

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇÜNCÜ PARTİ LOJİSTİK (3PL) SERVİSİ
KULLANAN BİR PERAKENDE DAĞITIM MERKEZİ İÇİN TAŞIMA
PLANLAMA PROBLEMİ OPTİMİZASYON MODELİ VE SEZGİSEL ÇÖZÜM
YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Behiye Eda ÇABUK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL

**TEZİN SAVUNULDUĞU AY YIL
MAYIS 2021**



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Öğrenci Adı Soyadı
Behiye Eda ÇABUK



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇÜNCÜ PARTİ LOJİSTİK (3PL) SERVİSİ KULLANAN BİR PERAKENDE DAĞITIM MERKEZİ İÇİN TAŞIMA PLANLAMA PROBLEMİ OPTİMİZASYON MODELİ VE SEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Behiye Eda ÇABUK

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadir ERTOGRAL

Tarih: Mayıs 2021

İşletmeler mevcuttaki rekabet ortamında geride kalmamak amacıyla dağıtım süreci yönetimi ve planlaması üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalardan en önemlisi merkezden müşterilere gerçekleşecek olan taşıma işlemi için en etkin ve verimli araç rotasının oluşturulmasıdır. Araç Rotalama Problemi (ARP), müşteri taleplerini karşılamak amacıyla araç filosu ile en küçük maliyet oluşturan rotaların kararlaştırılması işlemidir. Tez kapsamında, Çok Turlu ve Zaman Pencereci ARP üzerinde çalışılmıştır. Literatür kapsamında Çok Turlu ve Zaman Pencereci ARP ile genellikle kısa ömürlü olup tedarik süresi kritik olan ürünlerde karşılaşılmaktadır. Tez kapsamında üçüncü parti lojistik servisi kullanan bir depodan belirli kapasitelerdeki araçlardan oluşan filo ile zaman penceresi kısıtı altında şubelere ürünlerin günlük olarak dağıtımının yapıldığı bir taşıma problemi ele alınmıştır. Ele aldığımız problemin önemli farkı amacı itibarıyla klasik rota uzunluğu minimizasyonu yerine, deponun bir 3pl şirketine ödediği ve toplam tur sayısına bağlı olan dağıtım maliyetinin en azlanmasının hedeflenmiş olmasıdır. Dağıtımda heterojen kapasiteli bir filo kullanılmaktadır ve farklı araçlar için tur başına ödenen tutar farklıdır. Araçların şubelere en erken varış zamanı ve şubelerden en geç ayrılma zamanı problem kapsamında sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte şubenin bulunduğu lokasyona bağlı kısıtlar nedeniyle her aracın her şubeye taşıma yapabilmesi mümkün olmamaktadır. Araçlar gün içinde gerekirse ve süre kısıtı elverirse birden fazla tur yapabilmektedir. Problem çözümü için ilk olarak bir tamsayı programlama modeli formüle edilmiştir. Buna ek olarak pratikte rastlanacak büyük problemlerin çözümü için aç gözlü arama

sınıfında sayılabilecek bir sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Önerilen sezgiselin etkinliğini doğrulamak için sayısal deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerdiğimiz algoritmamızın en iyiye yakın çözüm kısa sürede elde edebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Araç rotalama problemi, Sezgisel, Çok turlu, Zaman penceresi, Tur maliyeti



ABSTRACT

Master of Science

AN OPTİMİZATION MODEL AND A HEURİSTİC SOLUTION APPROACH FOR A TRANSPORTATION PLANNING PROBLEM OF A DISTRIBUTION CENTER THAT USES THIRD PARTY LOISTICS (3PL) SERVICE

Behiye Eda ÇABUK

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor: Doç. Dr. Kadir ERTOGRAL

Date: May 2021

In today's competitive environment, businesses need to make various decisions in order to optimize and effectively manage their distribution processes. The most important of these works is the creation of the most efficient routes for the transportation that will take place from the center to the customers. Vehicle Routing Problem (VRP) is the process of determining the routes that create the least cost with the vehicle fleet in order to meet customer demands. Within the scope of the thesis, Multi-tour and Time Windowed ARP has been studied. In the literature, Multi-tour and Time Windowed ARP are generally encountered in short-lived products with critical lead times. In this thesis, a transportation problem in which products are distributed daily to branches with a fleet of vehicles with different capacities from a warehouse, using a third party logistics service, is tackled. The important difference of the problem we are dealing with is that instead of the classical route length minimization, it is aimed to minimize the distribution cost that the warehouse pays to a 3pl company and this cost depends on the total number of tours. A fleet with heterogeneous capacity is used in distribution and the amount paid per tour is different for different vehicles. The earliest arrival time of the vehicles to the branches and the latest time to leave the branches are limited in the problem. However, due to the restrictions depending on the location of the branch, it is not possible for every vehicle to transport to each branch. Vehicles can make more than one tour during the day if

necessary and if time limits allow. First, an integer programming model was formulated for the problem. In addition, an heuristic solution approach that can be considered in the greedy search class has been developed for the solution of big size problems encountered in practice. Numerical experiments have been conducted to verify the effectiveness of the proposed heuristic. The experimental results show that our proposed algorithm can achieve a near-optimal solutions in very short run times.

Keywords: Vehicle routing problem, Heuristic, Multi-tour, Time window, Tour cost.



TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.





İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	19
1.1. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri	20
1.1.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi	20
1.1.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi	20
1.1.3. Zaman pencereci araç rotalama problemi	20
1.1.4. Topla dağıt araç rotalama problemi	21
1.1.5. Periyodik araç rotalama problemi	21
1.1.6. Bölünmüş talepli araç rotalama problemi	21
1.1.7. Stokastik araç rotalama problemi	22
1.1.8. Çok turlu ve zaman kısıtlı araç rotalama problemi	22
1.2. Tezin Amacı	23
1.3. Literatür	24
2. PROBLEM TANIMI	27
3. PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ	29
3.1. Kümeler	29
3.2. Parametreler	29
3.3. Karar Değişkenleri	30
3.4. Matematiksel Model Amaç Fonksiyonu	31
3.5. Kısıtlar	31
3.6. Matematiksel Model Gösterimi	34
3.7. Matematiksel Modelin Kodlanması ve Oluşturulan Problem Setleri.....	35
4. GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL YÖNTEM	37
4.1. Geliştirilen Açgözlü Sezgisel Yöntemin İyileştirilmesi.....	39
4.2. Rassallaştırılmış Açgözlü Sezgisel Yöntem.....	39
4.3. Geliştirilen Sezgisel Yöntemin Programlanması	40
5. MATEMATİKSEL MODEL VE SEZGİSEL YÖNTEM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	43
5.1. Veri Seti Detayı	43
5.2. Matematiksel Model ve Sezgisel Yöntem Sonuçları	43
5.3. Büyük Veri Seti İle Sezgisel Yöntem Sonuçları	57
6. GENEL DEĞERLENDİRME	61
KAYNAKLAR	63
EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1: Araç rotalama problemi çeşitleri.....	23
Şekil 2: Açgözlü sezgisel yöntem akış diyagramı	41
Şekil 3: Açgözlü sezgisel yöntem iyileştirme akış diyagramı	42
Şekil 4: Matematiksel model ve sezgisel yöntem maliyet karşılaştırması.....	46
Şekil 5: Matematiksel model araç tipi cinsinden talebi karşılanan şube sayısı.....	46
Şekil 6: Matematiksel model araç doluluk oranları	47
Şekil 7: Sezgisel yöntem araç tipi cinsinden talebi karşılanan şube sayısı	49
Şekil 8: Sezgisel yöntem araç doluluk oranları.....	49
Şekil 9: Matematiksel model ve sezgisel yöntem amaç fonksiyon değeri karşılaştırması	51
Şekil 10: Matematiksel modelin 10 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı	51
Şekil 11: Matematiksel modelin 10 veri seti için araç doluluk oranları	52
Şekil 12: Sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı.....	53
Şekil 13: Sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç doluluk oranları.....	53
Şekil 14: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 30 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı.....	55
Şekil 15: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 30 veri seti için araç doluluk oranları	55
Şekil 16: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı.....	56
Şekil 17: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç doluluk oranları	57
Şekil 18: Rassallaştırılmış sezgisel yöntem için 1000 farklı çözümdeki araç doluluk oranları	59
Şekil 19: Rassallaştırılmış sezgisel yöntem için 1000 farklı çözümdeki araç tipi cinsinden talebi karşılanan şube sayısı.....	59



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1: Matematiksel model ve sezgisel yöntem maliyet ve sapma değerleri.....	44
Tablo 2: Matematiksel modelin 30 veri seti için Cplex OPL üzerinde çözüm süreleri	45
Tablo 3: 30 Veri setindeki farklı λ değerleri için maliyetler.....	48
Tablo 4: Matematiksel model ve sezgisel yöntem maliyet ve sapma değerleri.....	50
Tablo 5: 10 Veri seti için matematiksel modelin Cplex OPL üzerinde çözme süreleri.....	50
Tablo 6: 30 veri seti için matematiksel model ve rassallaştırılmış açgözlü sezgisel yöntem sapma değerleri	54
Tablo 7: 10 veri seti için matematiksel model ve rassallaştırılmış açgözlü sezgisel yöntem sapma değerleri	56
Tablo 8: Rassallaştırılmış sezgisel yöntem için 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 kez çözdürüldüğünde en küçük maliyet değerleri	58



KISALTMALAR

ARP	: Araç Rotalama Problemi
KKARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MKARP	: Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
ÖDSTARP	: Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
ZARP	: Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
BARP	: Bölünmüş Araç Rotalama Problemi
PARP	: Periyodik Araç Rotalama Problemi
SARP	: Stokastik Araç Rotalama Problemi
ÇTZPARP	: Çok Turlu ve Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
IP	: Tamsayı Programlama





1. GİRİŞ

Geçmişten bugüne ihtiyaçların artması ya da güncellenmesi ile birlikte dağıtım ağında da daha iyiye gitme arzusu oluşmuştur. Rekabetin artmasıyla birlikte de firmaların dağıtım ağlarını en az maliyet ve en iyi yöntem ile oluşturma talepleri artmıştır. Lojistik bütçesinin büyük bir kısmı taşımacılık işlemleri için kullanılmaktadır [1]. Bu nedenle dağıtım ağının yönetilmesi için işletmelerin üzerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Geçmişten bugüne bu konuda çok fazla araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların hemen hepsi günlük hayattan örnekler üzerine oluşturulmuştur.

Literatürde Araç Rotalama Problemi (ARP) tanımı altında konuyla ilgili çok çalışmayla ve bu problemin farklı türleri ile karşılaşmaktadır. Araç Rotalama Problemi için birçok araştırmacı tarafından çeşitli matematiksel modeller ve çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. ARP de araçlar depodan rotalarına başlayacak şekilde bir rota ağı oluşturulur. Araç kapasiteleri her ARP için özdeş ya da farklı değerlerde olacak şekilde önceden bilinmektedir. Ek olarak müşteri talepleri de tanımlanmıştır. Bilinen müşteri taleplerinin araçlara bölünmesi gibi bir işlem uygulanmamaktadır. Problemden önemli bir parametre olan depo ile müşteri lokasyonları arası mesafe ve müşteri lokasyonlarının birbirine olan mesafeleri de bilinmektedir.

Bu varsayımlar doğrultusunda ARP'de temel amaç, tüm mağazalar için talepleri karşılandığı en küçük maliyetli rotaların oluşturulmasıdır. Araç rotalama problemleri içerdiği kısıtlara bağlı olarak farklı türleri ortaya çıkmıştır. Araç rotalama problemleri NP-zor problemler olarak bilinmektedir [2].

Araç Rotalama Probleminin birçok çeşidi bulunmaktadır. Bu çalışmada bir tür Çok Turlu ve Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Bu problem ile üretim sektörü ve hizmet sektöründe sıklıkla karşılaşmaktadır. Her bir taşıma için talep, taşınacak miktar, taşımanın başlangıç noktası ve yükün ulaştırılacağı ilgili lokasyon belirlenir. Her araç turuna merkez depo olan başlangıç noktasından başlar ve tekrar merkez depoya dönmesi ile birlikte tamamlanır. Problemin çözümü en küçük maliyetli taşıma planının oluşturulmasını gerektirir.

1.1. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri

Araç rotalama probleminde farklı kısıtlara bağlı olarak sınıflandırmalar yapılmıştır. Oluşturulan sınıflandırma sonucunda 8 farklı türü ortaya çıkmıştır. Aşağıda araç rotalama probleminin farklı varyasyonları detaylı olarak açıklanmıştır ve bu açıklamalar büyük ölçüde referans [2] ye dayanmaktadır.

1.1.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi

Araç rotalama problemlerinin çok sık karşılaşılan bir türüdür. Bu problem tipinde her araç için önceden belirlenmiş kapasiteler vardır ve her müşteri talebi de önceden belirlenmiştir. Araçlar depodan başlayarak müşteri taleplerini karşılayıp depoya tekrar geri dönmektedir. Müşteri talepleri araçların depodan çıkış yaparak tekrar depoya dönüşü ile kararlaştırılan tek tur ile karşılanmaktadır. Bu problem formatında amaç genellikle araçların katettiği mesafenin enküçüklenmesidir. Bu kapsamda da literatürde yer alan birçok çalışma ve farklı matematiksel modeller vardır.

1.1.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi

Literatürde kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin yanı sıra en sık karşılaşılan türlerden bir diğeri de mesafe kısıtlı araç rotalama problemleridir. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri için eş ya da farklı araç kapasitelerine sahip bir filo kullanılabilir. Her araç için aynı ya da araca bağlı olarak farklı katedilebilir maksimum mesafeler tanımlanmıştır. Amaç her araç için belirli olan mesafe kısıtı aşılmadan araçların müşteri taleplerini karşılamasıdır.

1.1.3. Zaman pencereci araç rotalama problemi

Zaman pencereci araç rotalama problemlerini diğer araç rotalama türlerinden ayıran en belirgin özelliği her müşterinin belirlenmiş olan bir zaman aralığı içerisinde taleplerinin karşılanması gerekmektedir. Günlük hayatta çok sık karşılaşılan bir türdür. Zaman pencereci araç rotalama problemleri de kendi içinde 2 farklı türde oluşmaktadır. Bunlardan biri sıkı zaman pencereci araç rotalama problemleridir. Sıkı zaman pencereci araç rotalama probleminde belirlenen en erken teslimat zamanından önce mağazaya hizmet verilebilmektedir. Bu durumda boş zaman olarak nitelendirilen bir bekleme meydana gelmektedir. Diğer bir türü ise esnek zaman pencereci araç rotalama problemleridir. Esnek zaman pencereci araç rotalama probleminde belirlenen zaman penceresi dışında kalan zamanlarda aracın talebi karşılamak amacıyla şubeye ulaşması ya da talebi karşılanan şubeden çıkış yapması ile bir ceza maliyeti oluşmaktadır.

1.1.4. Topla dağıt araç rotalama problemi

Diğer araç rotalama problemlerinden farklı olarak bu problem türünde depodan çıkış yapılarak müşteri taleplerinin karşılanması ile birlikte müşteri tarafından yapılan geri dönüşlerde de toplama işlemi de uygulanmaktadır. Son yıllarda literatürde topla dağıt araç rotalama problemi türüne sıklıkla yer verilmektedir. Hizmet ve üretim sektörlerinde topla dağıt formatındaki araç rotalama problemleri ile karşılaşmaktadır. Topla dağıt araç rotalama problemlerinin kendi içinde 3 türü bulunmaktadır. Bunlardan biri önce dağıt sonra topla araç rotalama problemleridir. Bu formatta toplama işleminden önce müşteri talepleri karşılanmaktadır. Diğer bir türü ise karma topla dağıt araç rotalama problemleridir. Bu problem tipinde önce dağıt sonra topla araç rotalama probleminden farklı olarak dağıtma ve toplama işlemi için bir öncelik sıralaması bulunmamaktadır. Yani dağıtma ve toplama işlemleri farklı sıralarda gerçekleştirilebilir. Bir hizmet sektörü olan kargo firmalarında da benzer formatta depodan kargoların ilgili rotalara ulaştırılmasına ek olarak aynı süreç içinde diğer lokasyonlar üzerinden de iade edilecek olan kargoların toplanması işlemi gerçekleştirilebilir. Son format olarak da eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemleridir. Eş zamanlı olarak müşterilerin talepleri karşılanırken aynı müşteriler için toplama işlemi de eş zamanlı gerçekleştirilmektedir.

1.1.5. Periyodik araç rotalama problemi

Araç rotalama probleminin bir başka çeşidi de Periyodik Araç Rotalama Problemidir. Önceden tanımlanan bir dönem planı doğrultusunda müşterilerin talepleri karşılanmaktadır. Dönem planı müşteri taleplerine ve buna ek olarak stok alanlarına göre belirlenmektedir. Talebi fazla olan müşterinin servis sayısı periyot sayısına da bağlı olarak az olanlara göre fazladır. Her müşterinin talebi önceden bilinmektedir ve bu talepler bir aracın bir turunda karşılanıyor olmalıdır. Bu bilgi doğrultusunda her müşteri için ziyaret edilme sayısı yani periyodu belirlenir. Buna ek olarak, stok alanı küçük olan müşterilerinde servis sayısı periyot sayısına bağlı olarak büyük olanlara göre aynı şekilde fazla olmaktadır.

1.1.6. Bölünmüş talepli araç rotalama problemi

Araç rotalama probleminin bu türünde diğerlerinden farklı olarak müşteri talepleri birden fazla araç tarafından karşılanabilmektedir. Bu durum müşteri taleplerinin araç kapasitesinden fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Amaçlanan problem formatında oluşan maliyetin en küçüklenmesidir. Bu nedenle birden fazla araçtan hizmet alan müşteri için oluşan maliyet

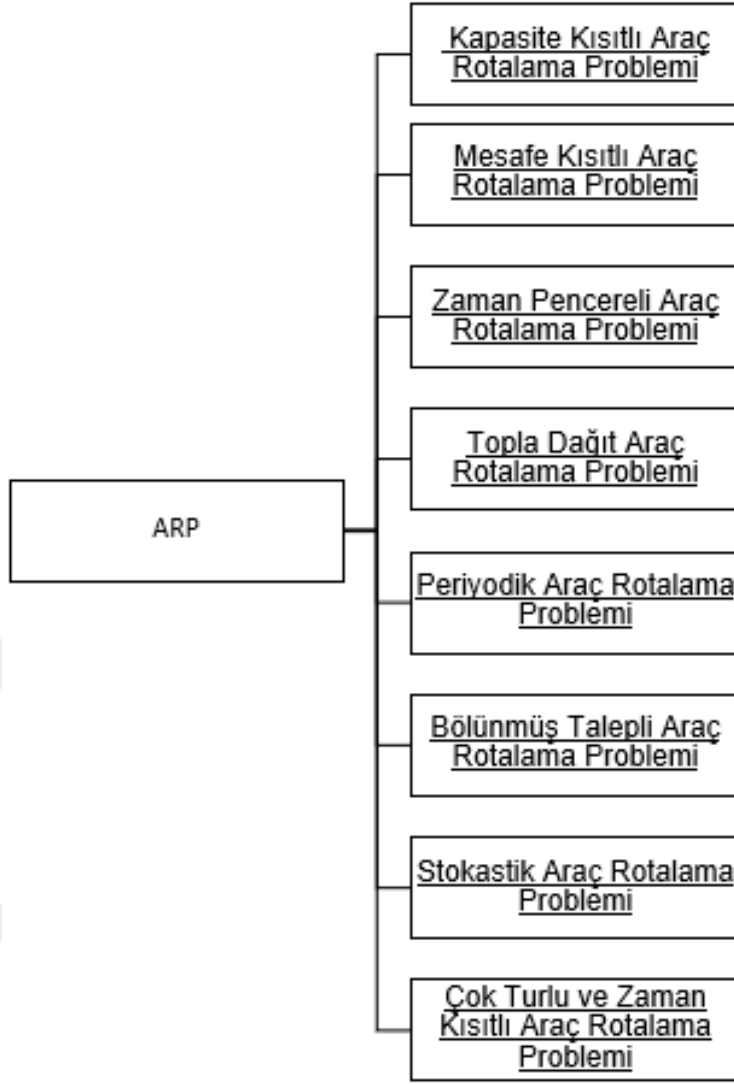
hesaplanarak en az araçla ya da en kısa mesafe ile birden fazla aracın hizmet vermesi ya da vermemesi kararı verilmektedir.

1.1.7. Stokastik araç rotalama problemi

Stokastik Araç Rotalama Problemi (STKARP), kapsamında bazı terimler rassal değerlerden oluşmaktadır. STKARP'nin 3 farklı çeşidi bulunmaktadır Bunlar, stokastik müşteriler, talepler ya da zamanlardır. Stokastik müşteriler ile olasılığa bağlı olarak müşterinin var ya da yok olduğunu gösterir. Stokastik talepler ise talepleri rassal bir değer üzerinden nitelendirmektedir. Stokastik zamanlar da problem kapsamında yer alan servis ve taşıma zamanı terimlerinin rassal gösterimi sunulur. Bu problemin çözümünde iki yöntem kullanılmaktadır. İlk olarak rassal ifadelerin değeri bilinmeden ve bir sonraki adım olarak da değerleri bilindiği durum için çözüm elde edilir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda düzeltici işlemler uygulanır. Problem kapsamında amaç, en az toplam zamanda en iyi rotayı oluşturmaktır.

