÇ	Sonra	95.45	81.82	75.93	0.00	85.89
SÇ	Önce	95.45	81.82	75.93	0.00	85.89
SÇ	Sonra	95.45	81.82	75.93	0.00	85.89
BÇ	Önce	59.02	59.02	80.29	37.70	66.46

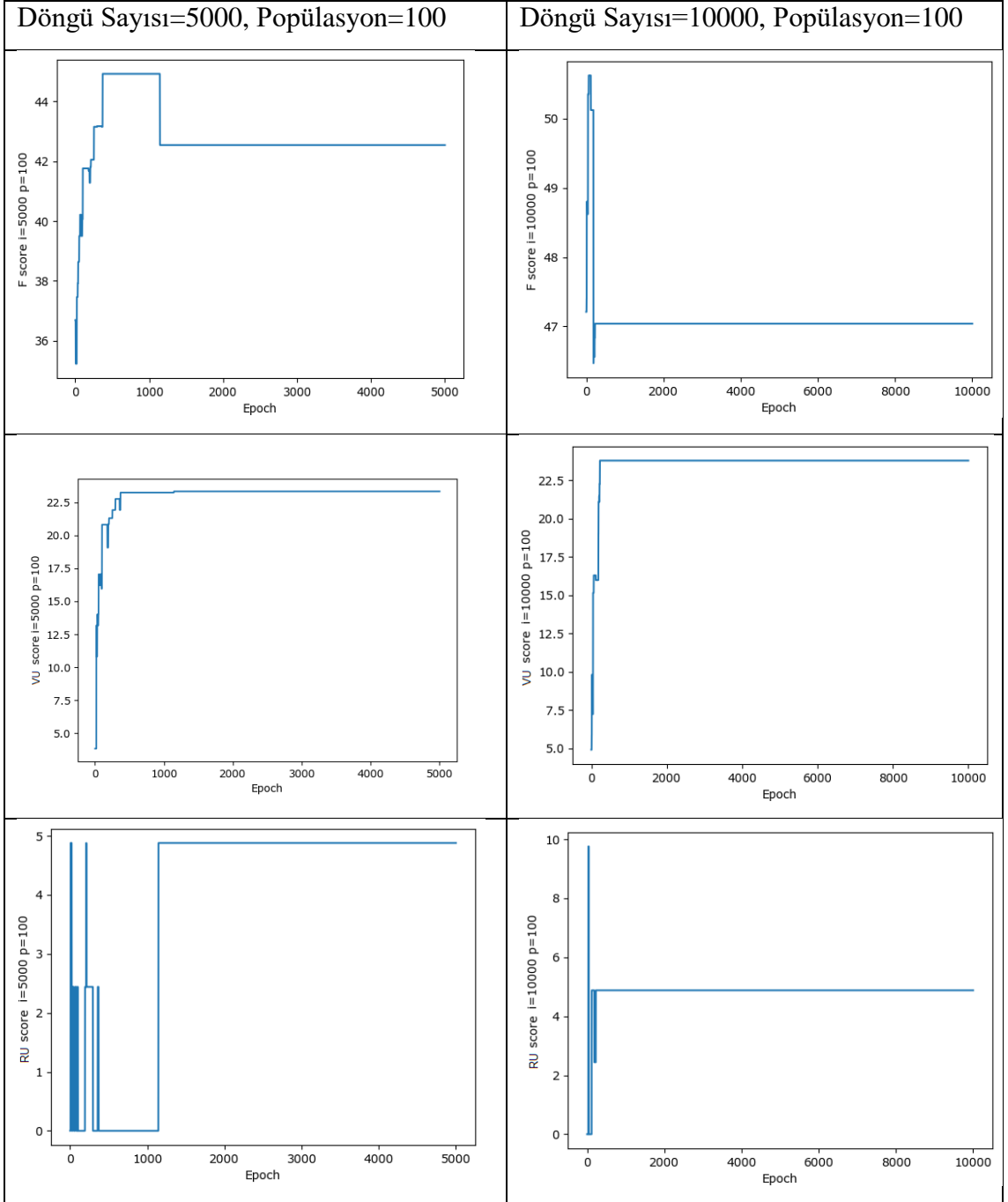
Ek 9 GA Test Sonuçları



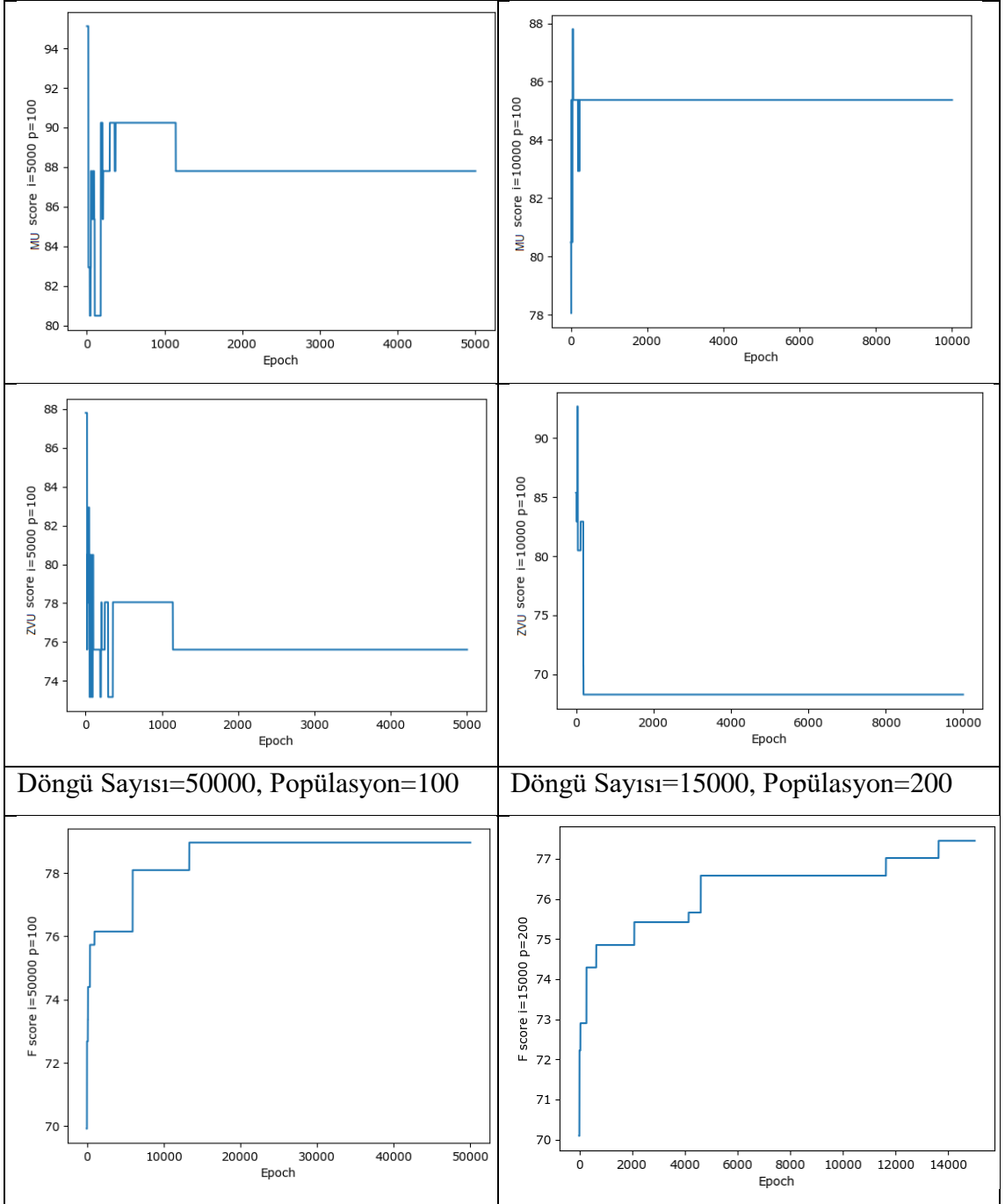
