

**OKUL SERVİSİ ARAÇLARINI ROTALAMA PROBLEMİ
İÇİN YENİLİKÇİ BİR YAKLAŞIM**

**A NOVEL APPROACH TO SCHOOL BUS ROUTING
PROBLEM**

SEDA ALBAYRAK

DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜLDAL GÜLERYÜZ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2019

SEDA ALBAYRAK'ın hazırladığı "Okul Servisi Araçlarını Rotalama Problemi için Yenilikçi Bir Yaklaşım" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Pelin TOKTAŞ

Başkan


.....

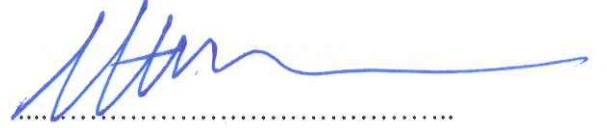
Dr. Öğr. Üyesi Güldal GÜLERYÜZ

Danışman


.....

Prof. Dr. Murat Caner TESTİK

Üye


.....

Doç. Dr. Oumout CHOUSEINOLOU

Üye


.....

Dr. Öğr. Üyesi Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK

Üye


.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak / /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Anneme, Babama, Kardeşlerime ve Müstakbel Eşime...

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

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

beyan ederim.

11 / 06 / 2019



SEDA ALBAYRAK

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

11 / 06 / 2019



SEDA ALBAYRAK

ÖZET

OKUL SERVİSİ ARAÇLARINI ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN YENİLİKÇİ BİR YAKLAŞIM

Seda ALBAYRAK

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Güldal GÜLERYÜZ

Haziran 2019, 66 sayfa

Araç rotalama problemlerini modellemek ve çözmek günümüzde çeşitli alanlarda bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin içerisinde geniş bir alana sahip olup belirli periyotlarda kısa sürede en uygun çözüm arayan türlerinden birisinin okul servis araçlarını kümeleme, rotalama ve çizelgeleme problemi olduğu görülmektedir.

Okul servis aracı rotalama problemi, belirli bölgelerde oturan öğrencilerin en uygun şekilde servis araçlarına atanıp, servis araçlarının kendi içerisinde en kısa sürede en uygun rota ile farklı okullara hizmet verebilmesi problemi olarak tanımlanmaktadır. İçerdiği birçok amaç ve kısıttan ötürü klasik bilinen yöntemlerle modellenmesi ve doğrudan çözülmesi mümkün olmamaktadır.

Literatürde problemi bütünüyle ya da kısmi olarak ele alan birçok çalışma yapıldığı ve bunlar için hem kesin hem de geliştirilen çeşitli sezgisel yöntemlerle çözüm arandığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında farklı öğrenci sayısı olan birçok okula hizmet veren bir servis firması için kümeleme ve rotalama problemi ele alınarak çözüm üretilmiştir.

Problemin çözümünde servis araçlarının rotalarını ve sayısını optimize ederek öğrenci taşımacılığı yapan firmadaki maliyetleri azaltıp kârı mümkün olduğu kadar artırabilmek amacıyla farklı kümeleme teknikleri ve rotalama yöntemleri ile karma bir model kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kapasite kısıtlı ve açık uçlu araç rotalama problemi olarak ifade edilen bu uygulamadaki örnek için tasarruf algoritması ile de çözülerek kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Okul Servis Aracı Kümeleme ve Rotalama, Kesin ve Sezgisel Algoritmalar, Açık Uçlu ARP ve Kapasite Kısıtları, Tasarruf Algoritması

ABSTRACT

SCHOOL BUS ROUTING AND SCHEDULING FOR A STUDENT TRANSPORTATION SERVICE COMPANY

Seda ALBAYRAK

Master of Science, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Güldal GÜLERYÜZ

June 2019, 66 pages

Modeling and solving vehicle routing problems is nowadays emerging as a need in various fields. Among these, it is seen that one of the types that have a wide area and which is looking for the most suitable solution in a short time period is the school bus clustering, routing and scheduling problem.

School bus routing problem is defined as the problem that students reside in certain regions can be assigned to the school buses in the most appropriate way and that they can serve different schools in the shortest time with the most appropriate route within the school buses itself. It is not possible to model and solve it directly by classical methods because of many objectives and constraints it contains.