1.1.8. Çok turlu ve zaman kısıtlı araç rotalama problemi

Çalışmamızın ana konusu ve araç rotalama probleminin de bir çeşidi de Çok Turlu ve Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi'dir. Bu problem türü son yıllarda pratikte çok karşılaşılan bir ARP tipi olmuştur. Ancak pratikte çok fazla örneği bulunmaktadır. Genellikle kısa ömürlü olup tedarik süresi kritik olan ürünlerde karşılaşılmaktadır. Çok Turlu ve Zaman Kısıtlı ARP de rotalar günlük olarak planlanmaktadır. Günlük hayatta bu problem ile sıklıkla karşılaşılmaktadır. Klasik araç rotalama problemlerinden farklı olarak araçların birden fazla rota yapmasına izin verilmektedir. Zaman kısıtlamasında ise, diğer araç rotalama problemlerinden farklı olarak her lokasyon için tanımlı hizmet penceresi aralığında taleplerin karşılanma zorunluluğu vardır. Çok Turlu ve Zaman Kısıtlı ARP' de genellikle oluşturulan rotaya bağlı mesafeler üzerinden hesaplanan toplam maliyetin en küçüklenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 1: Araç rotalama problemi çeşitleri

1.2. Tezin Amacı

Tezde ele alınan problem bir perakende market zinciri olan şirketin bölgesel deposundan mağazalarına dağıtımının planlanması problemidir. Depodan ürünler şubelere bir lojistik firmasından hizmet alınarak dağıtılmaktadır. Hergün belirli sayıda farklı kapasitelerde araçlardan oluşan bir filo ile taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Lojistik şirketine de o gün yapılan tur sayısına bağlı olarak bir ödeme yapılmaktadır. Ancak günlük yapılan taşıma işlemine karşılık yüksek maliyet değerleri oluşmaktadır. Bu nedenle günlük olarak yapılacak taşıma işlemleri için mevcut kısıtlar sağlanarak en az maliyetle turların oluşturulmasına yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada sıklıkla karşılaşılan problem tiplerinden biri olan Araç Rotalama Problemi'nin bir varyasyonu olan Çok Turlu ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi üzerine yoğunlaşmıştır. Depodan farklı kapasitelere sahip araçlar ile çıkış yapılarak şubelerin taleplerinin karşılanması beklenmektedir. Bu durum sağlanırken zaman penceresi, araç şube uyumu, tur sayısı vb gibi kısıt niteliğinde tanımlanmış değerler bulunmaktadır. Problemin amacı şubelerin talepleri karşılanırken oluşan tur sayısına bağlı toplam tur maliyeti değerinin en küçüklenmesidir. Problem kapsamında bu durumu sağlayacak olan en iyi ya da en iyiye yakın çözümün matematiksel model ve buna ek olarak geliştirilen sezgisel yöntem ile bulunması hedeflenmiştir.

1.3. Literatür

ARP literatürü oldukça geniştir. Bu kısımda Çok Turlu ve Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri üzerine olan çalışmalara yoğunlaşmıştır. Çok Turlu ve Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri Fleischmann (1994) gerçekleştirdiği çalışmasında araç rotalama probleminde, merkezi bir depodaki bir araç filosu ve belirli bir müşteri grubuna hizmet verilmesinin planlanmasını amaçlamıştır. Her aracın bir tur yapabileceği varsayımı ile taleplerin yüksek ve seyahat sürelerinin kısa olduğu bir kentsel bölgedeki teslimat turlarının günlük planlamasındaki yüksek maliyet değerlerinin en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Bu durum ile bir aracın günde birkaç tur yapması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda bu konunun literatürde eksik kaldığına değinmiştir. Araçların birden fazla tur yapabileceği varsayımı altında araç filosu ile müşteri gruplarının taleplerinin karşılanması için rotaların belirlenmesi üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir [3]. F Alonso ve diğ. (2008) de araçların birden fazla tur yapabildiği gibi aracın günlük en fazla çalışabilir olduğu sürede dikkate alınmıştır. Ek olarak, erişilebilirlikle ilgili olarak her aracın her müşteriyi ziyaret edemeyeceği varsayımı üzerinden müşterilere gidebilen araçlar gözetilerek çözüm geliştirilmiştir. Mevcut problem yapısı için geliştirilen bir tabu arama algoritması ile çözüm oluşturulmuştur [4]. Nabila Azi ve diğ. (2009) zaman sınırlamaları nedeniyle iş günü boyunca her aracın birkaç rota gerçekleştirmesi gerektiği durumu üzerinde durulmuştur. Problemi ele almak için önerilen yöntem daha önce problemin statik versiyonu için geliştirilmiş olan uyarlanabilir büyük mahalle arama buluşsal yöntemine dayanmaktadır. Dinamik durumda, mevcut çözüme yeni bir talebin dahil edilmesi fırsatına karar vermek için gelecekteki taleplerin ortaya çıkması için birden fazla olası senaryo dikkate alınır. Gerçek zamanlı kararın, yeni talebin kabulü ile ilgili olduğunu, yalnızca gelecekteki bazı rotalarda gerçekleştirilecek hizmetiyle ilgili olmadığını

belirtmek gerekir (bir araç depodan ayrılır ayrılmaz bir teslimat rotası kapanır). Hesaplama sonuçlarında gelecekteki taleplerin senaryolarını dikkate almayan bir yaklaşımla bir karşılaştırma sağlanır [5].

El-Sherben 2010 Çok Turlu ve Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi üzerine diğer bir çalışmadır. Her müşteri hizmet süresi penceresi belirtilmiştir. Ne zaman ziyaret edileceğinin belirlenmesi mümkün olan en erken ve en geç süre ile ilişkilendirilmiştir. Buluşsal yöntemler ve meta-sezgisel yöntemler içeren bir çalışma sunmuştur [6]. Azi ve diğ. (2010) Zaman Pencere ARP üzerine yaptıkları çalışmada iki aşamalı bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır. İlk aşamada, dinamik programlama kullanarak uygulanabilir yollar inşa edilmiştir. İkinci aşamada ilk aşamada elde edilen gezilerden zaman içinde genişletilmiş bir grafik üzerinden ağ akış problemini çözme yöntemi uygulanmıştır [7].

Brandao ve Mercer, (1998) ve Petch ve Salhi, (2010) yaptıkları çalışmalarda zaman penceresini içermeyen Çok Turlu ARP'yi sezgisel olarak çözmeye çalışmışlardır. Brandao ve Mercer başlangıç çözümünün ilk olarak bir ekleme sezgiseliyle oluşturulduğu üç aşamalı sezgisel önermişlerdir [8]. Petch ve Salhi çalışmasında uygun veri yapısı ile geliştirilmiş çok aşamalı bir yapıcı buluşsal yöntem önermişlerdir [9]. Sonuçlar literatür kaynakları ile karşılaştırılmıştır. Diego Cattaruzza ve diğ. (2014) her müşteri ile bir zaman penceresinin ilişkilendirildiği Çok Turlu Araç Rotalama Problemi üzerinde çalışmışlardır. Çıkış tarihi belirli bir müşteriye teslim edilecek her talep ile ilişkilendirilmiştir. Çıkış tarihi malın son teslimat için depoda hazır olduğu anı temsil eder. Problem için bir genetik algoritma önerilmiştir [10]. Bu çalışma, Fransız Ulusal Araştırma Ajansı tarafından desteklenmektedir.

Saeedeh Hashemi ve diğ. (2017) tarafından incelenen problemde ise, bir dizi profesör başka bir şehirde bulunan bir üniversitede ders vermek zorundadır. Amaç, profesörler için bir dizi yan kısıtlama ile toplam nakliye maliyetini en aza indirmek için rotaları planlamak ve programlamaktır. Düğüm tabanlı ve düğüm tabanlı olmamak üzere iki matematiksel model sunulmuştur. Ayrıca, uygulanabilir senaryolar üretmek için sezgisel bir yöntem oluşturulmuştur. Gerçek boyutla elde edilen çözümler ile sezgisel yöntemin etkinliği kanıtlanmıştır [11].

Erfan Babae Tirkolae ve diğ. (2018) çalışmasında özellikle kentsel atık toplama ile ilgili zaman pencereleriyle çok seyahatli bir araç yönlendirme problemini incelemektedir. Kentsel atık toplama, yüksek maliyetli belediye faaliyetlerinden biridir ve birçok pratik zorluğu vardır. Başka bir deyişle, atık toplama ve bertaraf, yüksek işletme giderleri (yakıt, bakım, geri dönüşüm, insan gücü, vb.) nedeniyle maliyetli bir işdir. Ortaya çıkan problemde amaç toplam maliyeti en aza indirmektir: Bu maliyetler geçiş maliyeti, araç kullanım maliyeti ve izin verilen

zaman pencerelerini ihlal cezası olarak tanımlanmıştır. Probleme ilişkin bir matematiksel model geliştirildi. Ek olarak bir tavlama benzetimi sezgisel önerilmiştir [12].

Daniel A. Neiraa ve diğ. (2019) zaman pencereli çok turlu araç rotalama problemi için tamsayılı programlama (IP) modelini öne sürmüştür [13]. Ampol Karoonsoontawong, Puntipa Punyim ve diğ. (2020) çalışmasında da zaman pencereleriyle çoklu yolculuk süresine bağlı araç yönlendirme sorunu ve fazla mesai kısıtlamaları ele alınmıştır. Değiştirilmiş hiyerarşik çok amaçlı formülasyon ve eşdeğer tek amaçlı formülasyon önerilmektedir. Yinelemeli çok turlu tur yapımı, iyileştirme prosedürü ve açgözlü buluşsal yöntem sorunu çözmek için önerilmektedir. Bu prosedürler, yıkım ve yeniden yarat ilkesine dayanmaktadır [14].

Lu Zhena, ve diğ. (2020) çalışmasında, zaman pencereleriyle çok depolu bir çok turlu araç rotalama problemini araştırmaktadır. Amaç toplam seyahat süresini en aza indirmektir. Problem çözümü için tamsayılı programlama modeli sunulmuştur. Hibrit parçacık sürüsü optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Kapsamlı sayısal deneyler ile model ve geliştirilen sezgiselin etkinliği kanıtlanmıştır [15].

Literatürde sıklıkla Zaman Pencereli ARP ile karşılaşılmaktadır. Detayları paylaşılan çalışmalarda yer alan hizmet penceresi, araç kullanım süresi ve araçların birden fazla tur yapabilmesi mevcut problemimizde de bulunmaktadır. Çalışmalarda; geliştirilen bir matematiksel modele ek olarak sezgisel yöntem oluşturulduğu ya da sadece sezgisel yöntemler kullanılarak çözüm elde edildiği gözlemlenmiştir. Sunulan çalışmayı literatürde yer alan çalışmalardan ayıran temel fark en küçüklenmeye çalışılan maliyet değerinin tur maliyeti üzerinden hesaplanmasıdır.

2. PROBLEM TANIMI

Problemimizin çıkış noktası bir indirimli perakende zincirinin bölgesel dağıtım deposunun taşıma problemi olmuştur. Üçüncü parti lojistik servisi kullanan firmanın şubelerinin günlük oluşan taleplerinin depodan çıkış yapan farklı kapasitelere sahip araçlar tarafından karşılanması beklenmektedir. Her mağazanın palet cinsinden talepleri bellidir. Mevcut yapıda dağıtım planlama sistematik bir modele dayandırılmamıştır. Bu nedenele firma için yüksek maliyetler oluşmaktadır. Bu doğrultuda günlük dağıtım planlamasının yapılan çalışmaya bağlı olarak yönetilebilir olması beklenmektedir.

Dağıtım deposu 159 şube için günlük olarak talep karşılama işlemi yapmaktadır ve bu sayının artması da beklenmektedir. Çıkış noktasının depo olduğu bu yapıda araçların rotalarını tamamlaması ile birlikte tekrar depoya dönmesi gerekmektedir. Planlanan rota doğrultusunda araçların gün içinde şube taleplerini karşılayarak başlangıç noktası olan depoya tekrar geri dönmesi ile dağıtım işlemi tamamlanmaktadır. Araçlar palet cinsinden farklı kapasitelere sahiptir. Buna ek olarak şube talepleri de birbirinden farklılık göstermektedir. Her araç için günlük kullanılabilir süre tanımlıdır. Bu süre içerisinde araçların şube taleplerini karşılayarak tekrar depoya dönüş yapmış olması gerekmektedir. Araçların şubelere en erken varış zamanı ve şubelerden en geç ayrılma zamanı problem kapsamında sınırlandırılmıştır. Zaman üzerinden yapılan hesaplamalarda; araçlara palet cinsinden yüklenen taleplerin yüklenme süresi, varılan şubede şube talebine bağlı olarak indirilecek talebin palet cinsinden indirme süresi ve araç hareketlerine bağlı diğer süreler olan araçların şubeye ulaşım süresi ve talebi indirmek için şubeye yaklaşma manevra süresi modelde yer almaktadır. Araçların yapabileceği en fazla tur sayısı problem kapsamında tanımlı değerlerdendir. Araçların birden fazla tur yapabiliyor olması ve her şube için tanımlı hizmet penceresine sahip olması problemimizin literatürdeki tanımı olan Çok Turlu ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemini oluşturmaktadır. Son olarak şubelerin bulunduğu konumlara bağlı kısıtlamalar nedeniyle her aracın her şubeye gidebilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle araçların ulaşabilir olduğu şubeleri gösteren bir matris verisi oluşturulmuştur.

Dağıtım rotaları planlaması ile oluşan maliyet hesabı tur maliyeti üzerinden yapılmaktadır. Günlük toplam taşıma maliyeti her araç için sabit olan tur maliyeti değeri ile araçların tamamladıkları tur sayılarına göre hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda da problemin hedef fonksiyonu toplam günlük tur maliyetinin en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir.

Problem içerisinde yer alan parametre ve kısıtları özetlersek;

Araçlar için;

- Farklı değerlerde kapasitelere sahiptirler.
- Günlük kullanabilir süresi tanımlıdır.
- Araçlar için ulaşılabilir olan şubeler belirlidir.
- Poblemdede belirlenen en fazla tur sayısı kadar tura çıkabilmektedirler.
- Araçlara göre tur maliyeti değeri bilinmektedir. Bu değerler amaç fonksiyonumuzun temel sabit değerini oluşturmaktadır.

şubeler için;

- şube talepleri bilinmektedir ve belirlidir.
- şubelerin servis zaman penceresi belirlidir. Bu zaman aralığında şube talebinin karşılanması beklenmektedir.
- Depo ile şubeler arası ve şubelerin birbirleri ile olan mesafesi süre cinsinden tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında ilerleyen diğer aşamalarda ilk olarak belirtilen problem kısıtları ve amacı ile matematiksel formülasyon oluşturulmuştur.

3. PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ

Problemimize birebir uyan literatürde bir model bulunmamaktadır. Farklı olarak özdeş olmayan kapasitelere sahip araçlar kullanılmaktadır. Araçların her şubeye hizmet verebilmesi şibe lokasyonu kaynaklı mümkün değildir. Ek olarak en küçüklenmesi amaçlanan maliyet değeri tur maliyeti üzerinden hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda literatürdeki modellerden esinlenerek problem için matematiksel model oluşturulmuştur. Çok Turlu ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin ele alındığı çalışmada problem tanımında yer alan kısıtlar ve amaç doğrultusunda en iyi çözümü elde edebileceğimiz bir matematiksel formülasyon geliştirilmiştir. Matematiksel modelimiz aşağıda açıklanmıştır;

3.1. Kümeler

Matematiksel model oluşturulurken ilk olarak şubelerin, araçların ve aracın turlarının kümesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

N: Şubeler kümesi ($N=0..i,j$)

K: Araçlar kümesi ($K=1..v$)

M: Araç turları kümesi ($M=1..m$)

3.2. Parametreler

Problemin başlangıcında bilinen tüm değerler parametreleri oluşturmaktadır. Araçların kapasitesi, araçların günlük kullanım süresi, araçların gidebildiği (ulaşılır olan) şubeler, araçların tur maliyeti, araçların en fazla yapabileceği tur sayısı araçlar için tanımlı parametrik değerlerdir. Şubelerin talepleri ve şubelerin hizmet pencereleri tanımlanmış olan değerlerdir. Bunlara ek olarak depo ve şubeler arasındaki mesafeler matrisi (süre cinsinden), araçlara taleplerin palet cinsinden yüklenme süresi, araçlardan taleplerin talep cinsinden indirilme süresi ve araçların şubeye talep indirme noktasına yanaşma süresi problem kapsamında bilinmektedir. Aşağıda mevcut parametre tanımlarının matematiksel gösterimi sunulmaktadır.

$$C_v: v \text{ aracının palet cinsinden kapasitesi} \quad \forall v \in K \quad (1)$$

$$P_v: v \text{ aracının tur başı maliyeti} \quad \forall v \in K \quad (2)$$

$$D_i: i \text{ şubesinin palet cinsinden talebi} \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$A_{vj}: \begin{cases} 1, \text{ Eğer } v \text{ aracı şibe lokasyonuna bağlı şibe } j' \text{ ye ulaşılabilirse} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad \forall v \in K, j \in N \quad (4)$$

L: Bir paletin araca yüklenmesinin süresinin beklenen değeri (dakika) (5)

O: Bir paletin araçtan indirilmesinin süresinin beklenen değeri (dakika) (6)

S: Bir paletin araca yüklenme ve araçtan indirilmesinin beklenen değeri (dakika) (7)

R_v : v aracının günlük kullanılabilir süresi(dakika) $\forall v \in K$ (8)

K_i : i şubesinin ziyaret edilebileceği en erken zaman $\forall i \in N$ (9)

B_i : i şubesinin ziyaret edilebileceği en geç zaman $\forall i \in N$ (10)

T_{ij} : i şubesi ile j şubesi arası mesafenin süre cinsinden değeri (dakika) $\forall j, i \in N$ (11)

Q: Aracın yükü boşaltmak ve geri çıkmak için sabit süresi (dakika) (12)

3.3. Karar Değişkenleri

Problemin amacı, kısıtlar sağlanırken talepleri karşılayacak şekilde araçları şubelere atamaktır. Aynı zamanda bu işlem gerçekleşirken aracın hangi turunda hangi şubeye gittiği biliniyor olmalıdır. Bu nedenle v aracı m turunda i şubesinden j şubesine gidiyor ise x_{vijm} eşittir 1 gitmiyor ise eşittir 0 değerini alacak şekilde karar değişkeni tanımlanmıştır. Bu değişken hangi aracın hangi turunda hangi şubeye gittiğini gösteriyor olacaktır. Diğer bir karar değişkeni ise problemin amacı olan tur maliyetinin en küçüklenmesi hesaplamasında yani amaç fonksiyonunda yer alan aracın ilgili tura çıkıp çıkmadığını gösteren $\{0,1\}$ değişkeni olan y_{vm} olarak tanımlanmıştır. Kalan iki karar değişkenimiz zamana bağlı değişkenlerdir. İlki aracın bir tura çıkış zamanını gösteren z_{vm} değişkenidir. Son olarak da aracın çıkış yaptığı süreyi belirten karar değişkeni ile birlikte problemde bilinen zaman değerleri ile hesaplanan aracın ilgili turda bir şubeye varış yaptığı zamanı gösteren u_{vjm} değişkenidir. Süreler dakika cinsinden tanımlanmıştır. Aşağıda karar değişkenlerinin matematiksel gösterimi sunulmuştur.

$$x_{vijm} = \begin{cases} 1, v \text{ aracı } m. \text{ turunda } i \text{ şubesinden } j \text{ şubesine giderse} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \forall v \in K, \\ j, i \in N, \\ \forall m \in M \end{array} \quad (1)$$

$$y_{vm} = \begin{cases} 1, v \text{ aracı } m. \text{ turunu yaparsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad v \in K, m \in M \quad (2)$$

$$z_{vm} = v \text{ aracının } m. \text{ turuna başlama zamanı} \quad \forall v \in K, m \in M \quad (3)$$

$$u_{vjm} = v \text{ aracının } j \text{ şubesine } m \text{ turundaki varış zamanı} \quad \begin{array}{l} \forall v \in K, j, i \in N, \\ m \in M \end{array} \quad (4)$$

3.4. Matematiksel Model Amaç Fonksiyonu

Çok Turlu ve Zaman Kısıtlı Araç Rotalama problemi için literatürde yer alan çalışmalarda maliyet hesabı mesafe ya da zamana bağlı oluşmakta ve bu doğrultuda maliyetin en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Gerçek hayattaki problem doğrultusunda maliyet araçların sabit olarak belirlenmiş olan tur maliyeti üzerinden hesaplanmaktadır. Araçların çıktığı tur sayısı sabit tur maliyeti değerleriyle çarpılarak toplam tur maliyeti elde edilmektedir. Aşağıda matematiksel olarak amaç fonksiyon değeri formüle edilmiştir.