Ek 9 GA Test Sonuçları (Devam)



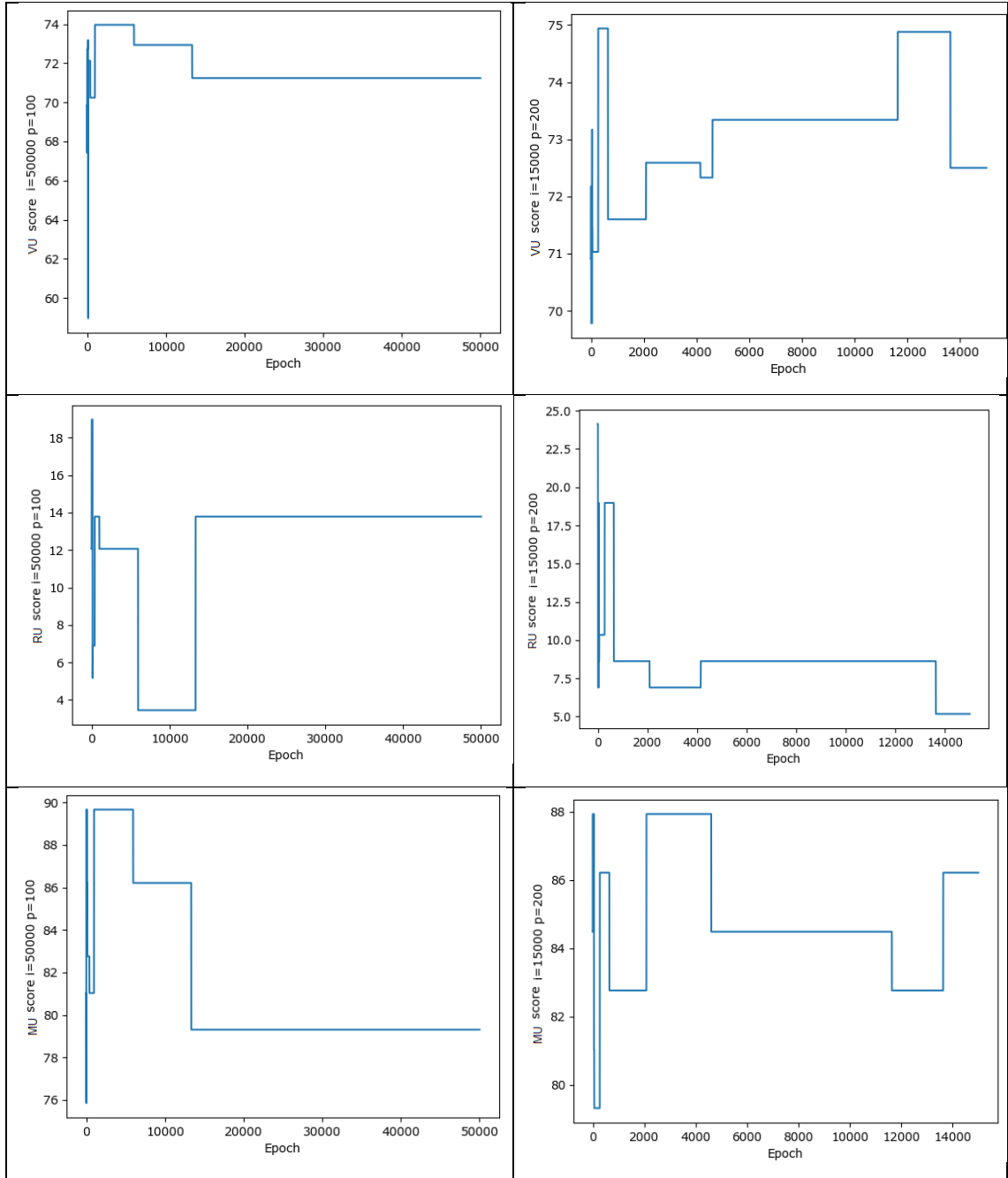
Ek 9 GA sonuçları (Devam)



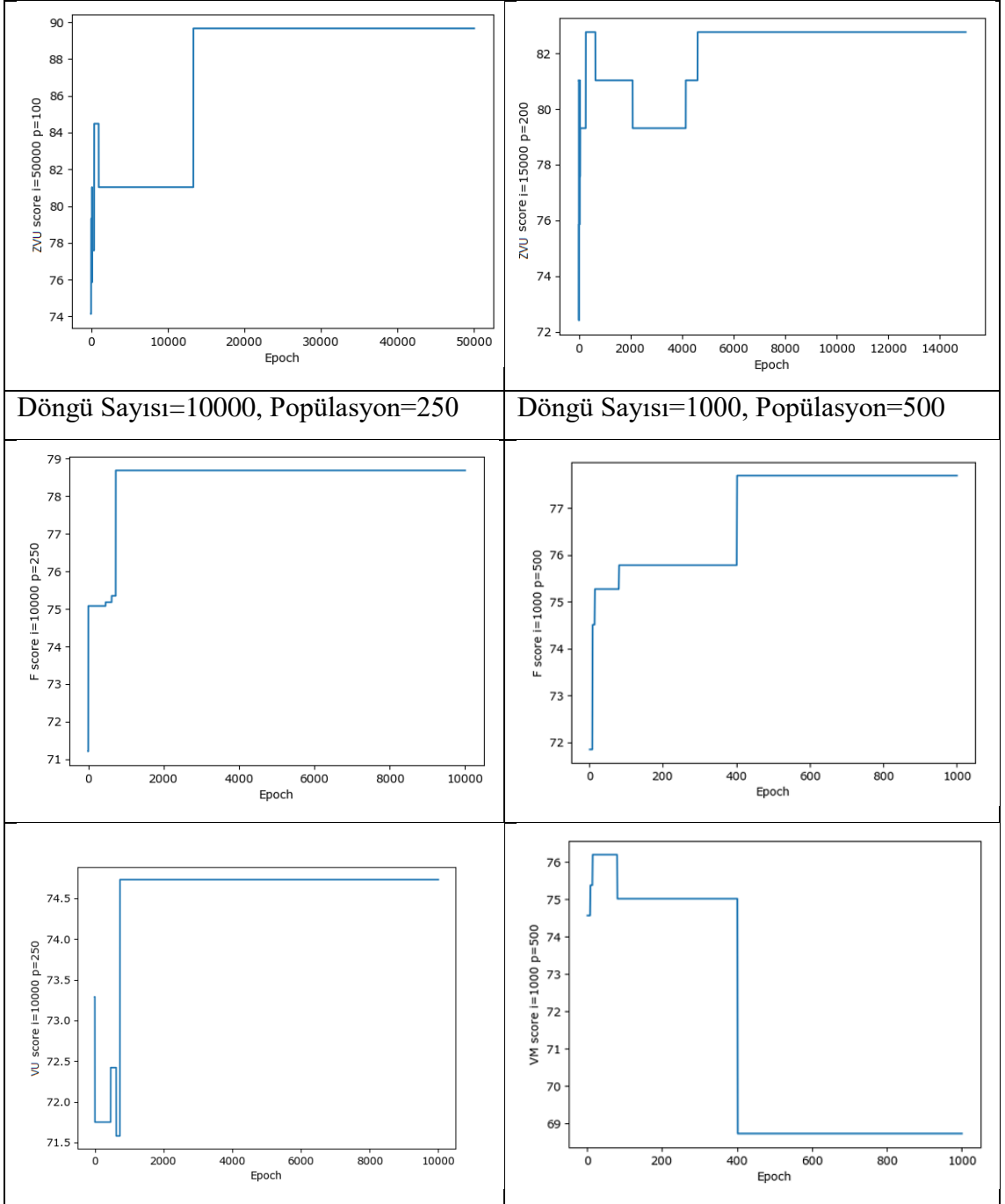
Ek 9 GA sonuçları (Devam)



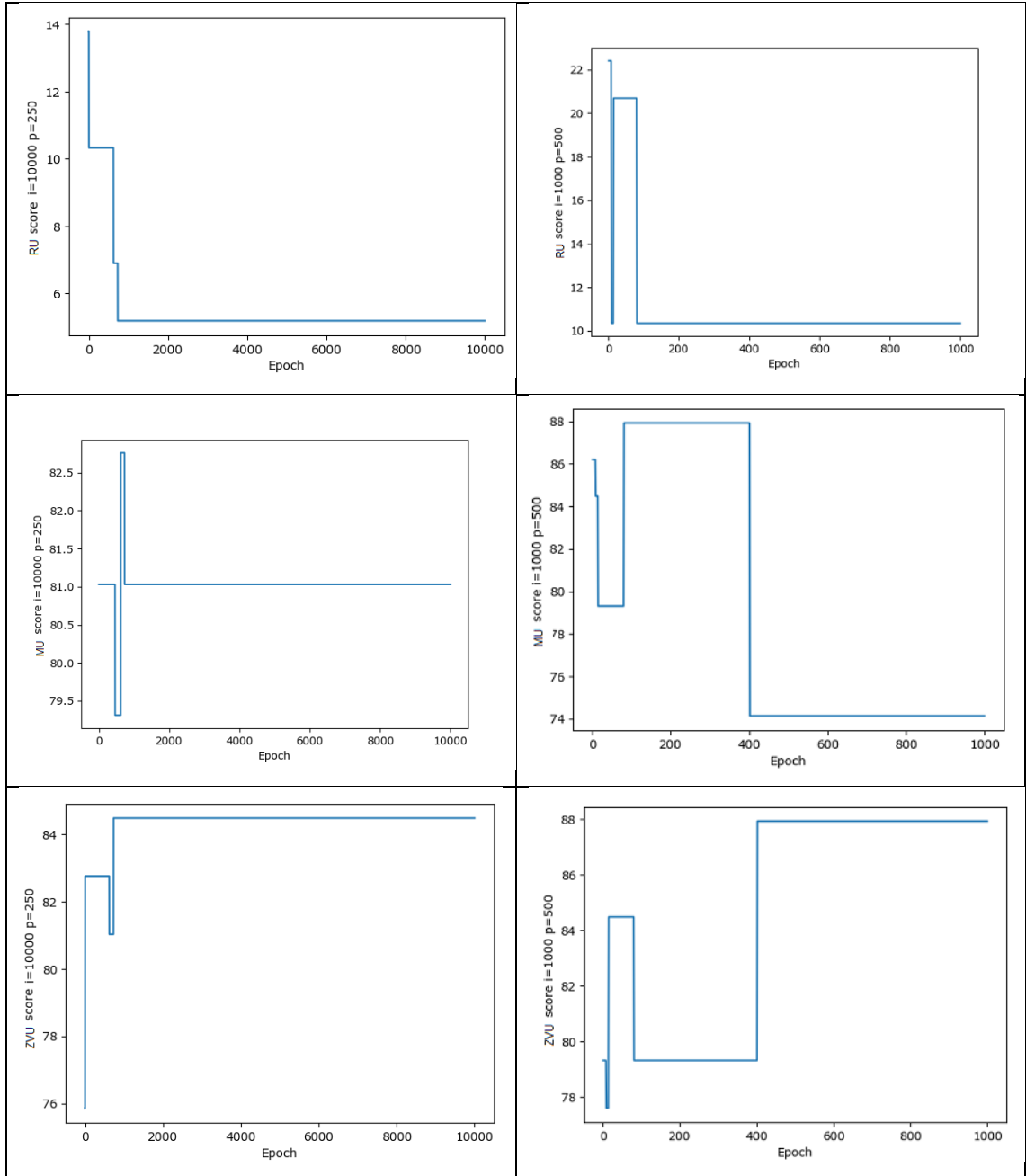