In the literature, it is seen that there are many studies in which the problem is addressed in whole or in part. Both exact and variety of developed heuristic algorithms have sought

out to provide optimal solutions. In this study, the solution of the problem of clustering and routing for a school bus company serving many schools with different number of students is presented.

A hybrid model is used with different clustering techniques and routing methods in order to reduce the costs and increase the profit as much as possible by optimizing the bus routes and number of buses in the student transportation service company. The results are compared with the solutions of saving algorithm for the example in this study, which is expressed as the capacity constrained and open vehicle routing problem.

Keywords: School Bus Clustering and Scheduling, Exact and Heuristic Algorithms, Open Vehicle Routing Problem and Capacity Constraints, Savings Algorithm

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü eğitim sürecim boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak kendime değer katmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün değerli hocalarından tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Güldal GÜLERYÜZ'e ve üzerimde emeği olan bölümümün saygıdeğer anlayışlı, içten, paylaşımcı tüm hocalarına,

tez yazma sürem boyunca hoşgörülerini ve desteklerini benden esirgemeyen ASELSAN SST Üretim Planlama Müdürlüğü'nde çalışan değerli iş arkadaşlarıma,

hem lisans hem de yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yanımda olan ve desteğini dostluğunu hep hissettiğim sevgili arkadaşım Zeynep DUR'a,

hayatıma dahil olduğu andan beri her zaman yanımda olan, çalışmalarımdaya motivasyonumu hep yüksek tutmamı sağlayan ve bilgilerini paylaşarak desteğini esirgemeyen çok değerli pek kıymetli müstakbel eşime,

iyi ve kötü tüm zamanlarda ablalarına bağlı olan, sevgi ve varlıklarıyla hayatıma anlam katan canım kız kardeşlerime,

hayatımın her anında yanımda olup benim bugünlere gelmemi sağlayan, beni yetiştiren, eğiten ve karşılıksız sonsuz destek ve sevgilerini veren canım annem ve canım babama

Sonsuz Teşekkürler...

Seda ALBAYRAK

Haziran 2019, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	4
2.1. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri	4
2.2. Araç Rotalama Problemi için Çözüm Yöntemleri.....	6
2.2.1. Kesin Çözüm Yöntemleri	7
2.2.2. Sezgisel Yöntemler	8
3. KÜMELEME YÖNTEMLERİ.....	12
3.1. Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri.....	14
3.1.1. Gruplayıcı Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri.....	15
3.1.1.1. Tek Bağlantı (En Yakın Komşu) Kümeleme Yöntemi.....	16
3.1.1.2. Tam Bağlantı Kümeleme Yöntemi	16
3.1.1.3. Ortalama Bağlantı Kümeleme Yöntemi	16
3.1.1.4. Merkezi Bağlantı Kümeleme Yöntemi	17
3.1.1.5. Medyan (Ortanca) Bağlantı Kümeleme Yöntemi.....	17
3.1.1.6. Ward Bağlantı Kümeleme Yöntemi	17
3.1.2. Ayırıcı Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri	18
3.2. Hiyerarşik Olmayan Kümeleme Yöntemleri	18
3.2.1. K-Ortalamlar Tekniği.....	18