$$\text{En küçükle } \sum_{v \in K}^K \sum_{m \in M}^M P_v Y_{vm}$$

3.5. Kısıtlar

Araç rotalama problemi ile araçların şubelerin taleplerini karşılaması beklenmektedir. Ancak bu işlemde araç kapasitesi bir kısıt oluşturmaktadır. Araçlar sahip oldukları kapasite değeri kadar talep yüklenebilir. Bu nedenle aracın bir turda gideceği şubelerin talepleri aracın kapasitesini aşmamalıdır. Ek olarak, araçlar tanımlanan en fazla tur sayısını aşmayacak şekilde birden fazla tura çıkış yapabildiği için bu kontrol her tur için ayrı ayrı yapılmalıdır. Araç her turunun sonunda depoya dönüşü ile birlikte tekrar en fazla kapasitesi kadar şubelerin taleplerini karşılamak üzere yeni bir tura diğer kısıtlar doğrultusunda çıkış yapabilir.

$$\sum_{i \in N}^N \sum_{j, j \neq i \in N}^N D_i x_{vijm} \leq C_v y_{vm} \quad \forall v \in K, \forall m \in M \quad (1)$$

Problem kapsamında her araç her şubeye hizmet verememektedir. Bu duruma neden olarak şubelerin bulunduğu lokasyonlar kaynaklı olduğu belirtilmektedir. Araçların şubelere hizmet verebilme durumu bir matris üzerinde $\{1,0\}$ parametrik değerine bağlı olarak gösterilmektedir. Problemin çözümünde mevcut kısıtın matematiksel modele entegrasyonu için aşağıdaki formülasyon kullanılmıştır. Tanımlanan formülasyon ile aracın ilgili turunda şubeye hizmet verebilme durumu $\{0,1\}$ değerindeki A_{vj} parametresi değerine göre belirlenmektedir. Bu parametre 1 ise ilgili şube için ilgili araç hizmet verebilir durumdadır. Ancak 0 ise ilgili aracın ilgili şubeye hizmet verebilme durumu engellenmiştir.

$$\sum_{i \in N}^N x_{vijm} \leq A_{vj} \quad \forall j \in N, \forall v \in K, \forall m \in M \quad (2)$$

Her şubeye yalnız bir kez hizmet verilmesi beklenmektedir. Bu nedenle ilgili tur içinde araçlardan birisinin depodan ilgili şubeye ya da diğer şubelerden ilgili şubeye gitmesi sağlanmalıdır. Bu durumu sağlayan kısıt aşağıda formüle edilmiştir.

$$\sum_{m \in M}^M \sum_{v \in K}^K \sum_{j \in N}^N x_{vijm} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

Şubelerin talebinin karşılanması için beklenen durum şubenin açılış ve kapanış zamanına bağlı oluşan zaman penceresinde bir aracın şubeye gelişi ile talebin karşılanması ve aynı aracın şubeden tekrar depoya dönüş ya da farklı bir şubeye gitmesi ile ilgili şubeden çıkışı şeklinde olmalıdır. Bu durum literatürde de denge kısıtı olarak adlandırılır. Problem için aracın şubeye girişini ve çıkışını gösteren bir kısıt oluşturulmuştur. Aşağıdaki fomülasyonda aracın ilgili turu üzerinde şubeye giriş ve şubeden çıkış dengesinin gösterimi sunulmuştur.

$$\sum_{j \in N}^N x_{vjim} - \sum_{j \in N}^N x_{vijm} = 0 \quad \forall i \in N, \forall v \in K, \forall m \in M \quad (4)$$

Araçların tura çıkması y_{vm} karar değişkeni üzerinden matematiksel olarak gösterilmiştir. Bir aracın birden fazla tura çıkabilme durumu aşağıdaki kısıt ile sunulmuştur. Mevcut kısıtla bir aracın m turu var ise m+1 nci tura çıkabileceği belirtilmektedir.

$$y_{vm+1} - y_{vm} \leq 0 \quad \forall v \in K, \forall m \in M \quad (5)$$

Tanımlanan değerlerden biri de araçların günlük kullanım süresidir. Bir gün için 8 saatlik mesai süresinin dakika değerine karşılık gelmektedir. Araçların depodan çıkış yaparak tüm turların sonunda tekrar depoya dönüşü ile belirlenen süreyi aşmaması gerekmektedir. Araçların depodan çıkış ve tekrar depoya dönüş süresince gidilen şubelerin talebine bağlı olarak palet yükleme ve palet indirme süreleri toplamı, gidilen şubelerde palet indirme işlemi için aracın manevra süresi ve aracın depodan şubeye ya da şubeden şubeye uzaklığının süre cinsinden değeri toplamının aracın kullanıldığı süreye karşılık gelmektedir. Aşağıda yer alan kısıt 6 ile

de her araç için ayrı ayrı hesaplanan toplam kullanılan sürenin aracın günlük kullanılabilir süresinden küçük olması gerektiği ifade edilmiştir.

$$\sum_{i \in N} \sum_{j, j \neq i \in N} \sum_{m \in M} X_{vijm} (t_{ij} + D_i S + Q) \leq R_v \quad \forall v \in K \quad (6)$$

Literatürde de tanımı Çok Turlu ve Zaman Pencereli olarak geçmekte olan problem kapsamında zaman penceresini oluşturan kısıt şubelerin hizmet penceresi kısıtıdır. Bu süre içerisinde aracın şubeye ulaşarak talebini karşılayıp tekrar şubeden çıkış yapması beklenmektedir. Bu durumu sağlayan iki kısıt matematiksel modele eklenmiştir. İlk olarak 7. kısıt ile şubelerin açılış zamanına eşit ya da büyük olacak şekilde ilgili şubeye gidecek olan aracın şubeye varış zamanı alt değeri belirlenmektedir.

$$K_j x_{vijm} \leq u_{vjm} \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (7)$$

Tanımlanan 7.kısıtla aynı zaman penceresi kısıtını üst değerden sınırlayan bir diğer kısıt ise aşağıdaki formülasyon ile sunulmaktadır. Araçların şubelere talebi karşılama amacı ile varışı ile birlikte şubede geçirilen sürenin (aracın paletleri indirebilmek için şube indirme noktasına yanaşma süresi yani manevra süresi ve araçtan talebe bağlı olarak oluşan palet indirme süresi) şubenin hizmet penceresinin kapanış zamanından küçük olması durumu oluşturulan kısıt ile sağlanmaktadır.

$$u_{vjm} + D_i O + Q \leq B_j x_{vijm} \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (8)$$

Aracın ilgili turunda talebini karşılayacağı şubeye varış zamanı u_{vim} karar değişkeni ile gösterilmektedir. Aşağıda yer alan kısıt ile aracın aynı turu üzerinde ardışık gidilecek şubeler için varış zamanları arasındaki farkın aracın iki şube arasındaki mesafenin süre cinsinden değerine, i şubesindeki palet indirme işlemi için aracın manevra süresi ve i şubesinde şube talebine bağlı oluşan palet indirme süresine eşitlenmektedir.

$$u_{vim} + (D_i O + T_{ij} + Q) x_{vijm} \leq u_{vjm} + M(1 - x_{vijm}) \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (9)$$

Aracın şubeye varış zamanının şubeye gidiliyor ise tanımlı M gibi büyük bir değerden küçük ya da eşit olması gerektiği kısıtla sağlanmaktadır. Araçların şubeye varış zamanının alabileceği en fazla değer üzerinden gösterimidir.

$$u_{vjm} \leq M \sum_{i \in N} x_{vijm} \quad \forall v \in K, \forall j \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (10)$$

Karar değişkenlerinden bir diğeri de depodan araçların m turuna çıkış zamanı olan z_{vm} 'dir. 11. kısıt ile başlangıç noktası olan depo üzerinden aracın tura çıkışı ile birlikte talebi karşılanmak üzere gidilen ilk şubeye varış zamanı arasındaki sürenin hesaplanan değeri gösterilmektedir. Depodan tura çıkan bir araç için şubeye ulaşana kadar geçirilen süre depo ile şube arasındaki mesafenin süre cinsinden karşılığını oluşturmaktadır. Aşağıdaki formülasyon ile de ilgili durum ifade edilmiştir.

$$z_{vm} + x_{v0jm} t_{0j} \leq u_{vjm} + M(1 - x_{v0jm}) \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N \setminus \{0\}, i \neq j, \forall m \in M \quad (11)$$

Başlangıç noktası depo olan tüm araçlar için depodan bir tura çıkış süresi z_{vm} olarak tanımlandığı belirtilmişti. Ek olarak, ilgili karar değişkeni üzerinden aracın birden fazla tura çıkabildiği durumda ve her turu için deponun başlangıç noktası olduğu bilindiği durum altında, turların başlangıç süreleri aşağıdaki kısıtla ilişkilendirilmiştir;

$$z_{vm+1} \geq z_{vm} + \sum_{i \in N} \sum_{j, j \neq i \in N} x_{vijm} (t_{ij} + D_i S + Q) \quad \forall v \in K, \forall m \in M \quad (12)$$

Son olarak matematiksel formülasyonda yer alan karar değişkenleri alabileceği sayısal değerlerin gösterimi olarak 13. kısıt bulunmaktadır.

$$\begin{aligned} x_{vijm}, y_{vm} &\in \{0,1\} \\ z_{vm}, u_{vjm} &\geq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

3.6. Matematiksel Model Gösterimi

Problem kapsamında oluşturulan matematiksel model içerisinde tanımlanan karar değişkenleri, parametreler, amaç fonksiyonu ve kısıtlar detaylı olarak açıklanmıştır. Ek olarak, tüm matematiksel modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları birlikte içeren gösterimi aşağıda sunulmaktadır.

$$\text{En küçükle } \sum_{v \in K}^K \sum_{m \in M}^M P_v Y_{vm}$$

$$\sum_{i \in N}^N \sum_{j, j \neq i \in N}^N D_i x_{vijm} \leq C_v y_{vm} \quad \forall v \in K, \forall m \in M \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N}^N x_{vijm} \leq A_{vj} \quad \forall j \in N, \forall v \in K, \forall m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M}^M \sum_{v \in K}^K \sum_{j \in N}^N x_{vijm} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N}^N x_{vjim} - \sum_{j \in N}^N x_{vijm} = 0 \quad \forall i \in N, \forall v \in K, \forall m \in M \quad (4)$$

$$y_{vm+1} - y_{vm} \leq 0 \quad \forall v \in K, \forall m \in M \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N}^N \sum_{j, j \neq i \in N}^N \sum_{m \in M}^M X_{vijm} (t_{ij} + D_i S + Q) \leq R_v \quad \forall v \in K \quad (6)$$

$$K_j x_{vijm} \leq u_{vjm} \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (7)$$

$$u_{vjm} + D_i O + Q \leq B_j x_{vijm} \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (8)$$

$$u_{vim} + (D_i O + T_{ij} + Q) x_{vijm} \leq u_{vjm} + M(1 - x_{vijm}) \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (9)$$

$$u_{vjm} \leq M \sum_{i \in N}^N x_{vijm} \quad \forall v \in K, \forall j \in N, i \neq j, \forall m \in M \quad (10)$$

$$z_{vm} + x_{v0jm} t_{0j} \leq u_{vjm} + M(1 - x_{v0jm}) \quad \forall v \in K, \forall j, i \in N \setminus \{0\}, i \neq j, \forall m \in M \quad (11)$$

$$z_{vm+1} \geq z_{vm} + \sum_{i \in N}^N \sum_{j, j \neq i \in N}^N X_{vijm} (t_{ij} + D_i S + Q) \quad \forall v \in K, \forall m \in M \quad (12)$$

$$x_{vijm}, y_{vm} \in \{0,1\} \quad (13)$$

$$z_{vm}, u_{vjm} \geq 0$$

3.7. Matematiksel Modelin Kodlanması ve Oluşturulan Problem Setleri

Problem kapsamı doğrultusunda oluşturulan matematiksel model Cplex OPL 12.9 versiyonunda ve Intel(R) Core™ İ7-8565U CPU 1.80 GHz 1.99 GHz özelliklerine sahip bilgisayar ile kodlanmıştır. Model farklı veri setleri için çözdürülmüştür.

Cplex OPL üzerinde mevcut formülasyon farklı veri setleri için çözdürülmüştür. Elde edilen çözüm değerleri 6 araç ve 20 şube için oluşturulmuştur. Bu değerler Cplex'in makul sürede optimal çözümü verdiği problemler olduğu için seçilmiştir. 20'nin üzerine çıkan şube sayıları

ile birlikte Cplex çok uzun süre çalışmaktadır. 20'nin üzerindeki şube sayılarında modelin uzun süre çalışmasından kaynaklı Cplex OPL'e zaman limiti olarak 45 dakika tanımlanarak tekrar çözdürülmüştür. Bu çalışma süresi sonunda %20-%30 arası gap değerleri ile sonuç elde edilmiştir. Dolayısıyla karşılaştırmalar 6 araç ve 20 şube problemleri üzerinden yapılmıştır.

6 araç ve 20 şube için 30 farklı rassal veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan verilerde şubeler arasındaki mesafenin zaman cinsinden değeri ve şube talepleri rassal olarak değişmektedir. Araçlar büyük araç, orta büyüklükte araç ve küçük araç tiplerinden oluşmaktadır. Her araç tipinden ikişer adet filoda bulunmaktadır. Şube talepleri palet cinsinden 1-5 palet arasında değişkenlik göstermektedir. Araç kapasiteleri de benzer olarak palet cinsinden gösterilmektedir. Bu duruma ek olarak, 6 araç - 20 şube için şube talepleri palet cinsinden %30 artırılarak 10 ek veri seti daha oluşturulmuş, bu veriler için de çözüm değeri elde edilmiştir.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında elde edilen çözümlerin matematiksel model ve sezgisel yöntem için tablolandırılmış ve grafiksel olarak gösterimleri yer alacaktır. İlgili gösterimler üzerinden çıktıların karşılaştırılması ve yorumları paylaşılacaktır.

4. GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL YÖNTEM

Literatürde Çok Turlu ve Zaman Pencereci ARP için çoğunlukla tabu arama, tavlama benzetimi ve genetik algoritma sezgisel yöntemleri ile sunulan çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmada da bir ağgözlü arama sezgiseli geliştirilmiştir.

Açgözlü arama algoritması, optimizasyon problemlerinde kullanılabilen basit, sezgisel bir algoritmadır. Algoritma, en uygun yolu belirlemek için en iyi çözümü oluşturmaya çalışmaktadır. Açgözlü algoritmalar, verileri sıkıştırmak için kullanılan Huffman kodlaması veya bir grafik boyunca en kısa yolu bulmayı amaçlayan Dijkstra Algoritması etkin ve verimli bir yöntemdir. Açgözlü algoritmalar, belirli bir problemdeki tüm verileri alır ve ardından algoritmanın her adımında çözüme hangi öğelerin ekleneceği konusunda bir kural belirler [16].

Çözüm yaklaşımımızın genel mantığı, ilk önce büyük kapasiteli araçlarda turları oluştur, turları oluştururken en yakın komşu mantığını kulan ve oluşturulan bir tur palet başına “ekonomik” bir maliyete sahip değilse o turu boz ve bir sonraki araçla tur oluşturmaya çalışır şeklindedir.

Oluşturulan sezgisel yöntemde en yüksek kapasiteli araç seçimi ile başlanarak mevcut kısıtlar doğrultusunda aracın depoda iken bulunduğu lokasyona en yakın şubeye gitmesi üzerine kural belirlenmiştir. Bu aşamada en yakın komşu algoritmasından yararlanılmıştır. Aracın bir turunu oluşturup depo olan başlangıç noktasına dönmesi ile birlikte tur kabul testi yöntem kapsamında uygulanmaktadır. Bu test ile birlikte oluşturulan tur için kabul ya da red işlemi yapılmaktadır. Tanımlanan kurallar çerçevesinde süreç her aracın yapabileceği her tur için denenmektedir. Geliştirilen yönteme ilişkin detaylandırılmış algoritma maddeleri aşağıda sunulmuştur. Ek olarak Şekil’2 de açgözlü sezgisel yöntemin akış diyagramı gösterilmiştir.

1. Farklı kapasitelere sahip araçlar arasından maksimum kapasiteye sahip araç seçilir. Büyük kapasiteli araçlar ile başlanılarak daha fazla şubenin talebinin karşılanması amaçlanmıştır. Ancak ilerleyen aşamalarda yer alan tur kabul testi ile turun ekonomik olması da kontrol edilmektedir.
2. Depodan çıkış yapacak olan araç için aracın kapasitesi, aracın günlük kullanılabilir süresi, şubelerin talebi, şubelerin hizmet zaman penceresi ve şubeye ilgili aracın gidilebilir durumunu da göz önüne alarak, aracın mevcut konumuna süre cinsinden en yakın şube seçilir.

3. 2 numaralı adımda belirtilen formatla aracın şubelere talep karşılamak amacıyla gidişyle birlikte kalan kullanılabilir süresi ve kalan kapasitesi gibi parametrik değerler süreç içinde tekrar hesaplanarak aracın bulunduğu şube lokasyonuna en yakın mesafede konumlandırılmış (süre cinsinden) şubeye gidip gitmemesi karşılaştırılır. Aracın rota güzergahına bu formatla gidilebilecek şubeler eklenir.
4. Aracın kalan kapasitesi kurallar doğrultusunda gidebileceği şubelerin talebini karşılayamayacak durumda ise ya da kalan kullanılabilir süresi gidebileceği şubelerin talebini karşılayıp depoya geri dönüş yapamayacağı kadar küçük ise araç bulunduğu şubeden depoya yönlendirilir ve tur biter.
5. Aracın bir turunu tamamlaması yani depodan çıkış yaparak seçilen şubelerin taleplerini karşılayarak tekrar depoya dönmesi ile tamamlanan süreç sonucunda araca tur kabul testi uygulanır. Tur “ekonomik” değilse red edilir. Tur kabul testi ile seçilen araç ile oluşturulan turun bir küçük kapasiteli araç ile oluşturulduğu durum kıyaslanmaktadır. Araçların tur maliyeti ile turdaki talepler toplamı oranlanarak taşınan palet başına karşılık gelen maliyet değerleri elde edilir. Ek olarak küçük araç ile elde edilen oran $(1 + \% \lambda)$ parametrik bir değerle çarpılmaktadır. Burada λ değeri 0,05 ile 0,50 arasında değerler alabilen parametrik bir değerdir. λ nın farklı değerleri için oluşturulan turun kabul edilmesi ya da reddedilmesi sezgisel bir şekilde belirlenmektedir. Tur kabul testi ile yöntem içerisinde aşağıdaki formülasyon uygulanmaktadır.

$$\frac{\text{Seçilen Aracın Tur Maliyeti}}{\text{Rotadaki Şubelerin Talepleri Toplamı}} \leq \frac{\text{Bir Küçük Kapasiteli Aracın Tur Maliyeti}}{\text{Rotadaki Şubelerin Talepleri Toplamı}} * (1 + \% \lambda)$$

6. Tur kabul testi sonucu araç için oluşturulan tur yukarıdaki durum (1) sağlıyor ise tur kabul edilir. Aynı aracın çıkabileceği diğer turlar için yoksa kalan araçlar arasından en fazla kapasiteye sahip araç seçilerek döngü tekrarlanır. Tur kabul testinin sonucunda araç için oluşturulan tur reddedilir ise yani yukarıdaki eşitlik sağlanmadığı durumda aynı araç için oluşturulan reddedilen turda yer alan şubeler ilgili araç için gidilebilir şube listesinden çıkartılarak tekrar aynı kısıtlar ile yeni bir tur oluşturulma işlemi uygulanır. Her araç ve her aracın oluşturulan turu için tur kabul testi uygulanır.
7. Tüm araçlar için yukarıdaki işlemler uygulanarak çıktıda araçların turlarına atanan şubeler, kalan kapasite, kalan kullanılabilir süre ve oluşan turların tur maliyeti elde edilir.

4.1. Geliştirilen Açgözlü Sezgisel Yöntemin İyileştirilmesi

Çalışmanın bu aşamasında geliştirilen sezgisel yöntemin iyileştirilmesi amacıyla yonteme eklemeler yapılmıştır. Oluşturulan yöntemde var olan parametrik değerlere ve λ değerlerine bağlı olarak mevcut araç filosu ile talebi karşılanamayan şubeler olabilmektedir. Bu durum için gün içinde talebi karşılanamayan şubelerin öncelikli olarak planlanan araç rota güzergahına eklenebilmesi durumu, eklenemiyor ise uygun bir aracın oluşturulacak yeni bir turuna eklenerek şubenin talebinin karşılanması ile gün sonunda talebi karşılanmamış şube kalmaması sağlanmaktadır.