Ek 9 GA sonuçları (Devam)



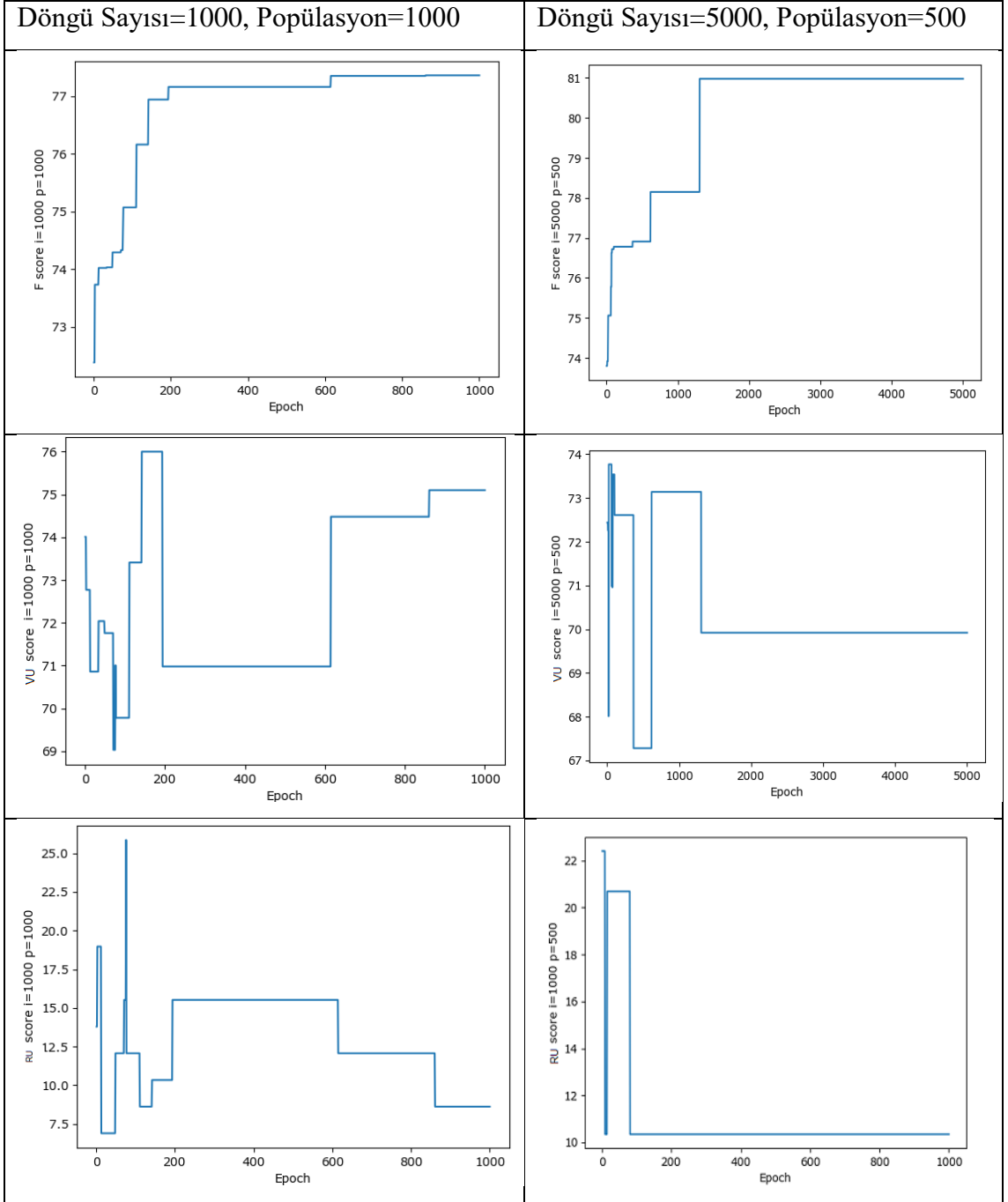
Ek 9 GA sonuçları (Devam)



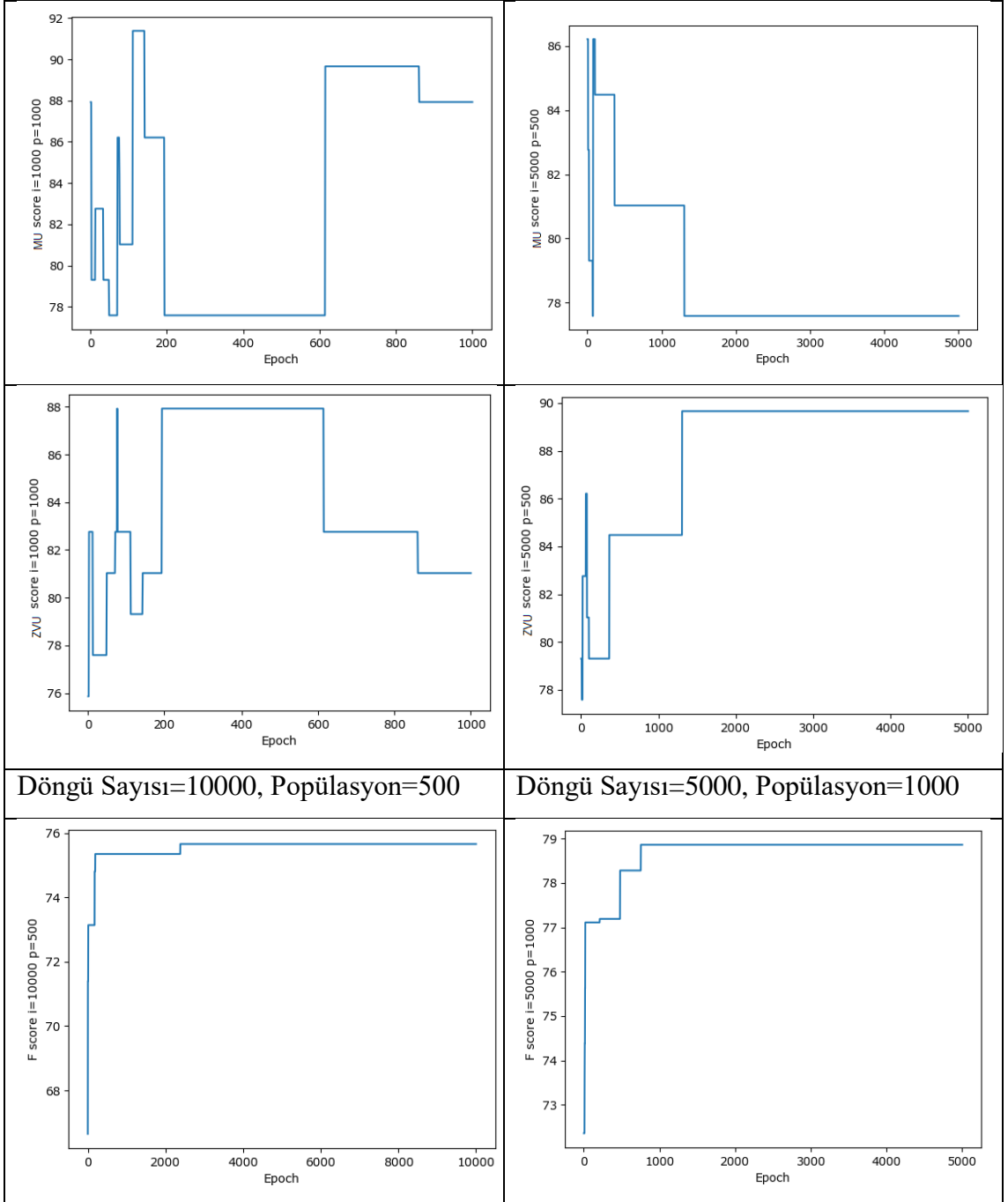
Ek 9 GA sonuçları (Devam)



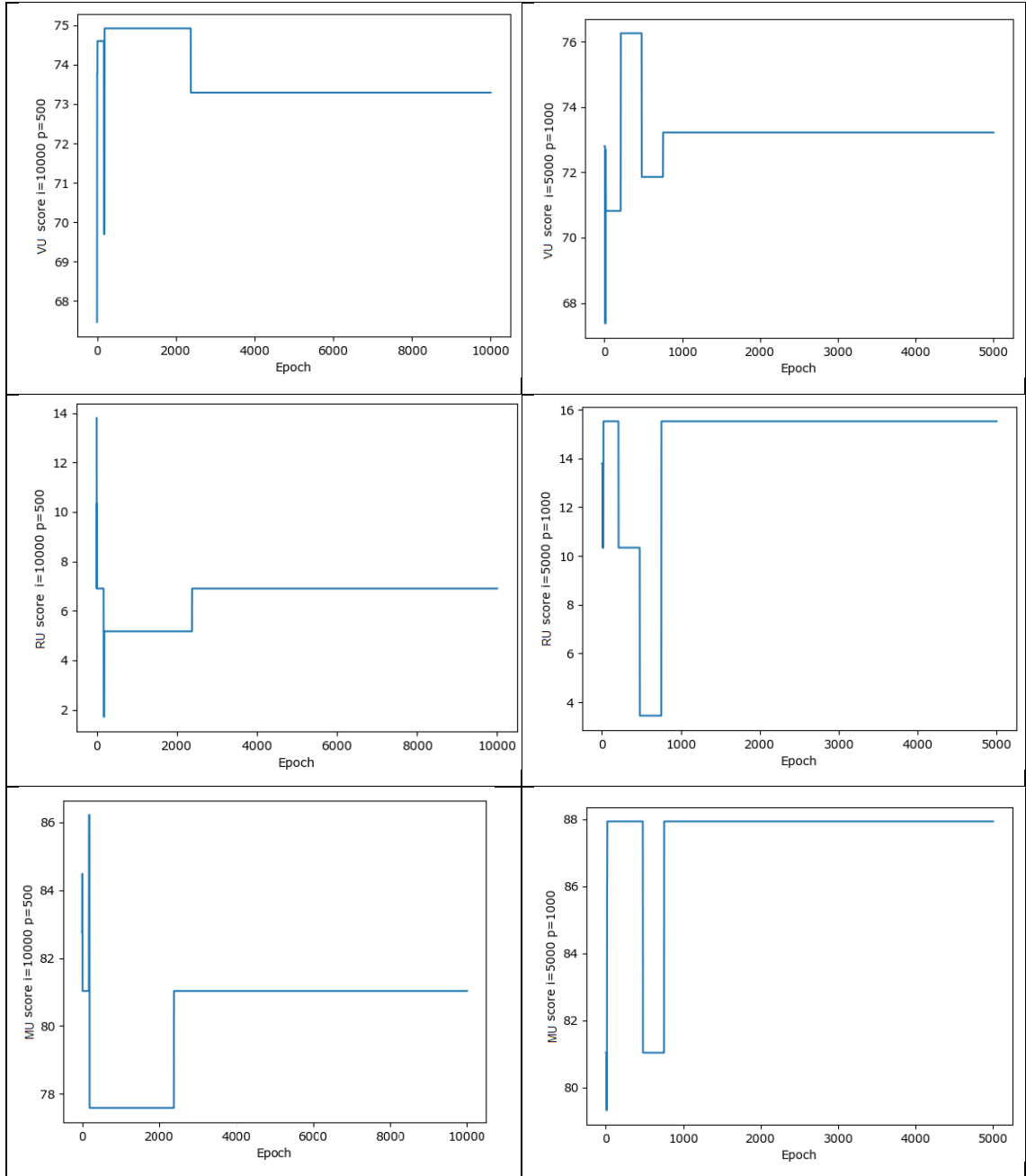
Ek 9 GA sonuçları (Devam)