4. TASARRUF ALGORİTMASI İLE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMLERİNE GENEL BAKIŞ.....	20
5. GELİŞTİRİLEN MODELLER, MODELLERİN UYGULANMASI VE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN ANALİZİ.....	23
5.1. Problemin Tanımı ve Kısıtları	23
5.2. Verinin Toplanıp Oluşturulması	25
5.3. Geliştirilen Sezgisel Kümeleme Yöntemleri ve Uygulamaları.....	27
5.4. Kümeleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	40
5.5. Rotalama Probleminin Modeli ve Çözümü	43
5.6. Yöntemlere Ait Sonuçların Analizi	45
6. TASARRUF ALGORİTMASININ UYGULANMASI VE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN ANALİZİ	50
7. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR	56
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	65
EK 1 - Tezden Türetilmiş Bildiriler.....	65
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.2.2.1. Süpürme Algoritmasına Dayanan Rotalama İşlemi	9
Şekil 3.1. Orijinal Kümelenmemiş ve Kümelenmiş Veri	12
Şekil 3.2. Kümeleme İşlemlerinin Adımları	12
Şekil 3.2.1.1. (a) orijinal kümelenmemiş veri, (b) rastgele ilk küme merkezleri, (c-f) yinelemeler ile her birimin en yakın küme merkezine atanışı ve buna göre değişip güncellenen küme merkezleri	19
Şekil 5.2.1. Farklı Okullarda Bulunan Öğrenci Adreslerinin Haritada Gösterilmesi	25
Şekil 5.2.2. Okul 6'ya ait RStudio Verileri	26
Şekil 5.2.3. Okul 1'e ait 22x22'lik Mesafe Matrisi	26
Şekil 5.3.1. Okul 2'e ait Dendogram (Ağaç Grafiği)	29
Şekil 5.3.2. Okul 4'ün Küme Dağılımının Haritada Gösterimi	33
Şekil 5.3.3. Okul 7'nin Küme Dağılımının Haritada Gösterimi	36
Şekil 5.3.4. Okul 10'un Küme Dağılımının Haritada Gösterimi	40
Şekil 6.1. Kapalı Uçlu ve Açık Uçlu ARP	50
Şekil 6.2. Tasarruf Algoritması Gösterimi	51
Şekil 6.3. Okul 1'e ait Elde Edilmiş 22x22'lik Tasarruf Matrisi	52
Şekil 7.2. Okullara Göre İyi Sonuç Veren Metotların Dağılımları	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.3.1. Yöntem 1 için Küme Oluşturma Algoritmasına ait Sözde Kod	28
Çizelge 5.3.2. Yöntem 1 için Küme Düzenleme Algoritması	30
Çizelge 5.3.3. Okul 4 için Küme Dağılımları	31
Çizelge 5.3.4. Okul 4'e ait Dendogram Benzerlik İlişkileri.....	32
Çizelge 5.3.5. Okul 4 için Kümeleme Sonuçları	32
Çizelge 5.3.6 Yöntem 2 için Küme Oluşturma Algoritmasına ait Sözde Kod	34
Çizelge 5.3.7. Okul 7 için Küme Dağılımları	35
Çizelge 5.3.8. Okul 7 için Kümeleme Sonuçları	36
Çizelge 5.3.9. Okul 10 için Aykırı Değerleri Belirleme Kümeleri.....	38
Çizelge 5.3.10. Okul 10 için Kümeleme Sonuçları	39
Çizelge 5.3.11. Yöntemlerin Kıyaslanması	39
Çizelge 5.4.1. Küme İçi En Uzak Mesafelerin Ortalaması.....	41
Çizelge 5.4.2. Kümeler Arası En Yakın Mesafelerin Ortalaması.....	42
Çizelge 5.6.1. Okul 16 için Elde edilen 7 Kümenin Rotalara Göre Mesafe Sonuçları... 46	
Çizelge 5.6.2. Yöntemlere Göre Kat Edilen Mesafeler	47
Çizelge 5.6.3. Performans Kriterleri ve Rotalama Sonuçlarının İstatistiksel Gösterimi 49	
Çizelge 6.2. Okul 7'ye ait Tasarruf Algoritması ile Elde Edilen Rotalar ve Öğrencilerin Servis Araçlarına Atanması	55
Çizelge 7.1. Çözümlere Göre Elde Edilen Küme Sayıları.....	56
Çizelge 7.2. Tasarruf Algoritması ile En İyi Sezgisel Yöntem Sonuçlarının Kıyaslaması	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ARP	Araç Rotalama Problemi
OSARP	Okul Servis Aracı Rotalama Problemi
KKARP	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
AUARP	Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi
ZBARP	Zaman Bağımlı Araç Rotalama Problemi
ÇDARP	Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
BTARP	Belirsiz Talepli Araç Rotalama Problemi
CW	Clarke-Wright
HKT	Hata Kareler Toplamı
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu

1. GİRİŞ

Günümüzde firmaların başarısı ve rekabetteki gücünü koruyabilmeleri, işlerinde ne kadar verimli olduklarına bağlı hale gelmiştir. Okullara öğrenci taşımacılığı yapan servis firmaları karlarını en üst seviyeye çıkarabilmek için ellerinde bulunan servis araçları ile eğitim öğretim dönemlerinde daha fazla okula hizmet sağlamayı hedeflemektedir. Aynı zamanda firmalar, araçların kat ettiği mesafeyi en aza indirerek hem maliyeti düşürmeyi hem de öğrencilerin servis içerisinde geçirdiği süreyi azaltarak kaliteli ve hızlı hizmet sunmayı istemektedir. Amaçları bu kadar net ortaya koyulabilen ve literatürde ifade edildiği şekliyle Araç Rotalama Probleminin (ARP) çözülmesi uzun zaman gerektirmesinden ötürü çok kolay olmamaktadır.