Sezgiselin kurgulandığı yapıda son durumda araçların oluşturulan turları için talebi karşılanamayan şubeler aracın var olan turuna eklenebilir mi kontrol edilir. Var olan turlara talebi karşılanamayan şubelerin eklenmesi durumunda tüm şubelerin talebi karşılanmış olacaktır. Buna ek olarak bu işlem tur maliyetinde bir değişikliğe neden olmayacaktır. Ancak oluşturulan turlara talebi karşılanamayan şubelerin eklenememesi durumunda tur maliyeti küçük olan araçtan başlanarak aracın yeni turu ile ilgili şube ya da şubelerin talebi karşılanabilir mi kontrol edilir. Bu formata bağlı olarak yeni turlar oluşturularak ve araç/araçların yeni tur/turlarına şubeler atanır. Son durumda tur maliyetinin artması beklenmektedir. Güncel tur maliyeti değeri hesaplanır. Ek olarak bu işlemler sırasında araç talebi, aracın kullanılabilir süresi, şube talebi, şube açılış ve kapanış zamanı ve araç şube ulaşılabilirlik ilişkisi parametre değerlerinden doğan kısıtlar kontrol edilmektedir. Bu kısıtları sağlayan araç-şube atamalarına izin verilir. Açgözlü sezgisel yöntem iyileştirme akış diyagramı Şekil 3 üzerinde sunulmuştur.

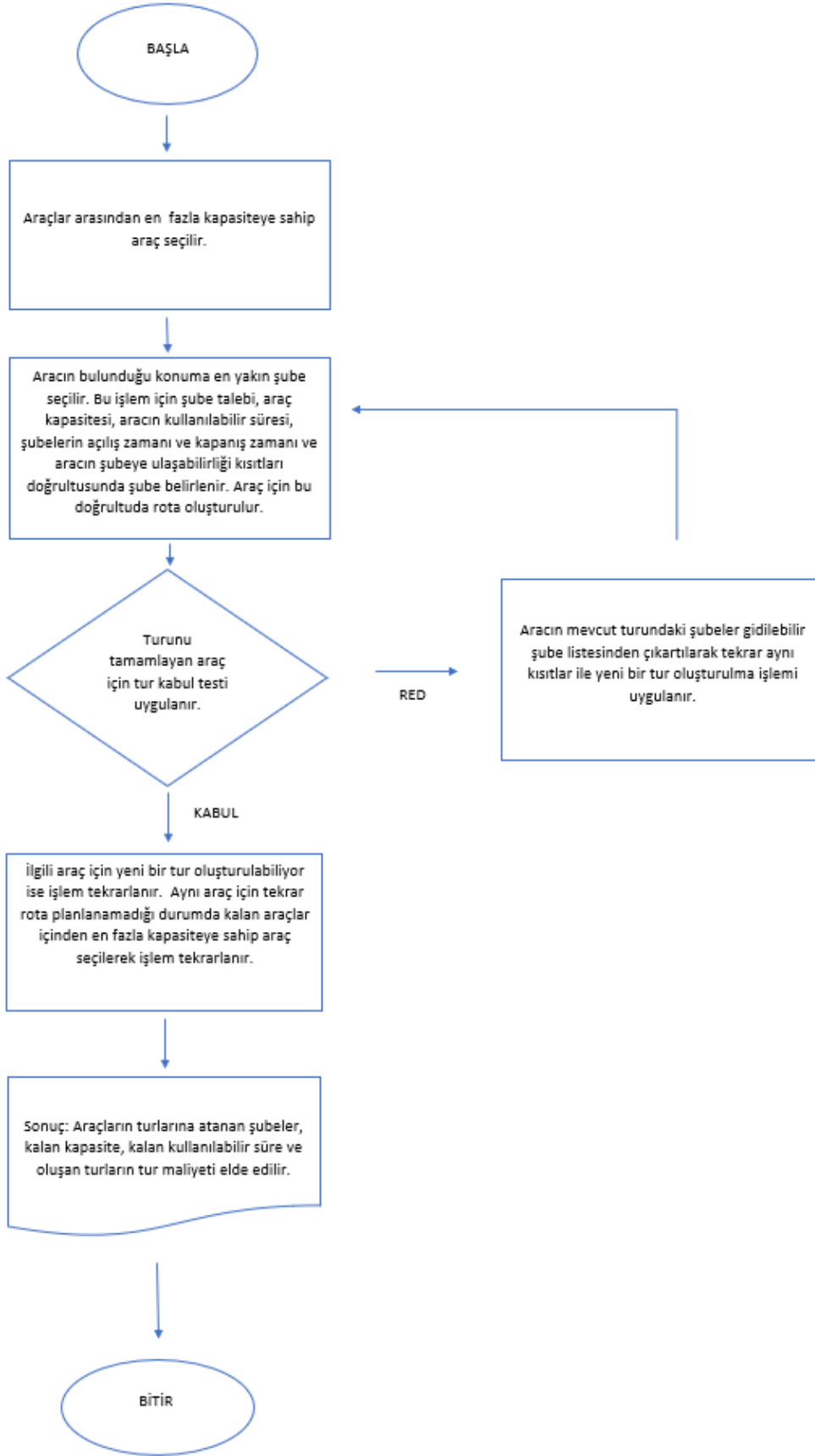
4.2. Rassallaştırılmış Açgözlü Sezgisel Yöntem

Rassallaştırılmış açgözlü sezgisel yöntem de mevcut açgözlü sezgisel yöntemden farklı olarak λ değerleri belirli bir aralıkta rassal olarak değer almaktadır. Problemlerin çözümünde her oluşturulan tur için uygulanan tur kabul testinde yer alan λ değeri 0.15 ile 0.35 arasında rassal olarak atanmaktadır. Bu işlem ile aynı veri seti için uygulanan tur kabul testlerinde farklı λ değerleri kullanılarak sezgisel yöntem rassallaştırılmıştır. Ek olarak, her veri seti farklı λ rassal değerleri için 100 kez çözdürülmüştür. Bu işlem 30 veri seti ve şube taleplerinin %30 oranında artırıldığı 10 veri seti için uygulanmıştır. Her veri seti için 100 çözümdeki en küçük maliyet değeri alınmıştır. Elde edilen değerler matematiksel model çıktıları ile karşılaştırılmıştır.

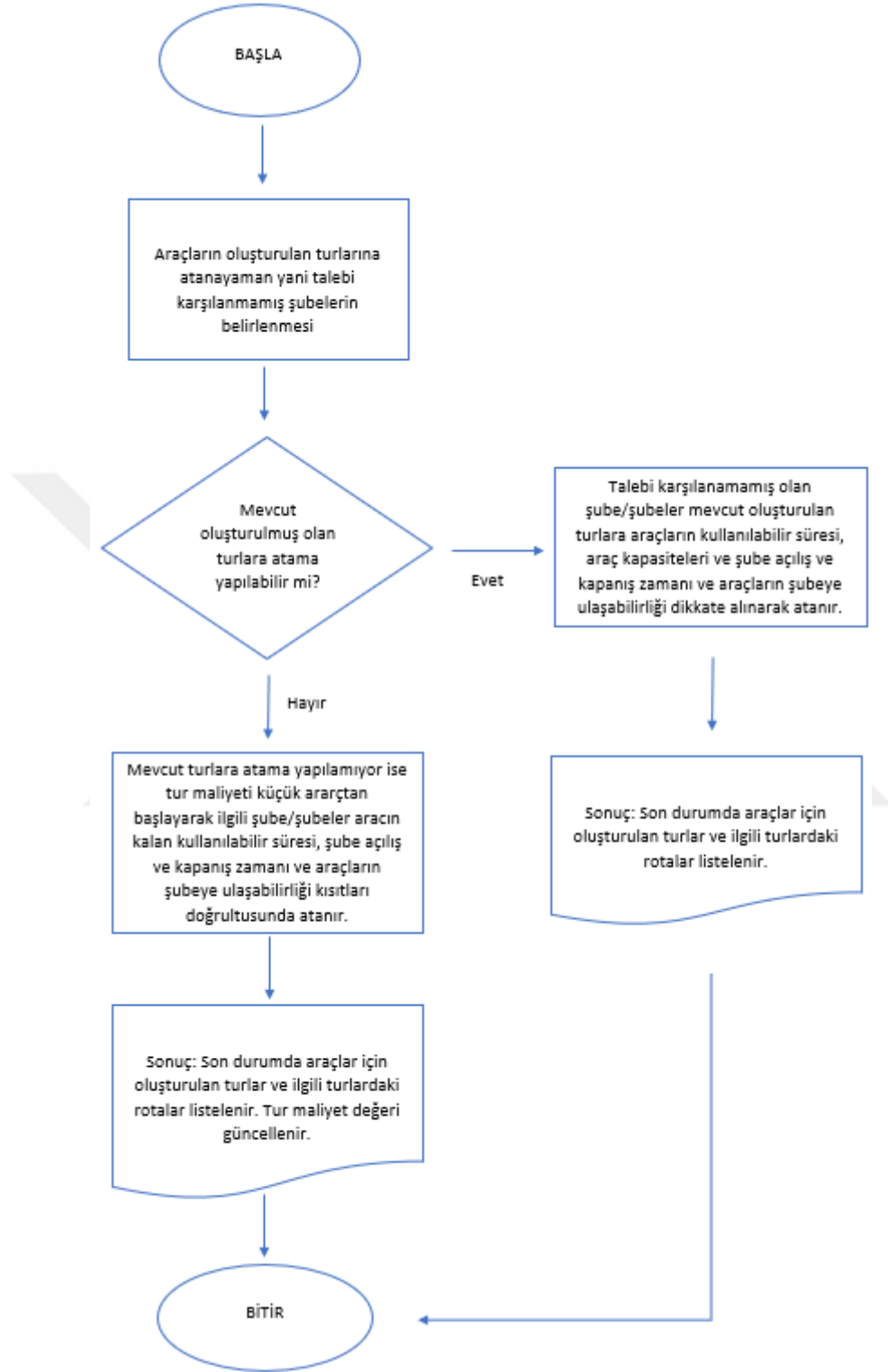
4.3. Geliştirilen Sezgisel Yöntemin Programlanması

Oluşturulan sezgisel yöntem Matlab R2020b versiyonunda ve Intel(R) Core™ İ7-8565U CPU 1.80 GHz 1.99 GHz özelliklerine sahip bilgisayar ile kodlanmıştır. Sezgisel yöntem farklı veri setleri için çözdürülmüştür. Oluşturulan veri setleri gerçek problem verileriyle uyumludur. Matematiksel modelin Cplex OPL çözümü doğrultusunda karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla aynı formatta 30 farklı veri seti için Matlab üzerinde çözüm elde edilmiştir. Veri setleri oluşturulurken matematiksel model çözümünde kullanılan veri setleri ile aynı doğrultuda 6 araç filosu ve 20 şube kullanılmıştır. Araç filosu büyük araç, orta büyüklükte araç ve küçük araç tiplerinden oluşmaktadır. Ek olarak, 30 farklı veri seti tanımlanan parametrik değerlerden şube talepleri ve depodan şubeye ya da şubeden şubeye mesafeler süre cinsinden değişmektedir. 30 veri seti oluşturulurken palet cinsinden değer alan şube talepleri 1-5 arasında değerlerden oluşmaktadır. Yöntem 30 veri setine ek olarak 10 farklı veri seti için de uygulanmıştır. Bu problemlerde talep artırılmış ve taleplerinin 2-6 palet aralığında değer alması sağlanmıştır. Diğer parametreler aynı kalmıştır.

Matlab üzerinde oluşturulan algoritma çözdürülmüştür. Matlab üzerinde çözdürülen veri setleri için çok hızlı çözümler alınmıştır. Her problem 1 saniyenin altında çözülmektedir. Matlab çıktısı olarak araçların oluşturduğu turlar ve bu turlara bağlı maliyet bilgisi elde edilmiştir. Çıktı değerleri sezgiselin ne kadar iyi bir sonuç verdiğini gösterebilmek adına model çözüldüğünde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2: Açgözlü sezgisel yöntem akış diyagramı



Şekil 3: Açgözlü sezgisel yöntem iyileştirme akış diyagramı

5. MATEMATİKSEL MODEL VE SEZGİSEL YÖNTEM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Veri Seti Detayı

Problem çözümü için oluşturulan veri setlerinde gerçek hayattaki verilerinden yararlanılmıştır. Araç kapasiteleri için mevcut taşıma sürecinde kullanılan büyük araç için palet cinsinden 18, orta büyüklükte araç için 16 ve küçük araç için 10 değerleri tanımlanmıştır. Ek olarak, araçların tur maliyetleri araç tipine göre büyükten küçüğe sırasıyla 330 TL, 250 TL ve 200 TL olarak belirlenmiştir. Araçların günlük kullanılabilir süresi ise günlük mesai süresi (8 saat) üzerinden hesaplanmıştır. Ancak tüm verilerde dakika cinsinden süre değerleri gösterilmektedir. Bu nedenle 480 dakika olarak tanımlanmıştır. Şube talepleri ise aynı şekilde gerçek hayat verileri ile örtüşmesi açısından 20 şube için ortalama 3 palet karşılık gelecek şekilde oluşturulmuştur. Şubelerin hizmet penceresi şubelerin mesai saati başlangıç ve bitiş zamanları düşünülerek bu aralıkta olacak formatta oluşturulmuştur. Hizmet penceresi şubeler arasında farklılık göstermektedir. Bazı şubeler için mesai başlangıcı itibari ile 4 saatlik sürede ya da mesai bitimi öncesi 4 saatlik sürede şubelere hizmet verilebilmektedir. Bazı şubelerde ise mesai başlangıç ve bitiş içerisinde mesai başlangıcından 1 saat sonra mesai bitişinden de 1 saat önce hizmet verilmesi beklenmektedir. Zaman penceresi açısından önemli kriterlerden biri olarak depodan şubeye ya da şubeden şubeye olan mesafeler ise 5 ile 45 dakika arasında değer almaktadır. Verilerin temel tanımlanma yöntemine ilaveten 30 veri seti ve 10 farklı veri seti daha oluşturulmuştur. Veri setlerinde birbirinden farklı olarak şube talepleri ve depodan şubeye ya da şubeden şubeye olan mesafe değerleri değişmektedir. 30 ve 10 olarak oluşturulan veri setleri için ayırt edici durum 10 veri setindeki şube taleplerinde %30 oranında artış olmasıdır.

5.2. Matematiksel Model ve Sezgisel Yöntem Sonuçları

Matematiksel modelin ve geliştirilen sezgisel yöntemin sonucunda 30 veri seti için elde edilen maliyet değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Ek olarak, hesaplanan sapma değerleri de sunulmaktadır. Sapma değerleri incelendiğinde matematiksel model ve sezgisel yöntem için elde edilen çözüm değerlerinin 13 veri seti için aynı olduğu gözlemlenmektedir. Ortalama sapma %7 olup azami sapma ise %25 olarak gözlemlenmiştir. Sapma değeri hesaplanırken (2) denkleminde yararlanılmıştır.

$$\frac{\text{Matematiksel Model} - \text{Sezgisel Yöntem}}{\text{Matematiksel Model}} \quad (2)$$

Tablo 1: Matematiksel model ve sezgisel yöntem maliyet ve sapma değerleri

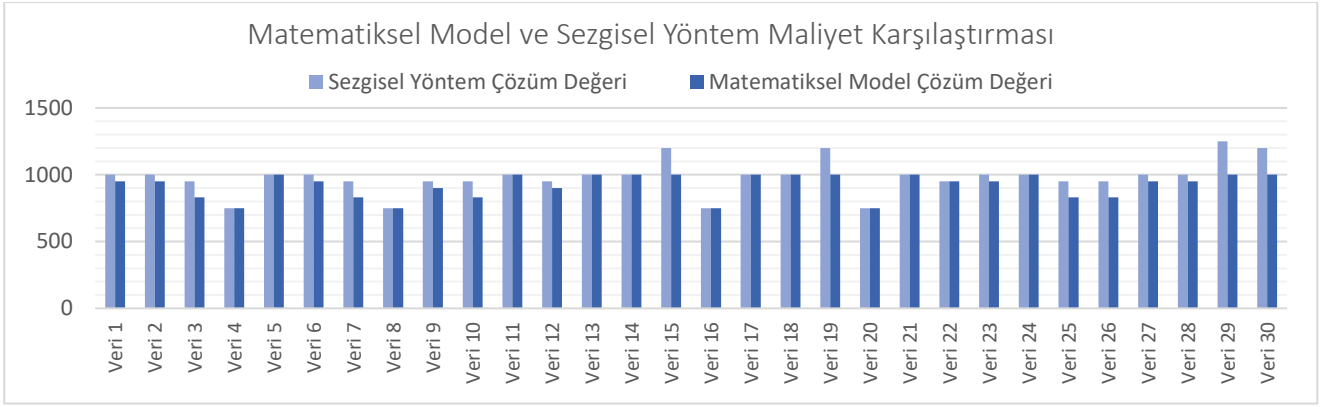
Veri Seti	Matematiksel Model	Sezgisel Yöntem	Sapma Değeri
1	950	1000	0.05
2	950	1000	0.05
3	830	950	0.14
4	750	750	0.00
5	1000	1000	0.00
6	950	1000	0.05
7	830	950	0.14
8	750	750	0.00
9	900	950	0.06
10	830	950	0.14
11	1000	1000	0.00
12	900	950	0.06
13	1000	1000	0.00
14	1000	1000	0.00
15	1000	1200	0.20
16	750	750	0.00
17	1000	1000	0.00
18	1000	1000	0.00
19	1000	1200	0.20
20	750	750	0.00
21	1000	1000	0.00
22	950	950	0.00
23	950	1000	0.05
24	1000	1000	0.00
25	830	950	0.14
26	830	950	0.14
27	950	1000	0.05
28	950	1000	0.05
29	1000	1250	0.25
30	1000	1200	0.20

Matematiksel modelin Cplex OPL üzerinde kodlanması ile birlikte 30 veri seti için yapılan çözdürme işlemlerinde sonuç değerleri kısa sürelerde elde edilmiştir. En fazla 300 saniyeye ulaşan çözüm süreleri ile karşılaşılmıştır. Bu durum oluşturulan veri seti parametrik değerleri ve araç/şube sayısı değerleri ile ilişkilendirilebilir. Matlab üzerinde çözdürülen sezgisel yöntem için en fazla 1 saniyede sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2: Matematiksel modelin 30 veri seti için Cplex OPL üzerinde çözüm süreleri

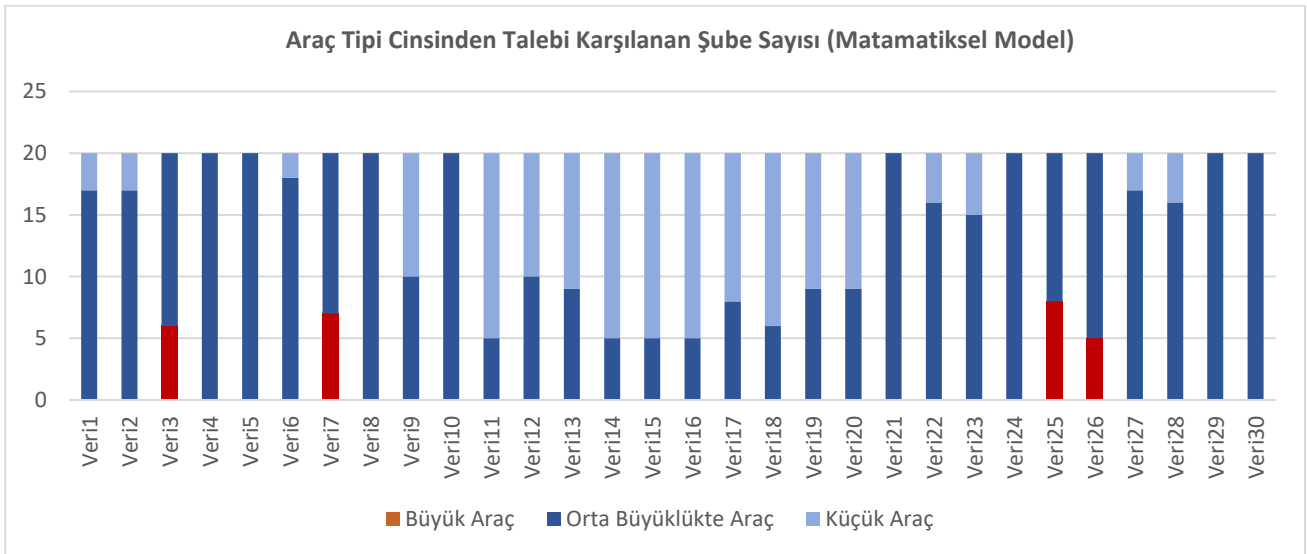
Veri Seti	Cplex OPL Çözüm Süreleri (s)
Veri 1	170
Veri 2	172
Veri 3	42,92
Veri 4	22,45
Veri 5	171,53
Veri 6	130,80
Veri 7	63,63
Veri 8	50,70
Veri 9	66,17
Veri 10	20,38
Veri 11	30,36
Veri 12	8,59
Veri 13	126,05
Veri 14	31,48
Veri 15	78,61
Veri 16	36,70
Veri 17	189,08
Veri 18	192,56
Veri 19	87,91
Veri 20	88,98
Veri 21	39,75
Veri 22	101,98
Veri 23	80,11
Veri 24	129,00
Veri 25	43,25
Veri 26	42,91
Veri 27	46,70
Veri 28	163,78
Veri 29	292,20
Veri 30	167,88

Ek olarak model ve sezgisel yöntem için 6 araç 20 şubeyi kapsayan 30 farklı veri seti çözdürüldüğünde elde edilen sonuçlar listelenerek optimal çözümü elde ettiğimiz matematiksel modele geliştirilen sezgisel yöntem ile ne kadar yaklaşıldığı Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir.