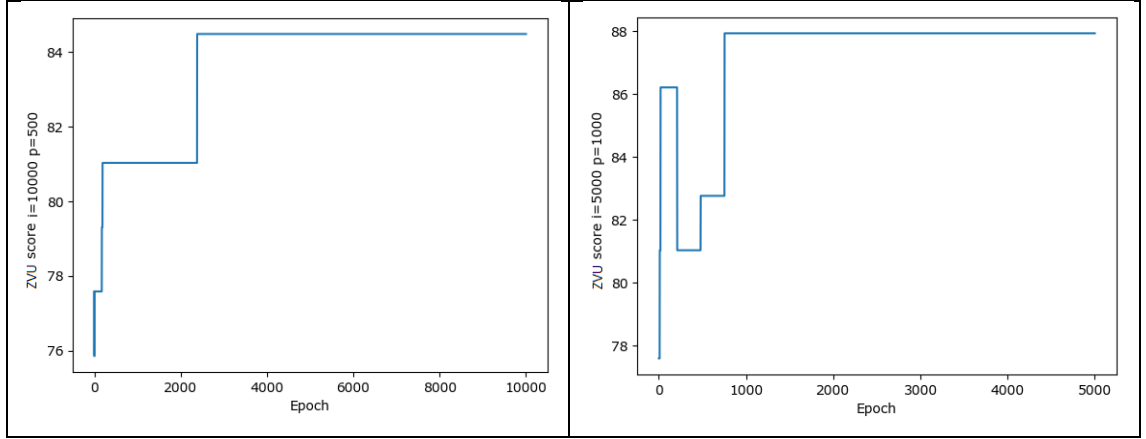
Ek 9 GA sonuçları (Devam)



Ek 9 GA sonuçları (Devam)



Ek 9 GA sonuçları (Devam)



ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı : Nisanur Bulut
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmaniye-19.08.1992
Yabancı Dil : İngilizce, Almanca
- Eğitim Durumu
Lise : Adnan Oğuz Anadolu Lisesi, Fen Bilimler
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik
Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği
- Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Sarp Havacılık Lojistik Turizm San. Tic. A.Ş (01.2019)
Dualsoft Yazılım ve Eğitim Hizmetleri LTD. ŞTİ.
(10.2017-10.2018)
Begüm Yazılım (01.2017-07.2017)
- İletişim (e-posta) : nisanurbulutnb@gmail.com
- Yayımları :
- Bilgin, M., Bulut, N. 2020.** A New Approach Based on Simulation of Annealing to Solution of Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. ICAIAME, International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering Congress, 9-10-11 October 2020, Springer, Antalya.
- Bilgin, M., Bulut, N. 2020.** Compatibility Themed Solution of the Vehicle Routing Problem on the Heterogeneous Fleet, The International Arab Journal of Information Technology . (Değerlendirme Aşamasında)