ARP bir depoda bulunan malzemeleri farklı bölgelerde bulunan müşterilere bir kez uğrayarak dağıtıp toplayan ve sonrasında depoya dönen araçların rotalarının bulunması şeklinde tanımlanabilir. Lojistik konusunda hem zaman hem de maliyet açısından önemli bir problem olduğundan uzun yıllardır üzerinde birçok çalışma yapılmıştır ve günümüzün rekabet ortamında da farklı sektörlerde bu probleme değişik çözüm yöntemleri aranır hale gelinmiştir.

Okul Servis Aracı Rotalama Problemi (OSARP), ARP'nin bir alt türü olup öğrencilerin her birisinin evinden alınıp okula ve okuldan alınan öğrencilerin her birisinin evine bırakılmasını içerir. Servis firmaları birçok kısıta bağlı olarak tüm öğrencilere minimum maliyet ile hizmet vermeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada doğru kümeleme ile öğrencilerin servislere atamasının yapılması, servis bazında rotalama ile süre ve mesafelerin kısaltılması, minimum servis sayısının belirlenmesi hedeflenerek kar maksimuma çıkarılmıştır. Yapılan çalışmada gün içerisinde birçok okula hizmet vermekte olan Ankara'da öğrenci taşımacılığı yapan orta ölçekli bir servis firmasına ait veriler kullanılmıştır.

Literatür taramasında öğrencilerin belirli yürüme mesafelerindeki belirlenen duraklardan alındığı, zaman ve kapasite kısıtları barındıran, bir serviste farklı okullardan öğrencilerin bir arada taşınabildiği, serviste geçirilen maksimum sürenin değerlendirildiği, problemin parçalanıp sadece gruplandırma, rotalama ya da çizelgeleme yapılmasına dair birçok çalışma ve uygulama ile karşılaşılmıştır. Önceki çalışmalarda böylesine karmaşık yapıda olan problemin sınıflandırılışına göre farklı birçok çözüm yöntemi bulunup tercih edilmiştir. Daha küçük yapıda olanlar için çözüme ulaşılabilecek olan matematiksel modellerin oluşturulduğu kesin yaklaşımlar tercih edilirken, genele bakıldığında; tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritma, karınca kolonisi optimizasyonu, tasarruf algoritması, parçacık sürü optimizasyonu gibi sezgisel yaklaşımların kullanım sıklığı dikkat çekmektedir.

Bu tez çalışmasında optimizasyonu hedeflenen okul servis araçlarını kümeleme ve rotalama problemi, uzun yıllardır üzerinde çalışılan ve geniş kapsama sahip olan araç rotalama problemi içerisinde değerlendirilmektedir. Park ve Kim [1] tarafından okul servis araçlarını rotalama problemi üzerine yapılan ayrıntılı araştırmada, ARP'nin birçok alt problemi barındıran karmaşık ve çözülmesi oldukça güç olan (NP-zor) bir problem olduğu belirtilmektedir. Değişkenlerin ve denklemlerin sayısı çok fazla olduğundan, bu problem için gerçek koşullar altında tam bir çözüm bulmak zordur; çözmek için çoğunlukla sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Problemin çözümü için yapılan önceki çalışmalar değerlendirilerek veri hazırlama, durakların seçimi, servislerin rotasının oluşturulması, okul zillerinin ayarlanması ve servislerin çizelgelenmesi olarak belirlenen beş adım doğrultusunda problemin ele alındığı görülmektedir. Bu doğrultuda uygulamanın yapıldığı servis firmasında her öğrencinin evden alınması kısıtı bulunduğundan durakların belirlenmesi ve okul giriş-çıkış saatlerine müdahale edilemediğinden okul zillerinin ayarlanması adımlarına yer verilmemiştir. Servis araçlarının çizelgelenmesine ise gelecek çalışmalarda yer verilecektir.