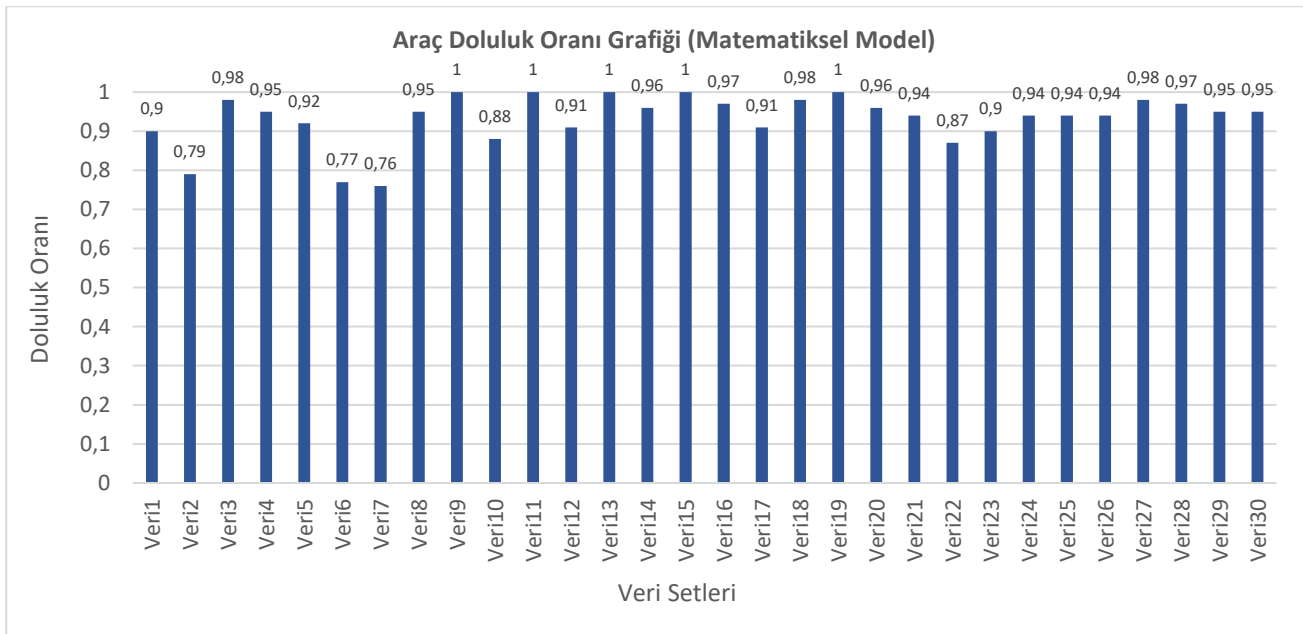
Şekil 4: Matematiksel model ve sezgisel yöntem maliyet karşılaştırması

Problem kapsamında araçlar büyük araç (araç 1, 2), orta büyüklükte araç (araç 3, 4) ve küçük araç (araç 5, 6) olarak sınıflandırılmıştır. Farklı tipteki araçlardan oluşan araç filosu ile 30 veri seti için sonuçlar incelenmiş ve her araç tipi için ilgili veri setinde talebi karşılanan şube sayısı hesaplanmıştır. Hesaplamalara bağlı olarak genellikle matematiksel model çözümü için oluşturulan rotalarda mümkün olduğunca orta büyüklükte araç ve küçük araç kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu duruma sebep, büyük kapasiteli araçlar ile oluşturulan turların uygulanan tur kabul testi sonucu ekonomik bulunmaması nedeniyle reddedilmesidir. Bu araç tipleri için tur maliyetleri büyük araca göre daha az olarak belirlenmiştir. Elde edilen çözüme bağlı olarak oluşturulan modelin amacının mümkün ise tur maliyeti düşük olan araç tipleri kullanılarak rotaların oluşturulmasını sağlamak olduğu, bunun nedeninin ise süre kısıtı itibarıyla araçların çok fazla şubeye uğrayamadığı dolayısıyla büyük araçların tercih edilmediği şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 5: Matematiksel model araç tipi cinsinden talebi karşılanan şube sayısı

Gün içinde oluşturulan rota üzerinden hizmet veren araçların rotadaki talebi karşılanan şubelerin palet cisinden talepleri toplamı ile araç kapasitesi oranını gösteren (araç doluluk oranı) hesap değeri her veri seti için Şekil 6’da sunulmuştur. Hesaplanan değerler üzerinden gün içinde tur yapan araçların neredeyse tam kapasiteyle kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ek olarak, bazı araçlar için bazı veri setlerinde bu değer tam kapasiteye karşılık gelmektedir. Şekil 6’da görüldüğü üzere araç doluluk oranları dikey eksende 1 değerine eşit ya da çok yakındır.



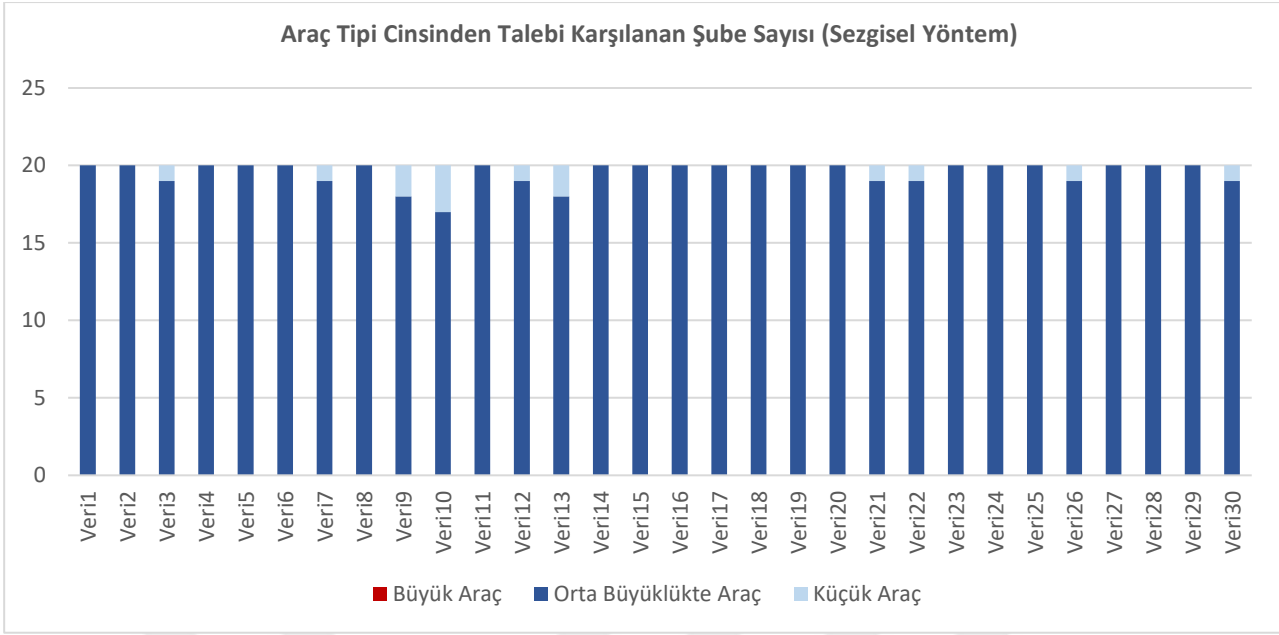
Şekil 6: Matematiksel model araç doluluk oranları

Sezgisel yöntem çözümünde her veri seti için 0.05-0.50 arasında 0.05 artırılarak farklı λ değerleri denenmektedir. Farklı λ değerlerinin maliyeti nasıl etkilediği incelenmiştir. Denemeler sonucunda en küçük maliyeti veren λ değeri belirlenmiştir. Tablo 3 üzerinde farklı λ değerleri için elde edilen maliyet değerleri listelenmiştir. 0.25 ve 0.30 ile oluşturulan sezgisel yöntem çözümünde büyük araçlar ile yapılan turlar reddedilerek küçük araçlar ile tur oluşturulması sağlanmıştır. 0.25 ve 0.30 ile eş çözümler elde edilmiştir. Diğer λ değerleri için ise büyük araçlarında tur kabul testi sonucunda kabul edilebildiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3: 30 Veri setindeki farklı λ değerleri için maliyetler

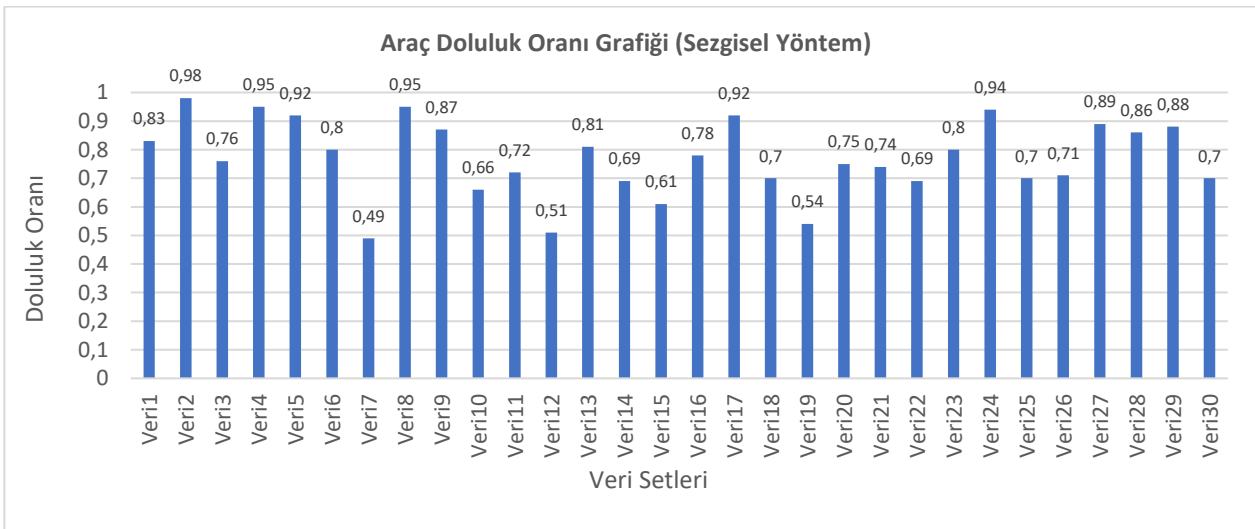
λ	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Veri1	1330	1330	1330	1330	1000	1000	1320	1320	1320	1320
Veri2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1240	1240	1240	1240
Veri3	1530	1530	1530	1530	950	950	1240	1240	1240	1240
Veri4	1000	1000	1000	1000	750	750	990	990	990	990
Veri5	1530	1530	1530	1530	1000	1000	1570	1570	1570	1570
Veri6	1200	1200	1200	1200	1000	1000	1240	1240	1240	1240
Veri7	800	800	800	800	950	950	990	990	990	990
Veri8	1330	1330	1330	1330	750	750	990	990	990	990
Veri9	1530	1530	1530	1530	950	950	990	990	990	990
Veri10	1000	1000	1000	1000	950	950	990	990	990	990
Veri11	1530	1530	1530	1530	1000	1000	1240	1240	1240	1240
Veri12	1200	1200	1200	1200	950	950	1240	1240	1240	1240
Veri13	1200	1200	1200	1200	1000	1000	990	990	990	990
Veri14	1660	1660	1660	1660	1000	1000	1570	1570	1570	1570
Veri15	1530	1530	1530	1530	1200	1200	1320	1320	1320	1320
Veri16	1000	1000	1000	1000	750	750	1240	1240	1240	1240
Veri17	1200	1200	1200	1200	1000	1000	1570	1570	1570	1570
Veri18	1330	1330	1330	1330	1000	1000	1320	1320	1320	1320
Veri19	1530	1530	1530	1530	1200	1200	1240	1240	1240	1240
Veri20	1000	1000	1000	1000	750	750	990	990	990	990
Veri21	1860	1860	1860	1860	1200	1200	1320	1320	1320	1320
Veri22	1530	1530	1530	1530	950	950	990	990	990	990
Veri23	1330	1330	1330	1330	1000	1000	1320	1320	1320	1320
Veri24	1530	1530	1530	1530	1000	1000	1320	1320	1320	1320
Veri25	1000	1000	1000	1000	950	950	990	990	990	990
Veri26	1330	1330	1330	1330	950	950	990	990	990	990
Veri27	1860	1860	1860	1860	1000	1000	1320	1320	1320	1320
Veri28	1530	1530	1530	1530	1000	1000	1240	1240	1240	1240
Veri29	1530	1530	1530	1530	1250	1250	1900	1900	1900	1900
Veri30	1330	1330	1330	1330	1200	1200	1570	1570	1570	1570

Matematiksel model çözümlerinin grafiksel gösterimleri sırasında aktarılan araç tiplerine bağlı değerler, sezgisel yöntem çözdürme işlemleri ile elde edilen sonuçlar içinde analiz edilmiştir. Matematiksel modelle benzer atamaların yapıldığı Şekil 7 üzerinden belirtilmektedir. Sezgisel yöntem çözümlerinde çoğunluklu olarak orta büyüklükte araç kullanıldığı, bazı veri setleri için alınan çözümlerde ise küçük araçların da orta büyüklükte araçlara ek olarak rota oluşturduğu gözlemlenmiştir. Matematiksel model çözümünden farklı olarak büyük araç kullanılmadan rotaların oluşturulduğu bilgisine ulaşılmaktadır.



Şekil 7: Sezgisel yöntem araç tipi cinsinden talebi karşılanan şube sayısı

Sonuçlar kısmında çözümlerin analizi ile birlikte hesaplanan bir diğer değer de araç doluluk oranıdır. Sezgisel yöntem için matematiksel modele kıyasla araç doluluk oranlarının daha düşük ya da neredeyse aynı olduğu değerler bulunmaktadır. Özellikle orta büyüklükteki araçlarda doluluk oranı neredeyse tam kapasiteye yakın olarak hesaplanırken aynı veri setinde kullanılan küçük araç için %50 ya da altında bir doluluk oranı ile rota oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8 üzerinde veri setine bağlı olarak oluşturulan turlar için hesaplanan ortalama araç doluluk oranları sunulmaktadır.



Şekil 8: Sezgisel yöntem araç doluluk oranları

Problem çözüm yöntemleri kapsamında çözümünde kullanılan verilerin oluşturulma formatı ve çeşitleri üzerinden bilgi verilmiştir. Bu aşamada ilk 30 veri seti için alınan çözümlere ek olarak palet cinsinden tanımlı şube taleplerinin %30 oranında artırıldığı durum için oluşacak rotaların yorumlanabilmesi için 10 farklı veri seti daha oluşturulmuştur. Bu durum ile artan talep durumlarında araç kullanımı ve tur sayılarında oluşan çözüm farklılıkları incelenmiştir. Tablo 3 üzerinde 10 veri seti için matematiksel model ve sezgisel yöntem için elde edilen maliyet değeri ve buna bağlı sezgisel yöntem sonuçlarının matematiksel model sonucundan sapma değeri gösterilmektedir. 10 veri seti için sezgisel yöntem çözümlerinde elde edilen ortalama sapma değeri ise %8 ve en fazla sapma %13 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4: Matematiksel model ve sezgisel yöntem maliyet ve sapma değerleri

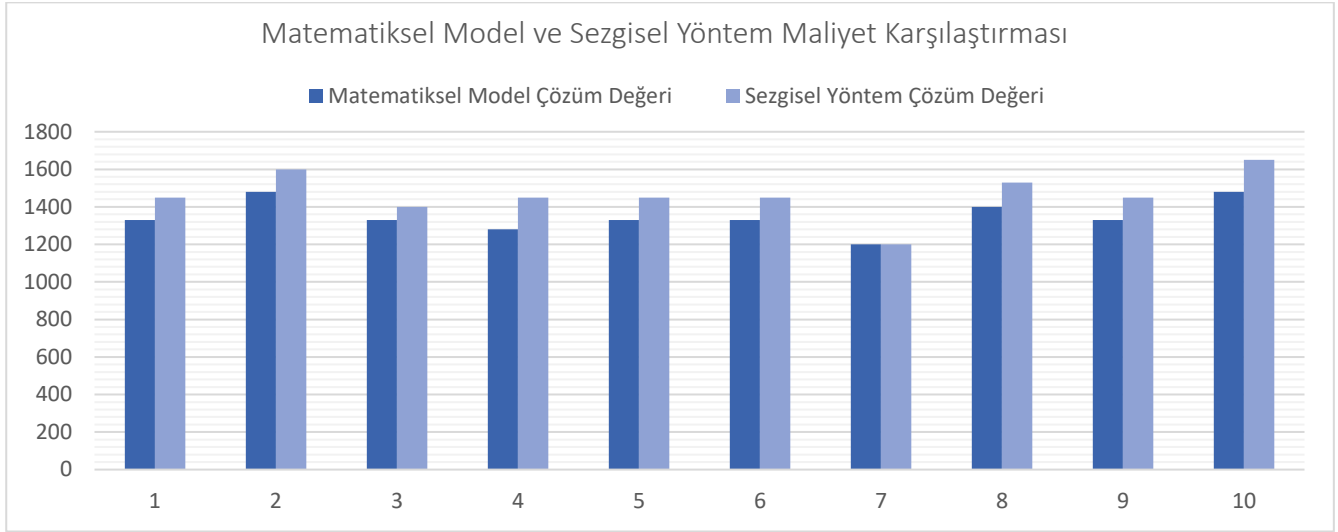
Veri Seti	Matematiksel Model Çözüm Değeri	Sezgisel Yöntem Çözüm Değeri	Sapma Değeri
1	1330	1450	0.09
2	1480	1600	0.08
3	1330	1400	0.05
4	1280	1450	0.13
5	1330	1450	0.09
6	1330	1450	0.09
7	1200	1200	0.00
8	1400	1530	0.09
9	1330	1450	0.09
10	1480	1650	0.11

10 veri seti için genellikle uzun süren çözüm süreleri ile çözüm elde edilmiştir. En fazla 1700 saniyelik bir çözüm süresi ile karşılaşılmıştır. Ek olarak, 10 veri seti için Matlab üzerindeki sezgisel yöntem çözümünde en fazla 1 saniyede sonuçlara ulaşılmaktadır.

Tablo 5: 10 Veri seti için matematiksel modelin Cplex OPL üzerinde çözme süreleri

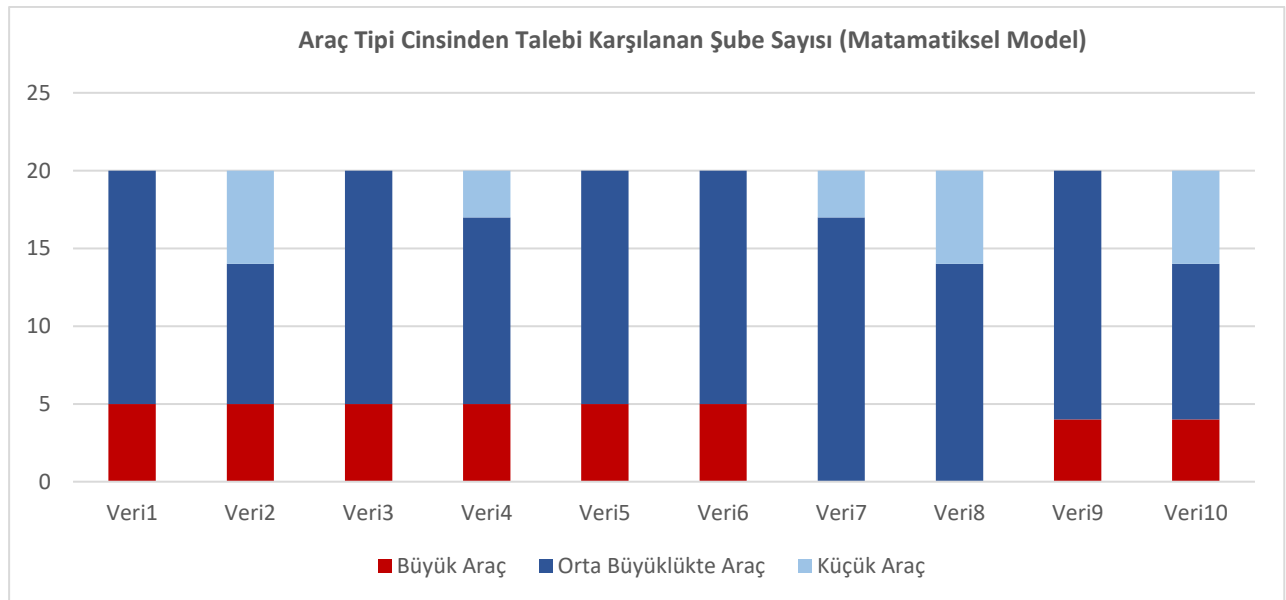
Veri Seti	Cplex OPL Çözüm Süreleri (s)
1	1700,05
2	900,08
3	810,94
4	200,19
5	222,20
6	429,80
7	202,70
8	170,30
9	250,66
10	770,16

Çözümler analiz edildiğinde ortalama sapma %8 kadar olup en fazla sapma %13 olarak gözlemlenmiştir.



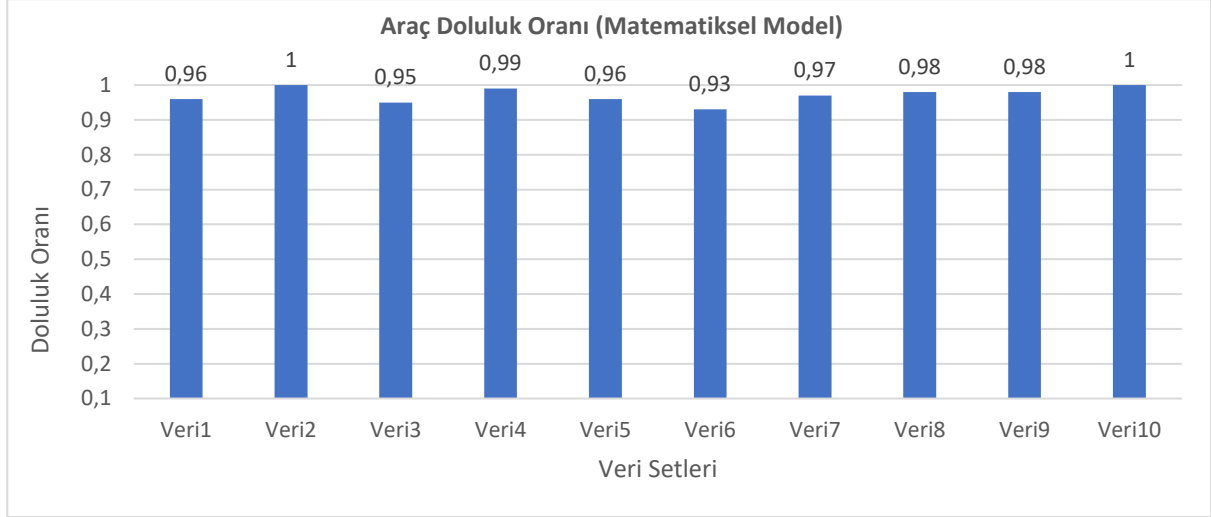
Şekil 9: Matematiksel model ve sezgisel yöntem amaç fonksiyon değeri karşılaştırması

Matematiksel model çözümlerinin araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı Şekil 10 üzerinde gösterilmiştir. Şube taleplerinin artması ile birlikte ilk 30 veri seti için elde edilen çözümlerden farklı olarak büyük araçlarında daha çok oluşturulacak olan rotalarda kullanıldığı farkedilmiştir.



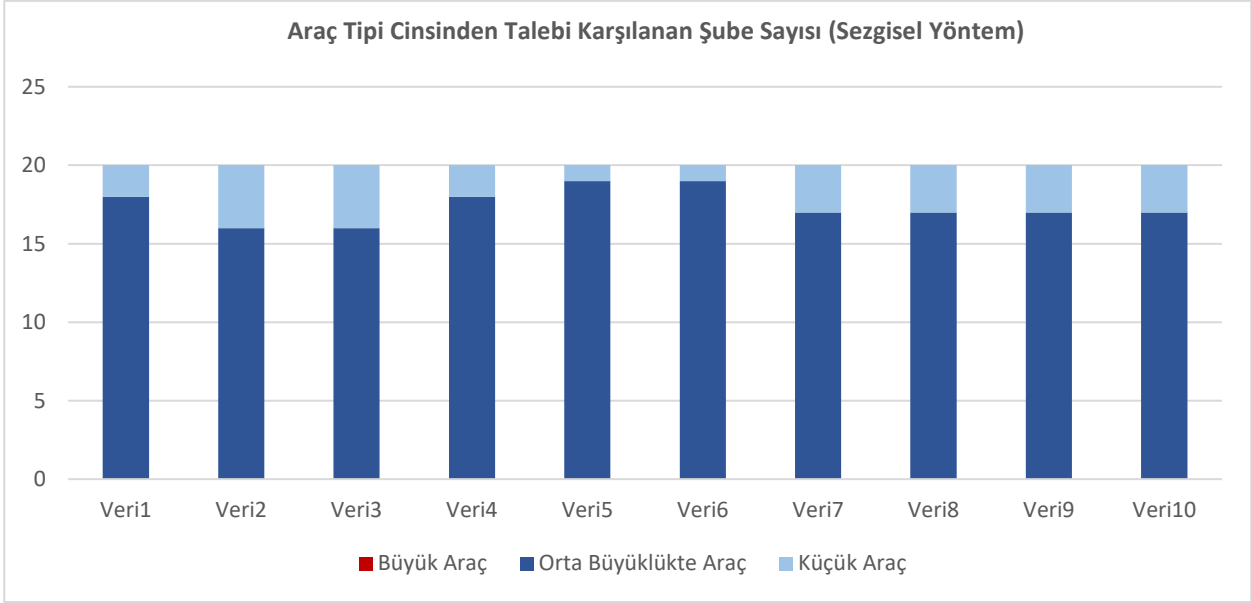
Şekil 10: Matematiksel modelin 10 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı

Matematiksel model sonuçları üzerinden 10 veri seti için tüm araçların oluşturulan tüm turları üzerinden ortalama doluluk oranları hesaplanmıştır. Araçların rotasında bulunan şubelerin palet cinsinden tanımlı talepleri toplamı ve aracın kapasitesi oranlanarak araç bazında hesaplama yapıldıktan sonra ilgili veri setindeki tüm tur yapan araçlar için ortalama doluluk oranı değeri belirlenmiştir. Sonuçlar doğrultusunda araç doluluk oranlarının 1'e yakın değerler olduğu Şekil 11 üzerinde gösterilmiştir.



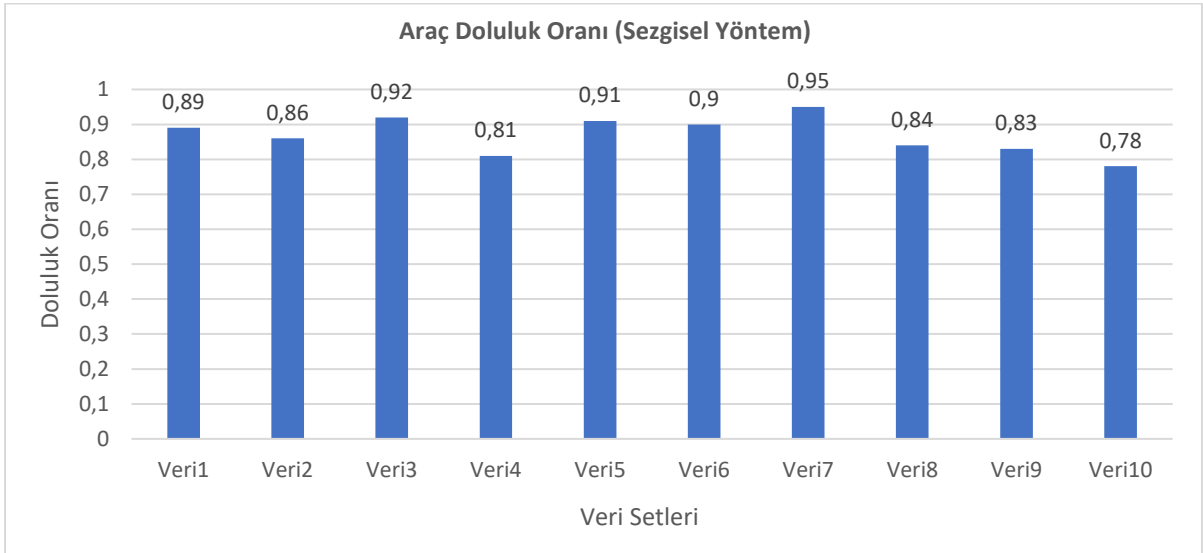
Şekil 11: Matematiksel modelin 10 veri seti için araç doluluk oranları

Sezgisel yöntem çözümlerinin araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı Şekil 12 üzerinde gösterimi aşağıda sunulmuştur. Şube taleplerinin artması ile birlikte orta büyüklükte araçlardan ve küçük araçlardan daha fazla kullanılarak diğer bir deyişle daha fazla tur oluşturularak talebin karşılanması sağlanmıştır. Matematiksel model sonuçlarında büyük araçlar daha çok kullanılmıştır. Sezgiselin daha çok orta büyüklükte araç kullanması, orta ve büyük araçlar arası hem kapasite hem de maliyet farkının çok olmamasına bağlanabilir.



Şekil 12: Sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı

Sezgisel yöntem sonuçları üzerinden 10 veri setindeki tur oluşturan her araç için doluluk oranı hesaplanmıştır. Araçların rotasında bulunan şubelerin palet cinsinden tanımlı talepleri toplamı ve aracın kapasitesi oranlanarak doluluk oranları değerleri belirlenmiştir. Araç bazında hesaplanan değerlerin veri seti bazında ortalama değeri Şekil 13 üzerinde gösterilmektedir. Sonuçlar doğrultusunda araç doluluk oranları 1'e yakın değerler olarak hesaplanmıştır.



Şekil 13: Sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç doluluk oranları

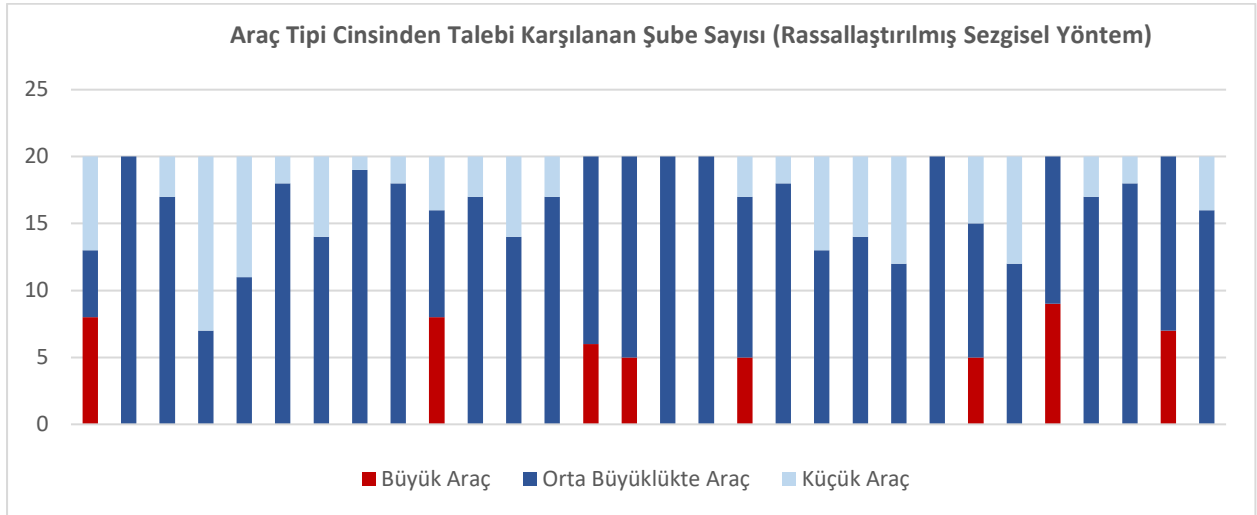
0.15 ile 0.35 arasında λ nın rassal değerler aldığı sezgisel yöntem maliyet değerleri ile matematiksel model maliyet değerleri karşılaştırması Tablo 6 da gösterilmiştir. Matematiksel

model maliyet değerlerine göre rassallaştırılmış açgözlü sezgisel yöntem sapma değerleri 30 veri için ortalama %6 olarak hesaplanmıştır. En fazla sapma değeri ise %20'dir. λ nın sistematik artırıldığı sezgisel yöntemde ortalama sapma %7 ve en fazla sapma değeri %25 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar λ nın belirli bir aralıkta rassal olarak değiştiği yöntemin λ nın sistematik artırıldığı yöntemle göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Tablo 6: 30 veri seti için matematiksel model ve rassallaştırılmış açgözlü sezgisel yöntem sapma değerleri

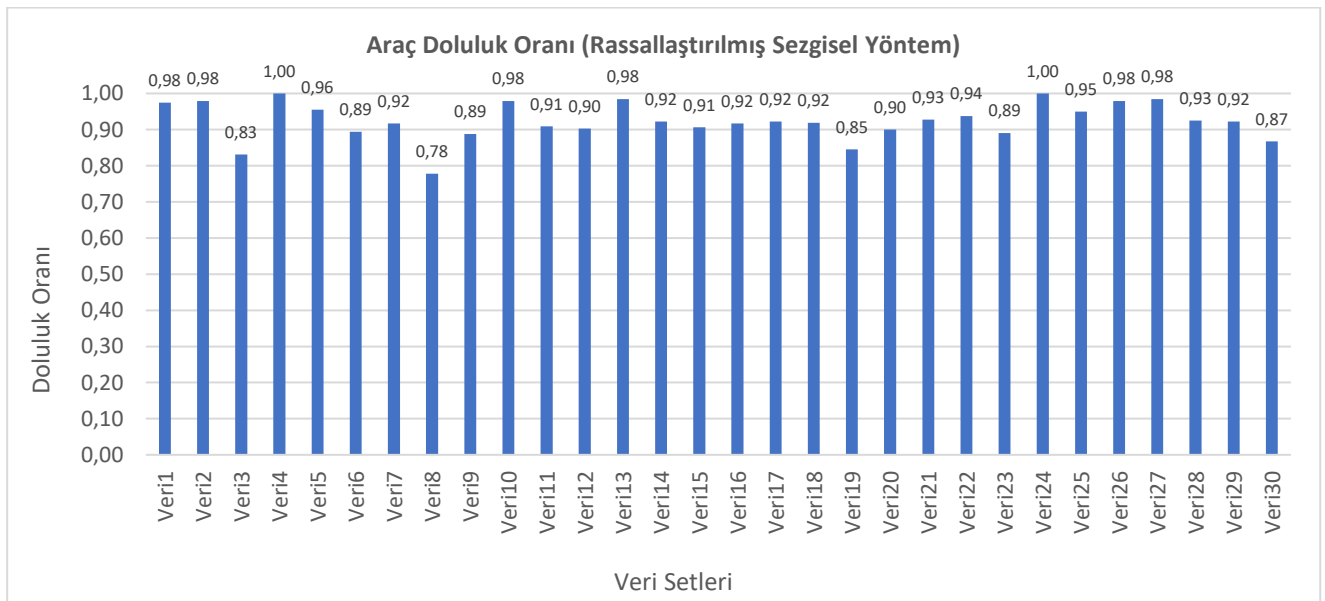
Veri Seti	Matematiksel Model	Rassallaştırılmış Açgözlü Sezgisel Yöntem	Sapma Değerleri
Veri 1	950	980	0.03
Veri 2	950	1000	0.05
Veri 3	830	950	0.14
Veri 4	750	850	0.13
Veri 5	1000	1100	0.10
Veri 6	950	950	0.00
Veri 7	830	830	0.00
Veri 8	750	750	0.00
Veri 9	900	950	0.06
Veri 10	830	950	0.14
Veri 11	1000	1000	0.00
Veri 12	900	900	0.00
Veri 13	1000	1000	0.00
Veri 14	1000	1080	0.08
Veri 15	1000	1080	0.08
Veri 16	750	750	0.00
Veri 17	1000	1000	0.00
Veri 18	1000	1030	0.03
Veri 19	1000	1200	0.20
Veri 20	750	900	0.20
Veri 21	1000	1150	0.15
Veri 22	950	950	0.00
Veri 23	950	1000	0.05
Veri 24	1000	1030	0.03
Veri 25	830	900	0.08
Veri 26	830	830	0.00
Veri 27	950	950	0.00
Veri 28	950	950	0.00
Veri 29	1000	1080	0.08
Veri 30	1000	1150	0.15

30 veri seti için rassallaştırılmış sezgisel yöntemde büyük araç, orta büyüklükte araç ve küçük araçlarla talebi karşılanan şube sayısı Şekil 14 üzerinde gösterilmiştir. Çoğunluklu olarak yöntem çözümünde şubelerin talebinin karşılanması için orta büyüklükte araçların kullanıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 14: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 30 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı

Her veri seti için en küçük maliyet değerini veren rassallaştırılmış sezgisel yöntem çözümüne ait araç doluluk oranları Şekil 15 üzerinde gösterilmiştir. Neredeyse tüm veri setleri için 0.9 üzerinde araç doluluk oranı hesaplanmıştır. En düşük 0.78 araç doluluk oranı ile karşılaşılmıştır. Bu durum araçların tam kapasiteye eşit ya da çok yakın olarak hizmet verdiğini göstermektedir.



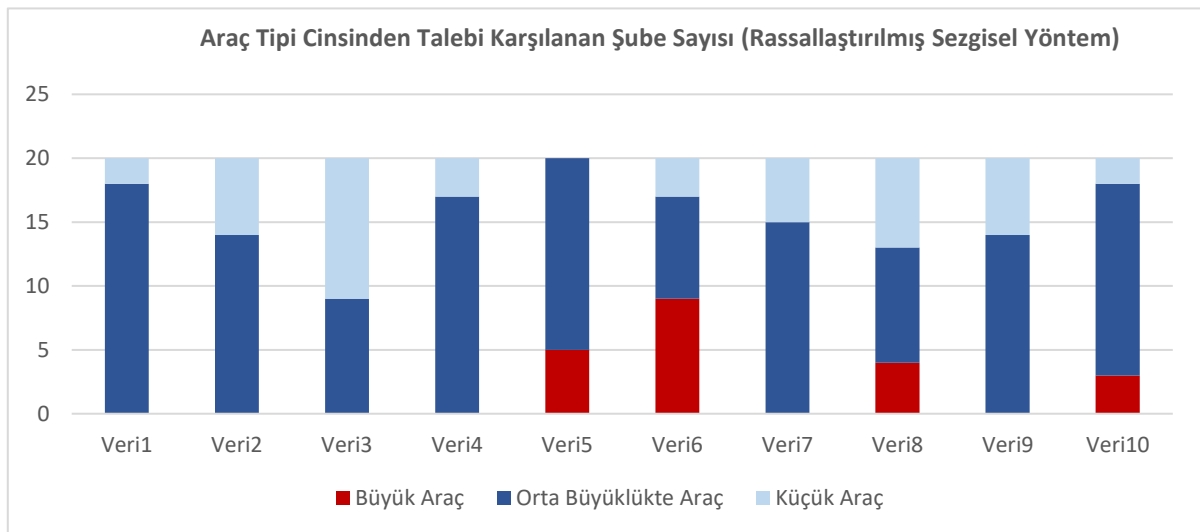
Şekil 15: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 30 veri seti için araç doluluk oranları

Taleplerin %30 oranında artırılarak oluşturulduğu 10 veri seti için de rassallaştırılmış sezgisel yöntem çözdürülmüştür. Elde edilen çözüm maliyet değerleri Tablo 7 de gösterilmiştir. Ortalama sapma değeri %6 ve en fazla sapma değeri ise %13 olarak hesaplanmıştır. λ nın sistematik artırıldığı 10 veri seti için sezgisel yöntem çözümlerinde elde edilen ortalama sapma değeri ise %8 idi. Sapma değerleri ve ortalaması incelendiğinde rassallaştırılmış sezgisel yöntem üzerinde daha iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmektedir.