Yapılan çalışmada öncelikle öğrencilerin ev adresleri, okulların adresleri, okulların giriş-çıkış saatleri gibi veriler toplanmıştır. GPS konumları kullanılarak mesafeler matrisleri hesaplanıp, kısıtlara bağlı olarak farklı kümeleme tekniklerinden yararlanılıp öğrenciler

gruplandırılmıştır. İki kritere göre elde edilen kümelerin performansları değerlendirilmiştir. Oluşturulan gruplar içerisinde minimum servis sayısını belirlemek, kat edilen toplam kilometreyi minimuma indirmek ve toplam kârı maksimuma çıkarabilmek hedefiyle doğrusal programlama ve sezgisel yöntemler ile rotalama problemine çözümler üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak tasarruf algoritması ile problem yeniden çözülüp sonuçların kıyaslanması ile çalışma sonlandırılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde araç rotalama problemleri hakkında bilgi verilmektedir, 3. bölümde kümeleme yöntemlerinden ayrıntılı olarak bahsedilmektedir, 4. bölümde tasarruf algoritması ve benzer problemlerdeki çalışma alanları açıklanmaktadır. 5. bölümde tez kapsamında geliştirilen kümeleme modellerine, modellerin her birisi için örnekli olarak yapılan uygulamalara, oluşturulan kümeleme sonuçlarının performansına ve elde edilen sonuçların analizine yer verilmektedir. 6. bölümde tasarruf algoritmasının uygulaması yapıp elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. 7. bölümde tüm çözüm sonuçlarının kıyaslanıp değerlendirilmesi ile belirlenen en iyi yöntem ortaya konulmaktadır ve gelecek çalışmalar kapsamında yapılabileceklerden bahsedilmektedir.

2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

OSARP, öğrencilerin evden okula ve okuldan eve en güvenli, ekonomik ve uygun şekilde taşınması ile ilgilenmektedir [2]. Literatürde yer alan OSARP çalışmaları, hizmet kalitesi sağlamanın yanı sıra okul servis araç rotalarını optimize ederek okul taşımacılığı hizmetinin maliyetinin büyük ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir.

OSARP, ARP'nin özel bir durumu olarak değerlendirilmiştir [3]. ARP, yolcuları veya ürünleri almak /teslim etmek için birkaç duraklama yapması gereken bir araç filosunun (kamyon, otobüs, araba vs.) verimli kullanılması problemi [4]. Okul servis araçları sınırlı kapasiteye sahip olduğundan; OSARP, kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (KKARP) kapsamına girmektedir. OSARP, ilk olarak 1969 yılında Newton ve Thomas [5] tarafından önerilmiştir. Park ve Kim'e göre OSARP [1], her okul servis aracının birçok farklı duraktan öğrencileri aldığı ve servis aracının azami kapasitesi, servis aracı içinde bir öğrencinin azami geçirdiği zaman ve bir okulun zaman aralığı gibi çeşitli kısıtları yerine getirerek öğrencileri belirlenen okullara ulaştırdığı bir okul servis aracı filosu için etkili bir çizelgeleme oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu tez çalışmasındaki uygulamada da belirli kısıtlar çerçevesinde minimum sayıda servis aracı ile birçok okula hizmet verilmesi hedeflenmektedir.

ARP, gerçek hayatta büyük öneme sahiptir ve akademik olarak da çok ilgi görmektedir. 1959 yılında Dantzing ve Ramser [6] tarafından ilk ARP formülasyonu önerildiğinden beri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar bir yandan gerçek hayat uygulamalarının özelliklerini daha çok içeren modelleri formüle etmek diğer yandan problemi etkili bir şekilde çözmek için yöntemler geliştirmek üzerine olmuştur. Çünkü ARP, NP-zor olarak tanımlanan bir kombinatoriyel optimizasyon problemidir; çözümü için yaklaşımlar sürekli olarak önerilmektedir ve geliştirilmektedir.

2.1. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri

Bu bölümde ARP'de karşılaşılan kısıtlara göre problemin özelleştirilmiş alt başlıklarına yer verilecektir: KKARP, açık uçlu araç rotalama problemi (AUARP), zaman bağımlı

araç rotalama problemi (ZBARP), çok depolu araç rotalama problemi (ÇDARP) ve belirsiz talepli araç rotalama problemi (BTARP) [7]. Tez çalışmasında işlenen OSARP, bu uygulama özelinde hem KKARP hem de AUARP içerisinde değerlendirilerek çözüm bulma yoluna gidilmiştir.