Tablo 7: 10 veri seti için matematiksel model ve rassallaştırılmış ağgözlü sezgisel yöntem sapma değerleri

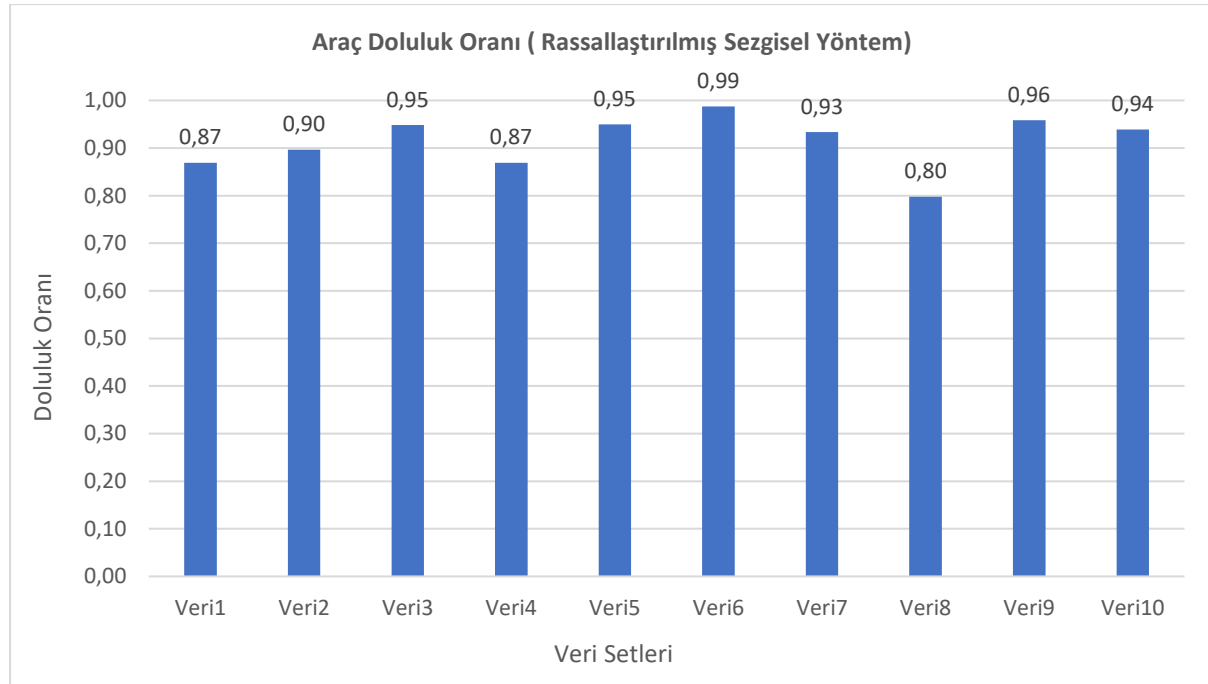
Veri Seti	Matematiksel Model	Rassallaştırılmış Ağgözlü Sezgisel Yöntem	Sapma Değerleri
Veri 1	1330	1450	0.09
Veri 2	1480	1610	0.09
Veri 3	1330	1500	0.13
Veri 4	1280	1400	0.09
Veri 5	1330	1330	0.00
Veri 6	1330	1360	0.02
Veri 7	1200	1350	0.13
Veri 8	1400	1400	0.00
Veri 9	1330	1400	0.05
Veri 10	1480	1530	0.03

Taleplerin artırıldığı 10 veri seti için rassallaştırılmış yöntem üzerinden alınan sonuçlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile büyük araç, orta büyüklükte araç ve küçük araç ile talebi karşılanan şube sayısı hesaplanmıştır. Genel olarak orta büyüklükte araçlar kullanılarak şube taleplerinin karşılandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 16: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç tipine bağlı talebi karşılanan şube sayısı

Ek olarak, rassallaştırılmış sezgisel yöntem çözümleri için araç doluluk oranları Şekil 17 üzerinde gösterilmiştir. 10 veri setinin %70'inde 0.9 üzerinde araç doluluk oranı hesaplanmıştır. Geriye kalan verilerde ise en düşük 0.8 araç doluluk oranı ile karşılaşılmıştır. Bu durum araçların tam kapasiteye eşit ya da çok yakın olarak hizmet verdiğini göstermektedir.



Şekil 17: Rassallaştırılmış sezgisel yöntemin 10 veri seti için araç doluluk oranları

5.3. Büyük Veri Seti İle Sezgisel Yöntem Sonuçları

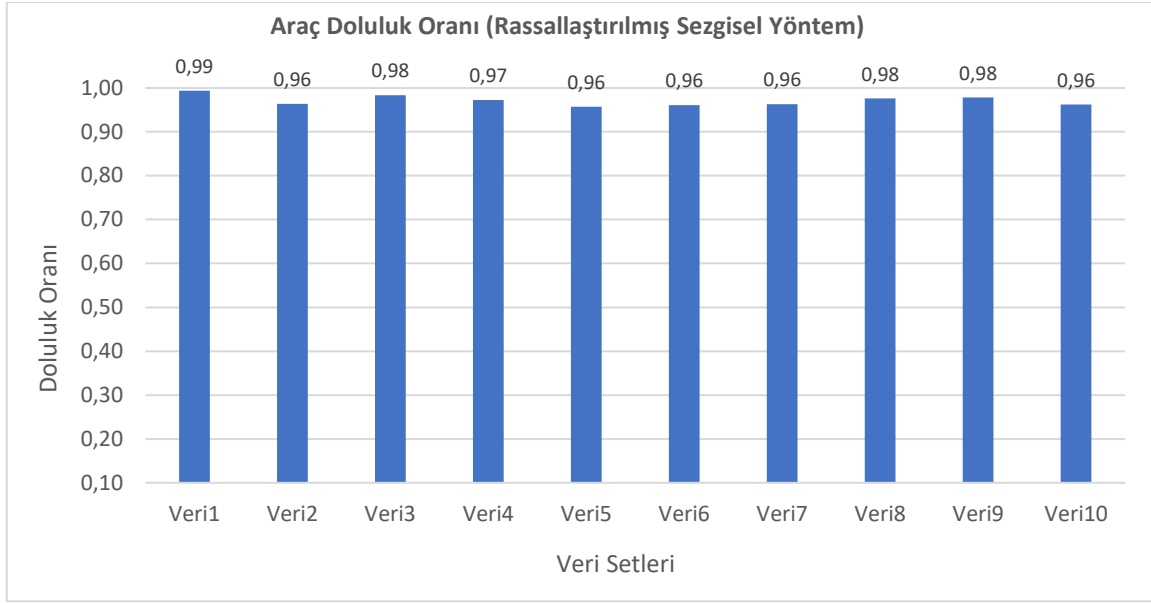
λ değerinin 0.15 ile 0.35 arasında rassal olarak değer aldığı sezgisel yöntem büyük veri setleri için çözdürülmüştür. 160 şube 24 araç ile 10 veri seti oluşturulmuştur. Araç kapasiteleri araç tiplerine göre palet cinsinden büyük araç için 18, orta büyüklükte araç için 16 ve küçük araç için 10 değerleri tanımlanmıştır. Ek olarak, araçların tur maliyetleri araç tipine göre büyükten küçüğe sırasıyla 330 TL, 250 TL ve 200 TL olarak belirlenmiştir. Aracın günlük kullanılabilir süresi 480 dakika olarak tanımlanmıştır. Şube talepleri ise aynı şekilde gerçek hayat verileri ile örtüşmesi açısından 160 şube için ortalama 3 palet karşılık gelecek şekilde oluşturulmuştur. Şubelerin hizmet penceresi şubelerin mesai saati başlangıç ve bitiş zamanları düşünülerek bu aralıkta olacak formatta oluşturulmuştur. Hizmet penceresi şubeler arasında farklılık göstermektedir. Bazı şubeler için mesai başlangıcı itibari ile 4 saatlik sürede ya da mesai bitimi öncesi 4 saatlik sürede şubelere hizmet verilebilmektedir. Bazı şubelerde ise mesai başlangıç ve bitiş içerisinde mesai başlangıcından 1 saat sonra mesai bitişinden de 1 saat önce hizmet verilmesi beklenmektedir. Depodan şubeye ya da şubeden şubeye olan mesafeler ise 5 ile 45

dakika arasında değer almaktadır. Her veri setinde şube talepleri ve depodan şubeye ya da şubeden şubeye mesafe parametre değerleri değişmektedir. Bu doğrultuda 10 farklı veri seti oluşturulmuştur. Her veri seti için 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 kez çözme işlemi uygulanmıştır. Matlab üzerinde sırasıyla algoritma çalışma süreleri 1,5 saniye, 2,3 saniye, 3,4 saniye, 5,1 saniye, 7,6 saniye ve 11,4 saniye olmuştur. 100, 200, 300 ve 400 farklı çözümün sonucundaki en küçük maliyet değerleri aynı olmuştur. 500 farklı çözümde ise maliyetteki ilk iyileşme değerleri gözlemlenmiştir. 100 kez, 500 kez ve 1000 kez çalıştırma sonucunda 10 veri seti için en küçük maliyet değerini veren sonuçlar incelenmiştir. 1000 farklı çözüm sonucunda elde edilen 10 maliyet değeri 100 farklı ve 500 farklı çözüm ile elde edilen maliyet değerlerinden daha küçük olmuştur. 1000 farklı çözümün sonucunda elde edilen en küçük maliyetler ile 100 farklı çözüm sonucunda elde edilen en küçük maliyetler arasındaki sapma değerleri ortalaması %2 olarak hesaplanmıştır. Ek olarak, 1000 farklı çözümün sonucunda elde edilen en küçük maliyetleri değerleri ile 500 farklı çözüm sonucunda elde edilen en küçük maliyetler arasındaki sapma değerleri ortalaması %1 olarak hesaplanmıştır. Aynı veri kullanılarak uygulanan farklı rassal çözümlerin sayısı arttıkça elde edilen maliyet değerinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Tablo 8’de 10 veri seti için çözümlenen sezgisel yöntem sonucu maliyet değerleri listelenmiştir.

Tablo 8: Rassallaştırılmış sezgisel yöntem için 100, 200, 300, 400, 500 ve 1000 kez çözüldüğünde en küçük maliyet değerleri

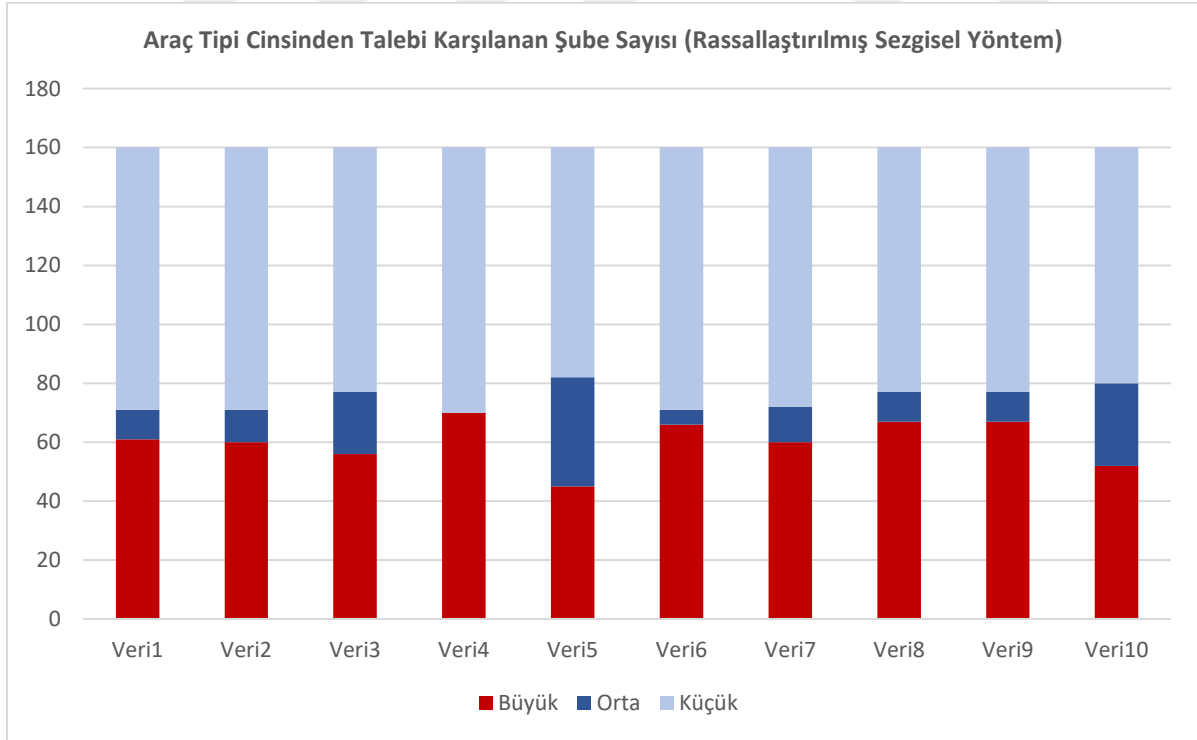
Veri Setleri	100 Çözüm	200 Çözüm	300 Çözüm	400 Çözüm	500 Çözüm	1000 Çözüm
Veri1	9350	9350	9350	9350	9180	8930
Veri2	9180	9180	9180	9180	9020	8930
Veri3	9610	9610	9610	9610	9590	9180
Veri4	9100	9100	9100	9100	9090	9090
Veri5	9750	9750	9750	9750	9680	9520
Veri6	9520	9520	9520	9520	9420	9340
Veri7	9420	9420	9420	9420	9340	9260
Veri8	9670	9670	9670	9670	9590	9590
Veri9	9750	9750	9750	9750	9670	9590
Veri10	9260	9260	9260	9260	9090	9020

λ rassal değer aldığı durumdaki 1000 farklı çözüm ile diğer çözümlere göre daha iyi sonuç aldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle 1000 farklı çözüm için elde edilen en küçük maliyet değerlerini veren sonuçlar analiz edilmiştir. Şekil 18 üzerinde her veri seti için araç doluluk oranları hesaplanmıştır. Araçlar neredeyse tam kapasite ile taşıma işlemi gerçekleştirmiştir.



Şekil 18: Rassallaştırılmış sezgisel yöntem için 1000 farklı çözümdeki araç doluluk oranları

1000 farklı çözüm sonucundaki en küçük maliyet değerleri için büyük araç, orta büyüklükte araç ve küçük aracın talebini karşıladığı şube sayısı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 19 üzerinde gösterilmiştir. Veri setinin büyümesi ile birlikte her tipte araç kullanılarak talepler karşılanmıştır.



Şekil 19: Rassallaştırılmış sezgisel yöntem için 1000 farklı çözümdeki araç tipi cinsinden talebi karşılanan şube sayısı



6. GENEL DEĞERLENDİRME

Araç Rotalama Problemi (ARP), müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bir araç filosu ile en küçük maliyetli rotaların belirlenmesidir. Araç rotalama problemlerinin birçok varyasyonu bulunmaktadır. Problem koşul ve kısıtlarına bağlı olarak yapı değişmektedir. Çalışma kapsamında ARP çeşitleri incelenerek detaylandırılmıştır. Konu olan problem ise araç rotalama probleminin bir çeşidi olan Çok Turlu Zaman Pencereli ARP'den (ÇTZPARP) oluşmaktadır. Çok Turlu Zaman Pencereli ARP'de diğer problem çeşitlerinden farklı olarak her araç için birden fazla tur yapabilme olanağı ve taleplerin karşılanacağı şubeler için tanımlı bir zaman penceresi olmasıdır.

Bu kapsamda problem çıkış noktası olarak üçüncü parti lojistik servisi kullanılarak bir dağıtım deposu üzerinden, perakende şubelerinin ihtiyaçlarının karşılanması hedeflenmiştir. Şube taleplerinin karşılanmasına yönelik gerçekleştirilen taşıma işlemlerinde ortaya çıkan tur maliyetinin en küçüklenmesi problem ana amacını oluşturmaktadır. Ek olarak araç kapasiteleri, araçların günlük kullanım süreleri, şube talepleri, şube açılış ve kapanış zamanları ve araçların şube lokasyonlarına erişebilir olma durumu problem kısıtlarını tanımlamaktadır. Probleme ilişkin literatürde yer alan çalışmalardan yararlanılarak çözüm süreci yapılandırılmıştır. İlk olarak problemin mevcut kısıtları ve amacı doğrultusunda matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model Cplex OPL üzerinde çözdürülmüştür. Küçük veri setleri için tutarlı sonuçların elde edildiği matematiksel model için artan veri içeriklerinde çözüm süreleri uzamakta ve optimal değere ulaşamamaktadır.

Yapılan deneylerde en fazla 6 araç ve en fazla 20 şube için optimal çözüm değeri elde edilmiştir. Büyük veri setleri için bir sezgisel yöntem geliştirilmesi kararlaştırılmıştır. Sezgisel yaklaşım metodları incelenerek uygun bir yöntem oluşturulmuştur. Oluşturulan sezgisel yöntem kapsamında öncelikli olarak en fazla kapasiteye sahip araçtan başlayarak mevcut kısıtları sağlayan aracın bulunduğu konuma en yakın (süre cinsinden) şubeye taşıma işlemi yapması planlanmıştır. Bu doğrultuda araçlar için oluşturulan tüm turlar için de geliştirilen tur kabul testi uygulanarak aracın planlanan turu kabul ya da red edilmiştir. Tur kabul testi ile amaçlanan yüksek kapasiteli araçlar ile oluşturulan turların küçük kapasiteli ve aynı zamanda tur maliyeti daha düşük araçlarla gerçekleştirilmesi durumunun karşılaştırılmıştır. Test sonucuna göre yüksek kapasiteli aracın düşük kapasiteli araca tercih edilmesi matematiksel değerler doğrultusunda uygun ise rota oluşturulmuştur. Oluşturulan sezgisel yöntem Matlab R2020b versiyonu ile kodlanmıştır.

Oluşturulan matematiksel model üzerinden çözüm değeri alınabilen en yüksek veri aralığı için optimal değer elde edilmiştir. Devamında karşılaştırılan sezgisel yöntemin ne kadar iyi bir çözüm sunabildiğini görebilmek amacıyla aynı veri setleri üzerinden sezgisel yöntemde sonuçlar elde edilmiştir. İlk olarak oluşturulan 30 farklı veri setinde 6 araç ve 20 şube için her bir veri seti için şube talepleri ve depodan şubeye ya da şubeden şubeye süre cinsinden mesafeler değişmektedir. Veri setlerinde yer alan araç talepleri, araçların tur maliyetleri, araçların günlük kullanılabilir süresi, şubelerin açılış ve kapanış zamanı verileri gerçek A101 verileri üzerinden oluşturulmuştur. 30 veri seti için Cplex ve Matlab üzerinde sonuçlar alınmıştır. Maliyetler arası sapma değerleri yorumlandığında ortalama sapma %7 kadar olup en fazla sapma %20 olarak gözlemlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları sezgisel yöntemin iyi bir sonuç verdiğini kanıtlamıştır. İlave olarak 10 farklı veri seti daha oluşturulmuştur. Çözdürülen 30 veri setinden farklı olarak %30 daha yüksek şube talepleri ile oluşturulmuştur. 10 veri seti için ise optimal değerden sapma %8 kadar olup en fazla sapma %13 olarak gözlemlenmiştir. Geliştirilen sezgisel yönteme ek olarak rassallaştırılmış açgözlü sezgisel yöntem oluşturulmuştur. Açgözlü sezgisel yöntem üzerinde tüm turlar için aynı ve sistematik olarak artırılan λ değerleri, rassallaştırılmış açgözlü sezgisel yönteminde her veri ve her tur bazında rassal olarak üretilmiştir. Her veri seti için 100 farklı çözüm alınarak ve alınan çözümlerden en küçük maliyet değerine sahip olan sonuç incelenmiştir. 30 veri seti için ortalama sapma %7 ve en fazla sapma değeri %25 olarak hesaplanmıştır. 10 veri seti için ise ortalama sapma değeri %6 ve en fazla sapma değeri ise %13 olmuştur. Elde edilenler doğrultusunda rassallaştırılmış sezgisel yöntemin matematiksel modele daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ek olarak, büyük veri setleri için çözüm elde edilmiş ve yorumlanmıştır. λ değerinin 0.15 ile 0.35 arasında rassal olarak değer aldığı sezgisel yöntem büyük veri setleri için çözdürülmüştür. 160 şube 24 araç ile 10 farklı veri seti oluşturulmuştur. 100 kez, 500 kez ve 1000 kez çözdürülen her veri seti için çözdürme sayısı arttıkça maliyet değerinin iyileştiği gözlemlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar rassallaştırılmış sezgisel yöntemin büyük veriler için yapılan çözümlerde optimale yakın bir sonuç vereceğini gösterdiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Pecenya, L., Meskoa, P., Kampf, R., Gasparika, J.,** (2020), Optimisation in Transport and Logistic Processes. *Transportation Research Procedia*, 15-22.
- [2] **Fleischmann, B.,** (1990), Time-Varying Travel Times in Vehicle Routing. *Transportation Science*, 121-255.
- [3] **Fleischmann, B., Gnutzmann, S., Sandvoß, E.,** (2004), Dynamic Vehicle Routing Based on Online Traffic Information. *Transportation Science*, 395-534.
- [4] **Alonso, F., Alvarez, M., Beasley, J.,** (2008), A tabu search algorithm for the periodic vehicle routing problem with multiple vehicle trips and accessibility restrictions. *Journal of the Operational Research Society*, 963-976.
- [5] **Azi, N., Gendreau, M., Potvin, J.,** (2009), A dynamic vehicle routing problem with multiple delivery routes. *Annals of Operations Research*, 103–112.
- [6] **El-Sherbeny, A.,** (2010), Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University Science*, 123-131.
- [7] **Azi, N., Gendreau, M., Potvin, J.,** (2010), An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research*, 756–763.
- [8] **Brandao, J.C.S., Mercer, A.,** (2010), The multi-trip vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 799-805.
- [9] **Petch, R.J., Salhi, S.,** (2010), A multi-phase constructive heuristic for the vehicle routing problem with multiple trips. *Discrete Applied Mathematics* 69-92.
- [10] **Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D.,** (2014), The Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Time Windows and Release Dates. *Transportation Science*, 50-65.
- [11] **Hashemi, S., Salari, M., Ranjbar, M.,** (2017), Multi-Trip Open Vehicle Routing Problem with Time Windows. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 37-57.
- [12] **Tirkolaeel, E., Abbasian, P., Soltani, M., Ghaffarian, S.A.,** (2018), Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 4-13.
- [13] **Neiraa, D.A., Aguayoa, M.M., Fuentea, R., Klappb, M.A.,** (2020), New compact integer programming formulations for the multi-trip vehicle routing problem with time windows. *Computers & Industrial Engineering Journal*, 144.