KKARP'de minimum maliyetli araç rotaları oluşturmak hedefiyle bir depodan çıkıp aynı depoda sonlanan ve bilinen talepleri olan bir dizi müşteriye mal teslim edilmektedir. Araçların aynı özelliklere ve belirli bir kapasiteye sahip olduğu varsayılmaktadır. ARP'nin en sık karşılaşılan türü olduğu bilinmektedir. Karma kapasiteli türünde ise araçların kapasiteleri birbirinden farklı olabilmektedir. KKARP'nin bazı versiyonlarında muhtemel rotaların uzunluklarını sınırlayan bir rota süresi kısıtlamasına uymak gerekmektedir [8].

ZBARP, zaman pencerelerini müşterileri ile ilişkilendirerek KKARP'yi genişletmektedir. Zaman penceresi, müşteriye malın tedarik edilmesi gereken bir aralık tanımlamaktadır. Bir aracın, müşteriler arası ulaşım sürelerinin gün içerisinde değişebildiği ve her birisi ayrı zaman aralığı kısıtına sahip olan müşterilere hizmet sağlamak durumunda olduğu problemlerdir. Yapılan çalışmaların çoğunda ulaşım sürelerinin sabit alındığı görülmektedir.

AUARP ile KKARP birbirine çok benzemektedir ancak KKARP'nin aksine araçların AUARP'de depoya geri dönmesi gerekmemektedir. Son müşteriye de hizmet verildikten sonra rota sona ermektedir. OSARP içerisinde birçok okula hizmet sağlandığından servis araçlarının okula dönme zorunluluğu bulunmayıp bir sonraki okula gitmek için araç farklı bir rotaya başlamak üzere devam etmektedir. Bu sebeple bu tezde yer alan problem, AUARP olarak değerlendirilerek kümeleme ve rotalama işlemleri yapılmıştır.

ÇDARP, çoklu depolara izin vererek KKARP'yi genişletmektedir. Araçların depolara ataması yapıp aynı şekilde her bir aracın ait olduğu depodan başlayıp oraya geri dönmesi beklenmektedir. Çoklu depolar problemi iyice zorlaştırmaktadır. Müşteri ve depoların bulunduğu yere göre her birisinin ayrı birer ARP gibi çözüldüğü durumlar bulunmaktadır.

BTARP'de araç müşteriye vardığında talep miktarı öğrenilmektedir. Bu problemin müşteri ve servis zamanlarının belirsiz olduğu türleri de bulunmaktadır. Rassal değişkenler öğrenildikten sonra çözüm işlemlerinde düzeltmeye gidilebilmektedir.

Genel olarak bakıldığında; KKARP ve ÇDARP toplam kat edilen mesafeyi en aza indirmeyi birinci önceliğe yerleştirmişken, AUARP ve ZBARP için araç sayısını minimum yapmaya çalışmak daha önceliklidir. Ancak ZBARP için yapılan bazı çalışmalarda önceliklerin değişme durumu olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında gerçek hayat üzerinden bir uygulama yapılmaktadır ve okul servis araçlarının evden okula ve okuldan eve gitme uzaklıklarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Sonucunda ise kullanılan mesafe matrisi simetrik olmamaktadır. Tüm bu anlatılan ARP çeşitlerine ek olarak, belirtilen durumun oluştuğu tür de asimetrik araç rotalama problemi olarak adlandırılmaktadır. Bunun gibi dinamik, statik, periyodik, topla-dağıt, bölünmüş talepli gibi farklı ARP çeşitleri olarak daha ayrıntılı sınıflandırmaların yapılması mümkün olabilmektedir.

2.2. Araç Rotalama Problemi için Çözüm Yöntemleri

OSARP ve dahil olduğu grup olan ARP, NP-zor bir problemdir ve bu nedenle [9] makul bir süre içinde problemin en iyi çözümünü verecek bir algoritma bilinmemektedir. Hayatın içinden problemler olduğu için üzerine çok fazla çalışma yapılmış olup değişik çözüm yöntemleri aranmıştır. Büyük verileri içeren OSARP'ler için birçok araştırmacı sezgisel yöntemleri tercih etmişken; küçük örneklerini çözmek için kesin yöntemlerin kullanımlarına rastlanmaktadır. Bu tez çalışmasında olduğu gibi çok okullu araç rotalama problemleri, büyüklüklerinden ötürü tek okullu araç rotalama problemlerine dönüştürülerek çözümler aranmaktadır. Tek okullar için hem kesin hem de sezgisel algoritmalar önerilmiştir ve uygulanmıştır. Aşağıda iki başlık şeklinde bu yöntemlerin kısaca anlatımları yapılacaktır.