- [14] **Karoonsoontawong, A., Punyim, P., Nueangnitnaraporn, W.,** (2020), Multi-Trip Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows and Overtime Constraints. Springer Science.
- [15] **Zhena, L., Maa, C., Wanga, K., Xiaoa, L., Zhangc, W.,** (2020), Multi-depot multi-trip vehicle routing problem with time windows and release dates. *Transportation Research Part E*,135.
- [16] **Pisinger, D.,Ropke, S.,** (2007), General heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 2403-2435.
- [17] **Moon, I., Salhi, S.,** (2020), The location-routing problem with multi compartment and multi-trip: formulation and heuristic approaches. *Transportmetrica A: Transport Science*, 501-528.
- [18] **Cordeau, J.F., Laporte, G., Savelsbergh, M., Vigo, D.,** (2007), Chapter 6 Vehicle Routing. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 367-428
- [19] **Pillac, V., Gendreau, M., Gueret, C., Medaglia, A.,** (2013), A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 1-11.
- [20] **Hernandeza, F., Feillet, D., Giroudeauc, R., Naudd, O.,** (2016), Branch-and-price algorithms for the solution of the multi trip vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 551–559.

EKLER

EK 1: Sezgisel Yöntem 1 (Sistemik Artışlı λ) Matlab Kodu

EK 2: Sezgisel Yöntem 2 (Rassal λ) Matlab Kodu





EK 1

```
clc
clear all

maliyetmatrix=0;

for ex=1:1:30
excel=['data' num2str(ex)];
fprintf('\n\nSolution for :');
excel
for k=1:1:10
L=0.25;
L=k*L;

araclarexcel=xlsread (excel,"araclar");
subelerexcel=xlsread (excel,"subeler");
mesafelerexcel=xlsread (excel,"mesafeler");
sabitlerexcel=xlsread (excel,"sabitler");
aractomagazaexcel=xlsread (excel,"aractomagaza");

trycount=0;
rand_L_min = 0.01;
rand_L_max = 0.5;

for rand_L=rand_L_min:0.01:rand_L_max

araclar=araclarexcel;
subeler=subelerexcel;
mesafeler=mesafelerexcel;
sabitler=sabitlerexcel;
aractomagaza=aractomagazaexcel;

totalmaliyet=0;
manevrasabiti=sabitler(1);
indirmesabiti=sabitler(2);
yuklemesabiti=sabitler(3);

min_zaman=0;

initial_araclar=araclar;
initial_subeler=subeler;
initial_aractomagaza=aractomagaza;
arac_kapasite_i=1;
arac_zaman_i=2;
arac_tur_i=3;
arac_turmaliyeti_i=4;
arac_konum_i=5;
arac_timer_i=6;
arac_availability_i=7;
arac_kapasite_sira_i=8;

sube_talep_i=1;
sube_acilis_i=2;
sube_kapanis_i=3;

temp=size(araclar);
```

```

aracsayisi=temp(1);
temp=size(subeler);
subesayisi=temp(1);
rota_planner=zeros(aracsayisi,subesayisi);

stop=0;
temp=1;
for i=1:1:aracsayisi
    araclar(i,arac_kapasite_sira_i)=temp;
    try
        if araclar(i,arac_kapasite_i)~=araclar(i+1,arac_kapasite_i);
            temp=temp+1;
        end
    end
end
for i=1:1:aracsayisi
    araclar(i,arac_konum_i)=0;
    araclar(i,arac_timer_i)=0;
    araclar(i,arac_availability_i)=1;
end

while true
while true
temparaclar=araclar;
for i=1:1:aracsayisi
    if temparaclar(i,arac_konum_i)~=0
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end
    if temparaclar(i,arac_tur_i)<1
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end
    if temparaclar(i,arac_zaman_i)<min_zaman
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end
    if temparaclar(i,arac_availability_i)==0
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end
end
end

[M,secilenarac]=max(temparaclar(:,1));
if M==0;
    fprintf('\n\nUygun araç yok!\n');
    break
end
fprintf('\nSecilen Araç Numarasi: %d Kapasitesi: %d \n',secilenarac,M);
t=0;
araclar_temp=araclar;
while true
    t=t+1;
    tempsubeler=subeler;
    for i=1:1:subesayisi
        if
tempsubeler(i,sube_talep_i)>araclar_temp(secilenarac,arac_kapasite_i);
            tempsubeler(i,sube_talep_i)=0;
        end
        temptime=tempsubeler(i,sube_talep_i)*(yuklemesabiti+indirmesabiti);
        temptime=temptime+manevrasabiti;

temptime=temptime+mesafeler(i+1,araclar_temp(secilenarac,arac_konum_i)+1);
        temptime=temptime+mesafeler(i+1,1);
        if araclar_temp(secilenarac,arac_zaman_i)<temptime

```

```

    tempsubeler(i,sube_talep_i)=0;
end

temptime=tempsubeler(i,sube_talep_i)*yuklemesabiti;

temptime=temptime+mesafeler(i+1,araclar_temp(secilenarac,arac_konum_i)+1);
temptime=temptime+araclar_temp(secilenarac,arac_timer_i);
if subeler(i,sube_acilis_i)>temptime
    tempsubeler(i,sube_talep_i)=0;

end

    temptime=tempsubeler(i,sube_talep_i)*(yuklemesabiti+indirmesabiti);
temptime=temptime+manevrasabiti;

temptime=temptime+mesafeler(i+1,araclar_temp(secilenarac,arac_konum_i)+1);
temptime=temptime+araclar_temp(secilenarac,arac_timer_i);
if subeler(i,sube_kapanis_i)<temptime
    tempsubeler(i,sube_talep_i)=0;
end
    if aractomagaza(secilenarac,i)==0
        tempsubeler(i,sube_talep_i)=0;
end

end
tempmesafeler=mesafeler;
tempmesafeler(1,araclar_temp(secilenarac,arac_konum_i)+1)=1000;
for i=1:1:subesayisi
    if tempsubeler(i,sube_talep_i)==0
        tempmesafeler(i+1,araclar_temp(secilenarac,arac_konum_i)+1)=1000;
    end
end
[S,secilensube]=min(tempmesafeler(:,araclar_temp(secilenarac,arac_konum_i)+1));
secilensube=secilensube-1;

if S==1000
    r=1;
    rota_talep_toplam=0;
    while rota_planner(secilenarac,r)~=0

rota_talep_toplam=rota_talep_toplam+initial_subeler(rota_planner(secilenarac,r),sube_talep_i);
        r=r+1;
    end

birkucukarac=find(araclar(:,arac_kapasite_sira_i)==araclar(secilenarac,arac_kapasite_sira_i)+1);
    try
        birkucukaracmaliyeti=araclar(birkucukarac(1),arac_turmaliyeti_i);
    end
    if max(rota_planner(secilenarac,:))~=0
        fprintf('Araca uygun rota bulunamadi, arac tura cikarilmadi.\nArac
depoda bekletiliyor...\n');
        araclar(secilenarac,arac_availability_i)=0;

    else if
        (araclar(secilenarac,arac_turmaliyeti_i)/rota_talep_toplam)<=((birkucukaracmaliyeti)/rota_talep_toplam)*(1+rand_L))

```

```

araclar(secilenarac, arac_kapasite_i)=initial_araclar(secilenarac, arac_kapasite_i);

araclar(secilenarac, arac_zaman_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_zaman_i)-mesafeler(araclar(secilenarac, arac_konum_i)+1, 1);
araclar(secilenarac, arac_tur_i)=araclar(secilenarac, arac_tur_i)-1;
araclar(secilenarac, arac_konum_i)=0;
araclar(secilenarac, arac_timer_i)=0;
araclar(secilenarac, arac_availability_i)=1;

    fprintf('Planlanan rota kabul edildi, arac tura
çikarild?.\nAracın depoya dönüşü saglandı. Kalan Araç Kullanım Süresi:
%d\n', araclar(secilenarac, arac_zaman_i));
    totalmaliyet=totalmaliyet+araclar(secilenarac, arac_turmaliyeti_i);
    for i=1:1:subesayisi
        if rota_planner(secilenarac, i)~=0
            subeler(rota_planner(secilenarac, i), sube_talep_i)=0;
            rota_planner(secilenarac, i)=0;
        end
    end
    else
        fprintf('Planlanan rota reddedildi, arac tura çikarilmadi.\nAraç
depoda bekletiliyor...\n');

        for i=1:1:subesayisi
            if rota_planner(secilenarac, i)~=0
                aractomagaza(secilenarac, rota_planner(secilenarac, i))=0;

subeler(rota_planner(secilenarac, i), sube_talep_i)=initial_subeler(rota_planner(secilenarac, i), sube_talep_i);
                rota_planner(secilenarac, i)=0;
            end
        end

araclar(secilenarac, arac_kapasite_i)=initial_araclar(secilenarac, arac_kapasite_i);
        araclar(secilenarac, arac_timer_i)=0;
        araclar(secilenarac, arac_konum_i)=0;
        araclar(secilenarac, arac_availability_i)=1;
    end
end
break
end

pasttimer=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i);
araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)+tempsubeler(secilensube, sube_talep_i)*(yuklemesabiti+indirmesabiti);
araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)+manevrasabiti;
araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)+mesafeler(araclar(secilenarac, arac_konum_i)+1, secilensube+1);

difftime=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)-pasttimer;

araclar_temp(secilenarac, arac_kapasite_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_kapasite_i)-subeler(secilensube, sube_talep_i);
subeler(secilensube, sube_talep_i)=0;

```

```

araclar_temp(secilenarac, arac_zaman_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_zaman_
i)-diffitime;
araclar_temp(secilenarac, arac_konum_i)=secilensube;
rota_planner(secilenarac,t)=secilensube;
araclar(secilenarac, arac_konum_i)=secilensube;
fprintf('Gönderilecek Sube: %d Mevcut Konuma Uzaklik: %d Kalan Araç
Kapasitesi: %d Kalan Araç Kullanım Süresi:
%d\n', secilensube, S, araclar_temp(secilenarac, arac_kapasite_i), araclar_temp(
secilenarac, arac_zaman_i));
end
end

fprintf('Total maliyet: %d \n', totalmaliyet);

if max(subeler(:, sube_talep_i))==0
    fprintf('\nTüm subelerin talebi karsilandi.\n')
    trycount=trycount+1;
    maliyetmatrix(ex, trycount)=totalmaliyet;
    break
end

if stop==1
    break
end
fprintf('\n\nAçıkta kalan subelere yeniden atama yapilir.\n')
aractomagaza=initial_aractomagaza;

rand_L=100000*rand_L;

stop=1;
for i=1:1:aracsayisi
    araclar(i, arac_konum_i)=0;
    araclar(i, arac_timer_i)=0;
    araclar(i, arac_availability_i)=1;
end
end
end
end
end

S=size(maliyetmatrix);
for i=1:1:S(1)
    for j=1:1:S(2)
        if maliyetmatrix(i, j)==0
            maliyetmatrix(i, j)=9999;
        end
    end
end
end

```



EK 2

```
clc
clear all

maliyetmatrix=0;

for ex=1:1:10
excel=['data' num2str(ex)];
fprintf('\n\nSolution for :');
araclarexcel=xlsread (excel,"araclar");
subelerexcel=xlsread (excel,"subeler");
mesafelerexcel=xlsread (excel,"mesafeler");
sabitlerexcel=xlsread (excel,"sabitler");
aractomagazaexcel=xlsread (excel,"aractomagaza");

trycount=0;

while trycount <1000

rand_L_min = 0.15;
rand_L_max = 0.35;
rand_L = (rand_L_max-rand_L_min).*rand(1000,1) + rand_L_min;
rand_selector=1;

solution_output=0;
araclar=araclarexcel;
subeler=subelerexcel;
mesafeler=mesafelerexcel;
sabitler=sabitlerexcel;
aractomagaza=aractomagazaexcel;

totalmaliyet=0;
manevrasabiti=sabitler(1);
indirmesabiti=sabitler(2);
yuklemesabiti=sabitler(3);

min_zaman=0;

initial_araclar=araclar;
initial_subeler=subeler;
initial_aractomagaza=aractomagaza;
arac_kapasite_i=1;
arac_zaman_i=2;
arac_tur_i=3;
arac_turmaliyeti_i=4;
arac_konum_i=5;
arac_timer_i=6;
arac_availability_i=7;
arac_kapasite_sira_i=8;

sube_talep_i=1;
sube_acilis_i=2;
sube_kapanis_i=3;

temp=size(araclar);
aracsayisi=temp(1);
temp=size(subeler);
subesayisi=temp(1);
```

```

rota_planner=zeros(aracsayisi,subesayisi);

stop=0;
temp=1;
for i=1:1:aracsayisi
    araclar(i,arac_kapasite_sira_i)=temp;
    try
        if araclar(i,arac_kapasite_i)~=araclar(i+1,arac_kapasite_i);
            temp=temp+1;
        end
    end
end

for i=1:1:aracsayisi
    araclar(i,arac_konum_i)=0;
    araclar(i,arac_timer_i)=0;
    araclar(i,arac_availability_i)=1;
end
while true
while true
temparaclar=araclar;
for i=1:1:aracsayisi
    if temparaclar(i,arac_konum_i)~=0
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end
    if temparaclar(i,arac_tur_i)<1
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end

    if temparaclar(i,arac_zaman_i)<min_zaman
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end
    if temparaclar(i,arac_availability_i)==0
        temparaclar(i,arac_kapasite_i)=0;
    end
end
end

[M,secilenarac]=max(temparaclar(:,1));
if M==0;
    fprintf('\n\nUygun araç yok!\n');
    break
end
fprintf('\nSecilen Araç Numarasi: %d Kapasitesi: %d \n',secilenarac,M);

t=0;
araclar_temp=araclar;
while true
    t=t+1;
tempsubeler=subeler;
for i=1:1:subesayisi
    if
tempsubeler(i,sube_talep_i)>araclar_temp(secilenarac,arac_kapasite_i);
        tempsubeler(i,sube_talep_i)=0;
    end
    temptime=tempsubeler(i,sube_talep_i)*(yuklemesabiti+indirmesabiti);
    temptime=temptime+manevrasabiti;

temptime=temptime+mesafeler(i+1,araclar_temp(secilenarac,arac_konum_i)+1);
    temptime=temptime+mesafeler(i+1,1);

```

```

if araclar_temp(secilenarac, arac_zaman_i) < temptime
    tempsubeler(i, sube_talep_i) = 0;
end

temptime = tempsubeler(i, sube_talep_i) * yuklemesabiti;

temptime = temptime + mesafeler(i+1, araclar_temp(secilenarac, arac_konum_i)+1);
temptime = temptime + araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i);
if subeler(i, sube_acilis_i) > temptime
    tempsubeler(i, sube_talep_i) = 0;
end
temptime = tempsubeler(i, sube_talep_i) * (yuklemesabiti + indirmesabiti);
temptime = temptime + manevrasabiti;

temptime = temptime + mesafeler(i+1, araclar_temp(secilenarac, arac_konum_i)+1);
temptime = temptime + araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i);
if subeler(i, sube_kapanis_i) < temptime
    tempsubeler(i, sube_talep_i) = 0;
end
if aractomagaza(secilenarac, i) == 0
    tempsubeler(i, sube_talep_i) = 0;
end

end
tempmesafeler = mesafeler;
tempmesafeler(1, araclar_temp(secilenarac, arac_konum_i)+1) = 1000;
for i = 1:1:subesayisi
    if tempsubeler(i, sube_talep_i) == 0
        tempmesafeler(i+1, araclar_temp(secilenarac, arac_konum_i)+1) = 1000;
    end
end
[S, secilensube] = min(tempmesafeler(:, araclar_temp(secilenarac, arac_konum_i)+1));
secilensube = secilensube - 1;

if S == 1000
    r = 1;
    rota_talep_toplam = 0;
    while rota_planner(secilenarac, r) ~ = 0

rota_talep_toplam = rota_talep_toplam + initial_subeler(rota_planner(secilenarac, r), sube_talep_i);
        r = r + 1;
    end

birkucukarac = find(araclar(:, arac_kapasite_sira_i) == araclar(secilenarac, arac_kapasite_sira_i)+1);
    try
        birkucukarac_maliyeti = araclar(birkucukarac(1), arac_turmaliyeti_i);
    end
    if max(rota_planner(secilenarac, :)) == 0
        fprintf('Araca uygun rota bulunamadi, arac tura cikarilmadi.\nAraç depoda bekletiliyor...\n');

    else if
        (araclar(secilenarac, arac_turmaliyeti_i) / rota_talep_toplam) <= (((birkucukarac_maliyeti) / rota_talep_toplam) * (1 + rand_L(rand_selector)))
            rand_selector = rand_selector + 1;
    end
end

```

```

araclar(secilenarac, arac_kapasite_i)=initial_araclar(secilenarac, arac_kapasite_i);

araclar(secilenarac, arac_zaman_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_zaman_i)-mesafeler(araclar(secilenarac, arac_konum_i)+1,1);
araclar(secilenarac, arac_tur_i)=araclar(secilenarac, arac_tur_i)-1;
araclar(secilenarac, arac_konum_i)=0;
araclar(secilenarac, arac_timer_i)=0;
araclar(secilenarac, arac_availability_i)=1;

    fprintf('Planlanan rota kabul edildi, arac tura
çikarildi.\nAracın depoya dönüşü sağlandı. Kalan Araç Kullanım Süresi:
%d\n', araclar(secilenarac, arac_zaman_i));
    totalmaliyet=totalmaliyet+araclar(secilenarac, arac_turmaliyeti_i);
    for i=1:1:subesayisi
        if rota_planner(secilenarac, i)~=0
            subeler(rota_planner(secilenarac, i), sube_talep_i)=0;
            rota_planner(secilenarac, i)=0;
        end
    end
    else
        fprintf('Planlanan rota reddedildi, arac tura çıkarılmadı.\nAraç
depoda bekletiliyor...\n');

        for i=1:1:subesayisi
            if rota_planner(secilenarac, i)~=0
                aractomagaza(secilenarac, rota_planner(secilenarac, i))=0;

subeler(rota_planner(secilenarac, i), sube_talep_i)=initial_subeler(rota_planner(secilenarac, i), sube_talep_i);
                rota_planner(secilenarac, i)=0;
            end
        end

araclar(secilenarac, arac_kapasite_i)=initial_araclar(secilenarac, arac_kapasite_i);
        araclar(secilenarac, arac_timer_i)=0;
        araclar(secilenarac, arac_konum_i)=0;
        araclar(secilenarac, arac_availability_i)=1;
    end
end
break
end

pasttimer=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i);
araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)+tempsubeler(secilensube, sube_talep_i)*(yuklemesabiti+indirmesabiti);
araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)+manevrasabiti;
araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)+mesafeler(araclar(secilenarac, arac_konum_i)+1, secilensube+1);

difftime=araclar_temp(secilenarac, arac_timer_i)-pasttimer;

araclar_temp(secilenarac, arac_kapasite_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_kapasite_i)-subeler(secilensube, sube_talep_i);
subeler(secilensube, sube_talep_i)=0;

```

```

araclar_temp(secilenarac, arac_zaman_i)=araclar_temp(secilenarac, arac_zaman_
i)-difftime;
araclar_temp(secilenarac, arac_konum_i)=secilensube;
rota_planner(secilenarac,t)=secilensube;
araclar(secilenarac, arac_konum_i)=secilensube;
fprintf('Gönderilecek Sube: %d Mevcut Konuma Uzakl???: %d Kalan Araç
Kapasitesi: %d Kalan Araç Kullanım Süresi:
%d\n', secilensube, S, araclar_temp(secilenarac, arac_kapasite_i), araclar_temp(
secilenarac, arac_zaman_i));
end
end

```

```

fprintf('Total maliyet: %d \n', totalmaliyet);
if max(subeler(:, sube_talep_i))==0
    fprintf('\nTüm subelerin talebi karşılandı.\n')
    trycount=trycount+1;
    maliyetmatrix(ex, trycount)=totalmaliyet;
    break
end

if stop==1
    break
end
fprintf('\n\nAçıkta kalan subelere yeniden atama yapılıyor...\n\n');
aractomagaza=initial_aractomagaza;

rand_L=100000*rand_L;

stop=1;
for i=1:1:aracsayisi
    araclar(i, arac_konum_i)=0;
    araclar(i, arac_timer_i)=0;
    araclar(i, arac_availability_i)=1;
end
end
end
end

```