2.2.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin yaklaşımlar problemi çözmek için matematiksel modelleri ve ticari karmaşık tamsayı program çözücülerini kullanmaktadır. Bunlar da ancak tek okulun bulunduğu, öğrencinin ve öğrencilerin alındığı durakların çok az sayıda olduğu problemler için uygulanabilmektedir. Bektaş and Elmastaş [10] genel atama problemini düzenleyerek ilk kesin yaklaşımı oluşturmuşlardır. Bu doğrusal karar modeli için geçerli eşitsizlikler önerip CPLEX ile çözüme kolaylıkla ulaşmışlardır. Chen ve ark. [11], kullandıkları 2 veri seti için hem CPLEX ile çözdükleri karma tamsayı model geliştirmişlerdir hem de tavlama benzetimi sezgiselinden faydalanmışlardır.

Kümeleme ve rotalama problemini baştan sona tek bir model kurarak çözüm arayan çalışmaya literatürde pek rastlanmamıştır. Faraj ve ark. [12] ise OSARP için veri hazırlama ve durakların seçimi aşamalarını atlayarak servislerin rotasının oluşturulması kısmında karma tamsayı programlama modeli ve sezgisel yöntemlerden GRASP algoritması ile probleme kısmi çözüm bulup kıyaslama yoluna gitmişlerdir. Sonucunda ise sezgisel yöntem ile daha kısa sürede daha iyi sonuç elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Genel olarak bakıldığında kesin çözüm yöntemleri içerisinde en çok çalışma yapıp geliştirilmesi için uğraşılacak dal-sınır, kesme ve fiyat algoritmaları olmuştur. Bu algoritmalar, problemi tamsayı doğrusal programlama modeli gibi oluşturup gevşetmeler ile birlikte mümkün olan tüm çözümler üzerinden en optimal olanı seçmek üzerine kurulmuşlardır. Fügenschuh [9], Hadjar ve ark. [13], Kumar ve Jain [14] bu konuda öne çıkan çalışmaları yapmışlardır.

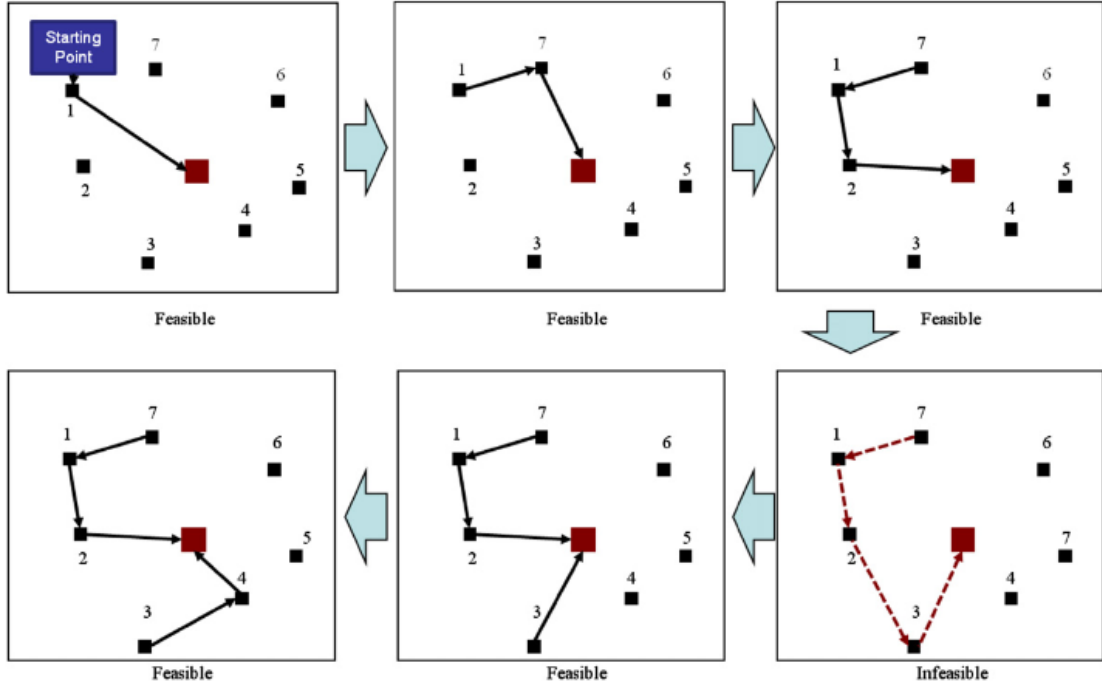
Wang ve ark. [15] birden fazla okulun bulunduğu bir problemde minimum servis sayısını belirlemek için matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Modeli gevşeterek ayrıştırma mantığında her bir okul için her aşamada kısıtları kontrol edip servis sayısını hesaplamışlardır. Modeli defalarca kez çalıştırarak en iyi sonuca karar vermişlerdir.

2.2.2. Sezgisel Yöntemler

Sütun Türetme Algoritması: Rotalama problemlerinin karmaşıklığından ötürü sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden son dönemde oldukça yaygın olanlarından bir tanesi OSARP'yi küme ayırma problemi gibi formüle edip kısıtlı bir sütun türetme yaklaşımı ile çözmektir [3]. Kısıtlı sütun türetme tekniği, kısıtlar dahilinde mümkün olan tüm sütunları üretmek yerine çözümü ileri taşıyacak sütunların oluşturulmasıdır. Böylelikle algoritma daha kısa süre çalıştırılıp hesaplama yükü aza indirilerek çözüme ulaşılabilmektedir. Hem Riera-Ledesma ve Salazar-Gonzalez [16] hem de Kinable ve ark. [17] yaptıkları çalışmada dal ve sınır tekniğini kullanan sütun türetme algoritması ile çözüm geliştirmişlerdir. Santana ve ark. [18] ZBARP çözümü için sütun türetme ve kümelemeyi bir arada kullanan karma bir model oluşturmuşlardır. Öncelikle büyük parçalar halinde gruplama yapıp sonra yakın düğümleri birleştirerek iki aşamada kümelemeyi tamamlamışlardır. Ardından kümeler için rotaları sütun türetme yöntemi kullanarak oluşturmuşlardır.

Tasarruf Algoritması: Kullanım alanı oldukça geniş olan yöntem, bu tezde çözüm seçeneklerinden biri olarak tercih edildiğinden Bölüm 4'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Paralel çeşidi ile açık uçlu problemler için düzenlenmiş formülleri uygulanmıştır.

Süpürme Algoritması: Aynı şekilde tezde yer alan ve mantığından faydalanılmış olan süpürme algoritması ise Gillett ve Miller [19] tarafından önerilmiştir. Her bir müşterinin ve depo koordinatlarının bilindiği orta ve büyük boyuttaki KKARP için kullanılmaktadır. İki aşamadan oluşur. Bunlardan ilki olan bölme aşamasında araç kapasitesi dolana kadar koordinatlara göre artan sırada dizilen noktaların eklemesi yapılır ve bu işleme tüm noktalar bitene kadar devam edilir. Noktaların ataması yapılan her araç için ikinci aşamada rotalar, gezgin satıcı probleminin çözüm yöntemlerinden biri ile düzenlenmektedir. Park ve ark. [20] tarafından geliştirilen algoritmanın değiştirilmiş süpürme algoritması tabanlı uygun tek yük planı oluşturma incelemesine Şekil 2.2.2.1'de gösterilen örnekte yer verilmiştir.



Şekil 2.2.2.1. Süpürme Algoritmasına Dayanan Rotalama İşlemi [20]

Yapılan çalışmalar incelendiğinde bu bölümde anlatılan algoritmaların hem tek başına hem de birkaçının birleşimi/karışımı halinde uygulanabildiği görülmüştür.

Tavlama Benzetimi: Spada ve ark. [21] sabit sayıda okul servis aracı ile hizmet seviyesini en üst düzeye çıkarmak için benzetimli tavlama algoritmasını kullanmışlardır. Tavlama benzetimi [22], metallerin tavlama sıcaklığına kadar ısıtılıp sonra yavaşça soğutulması sürecine benzediğinden bu ismi almaktadır. Yöntem rastlantı arama mantığını kullanır, stokastiktir ve rastgele bir çözüm ile başlar. Sonrasında komşu çözümler oluşturulur ve amaç fonksiyonundaki değişimi hesaplayarak iyileşme olmayana kadar aramaya devam edilir. Yerel en iyi noktalardan bazen artışı neden olan komşu hareketleri kontrol ederek kurtulabilmektedir. Dana ve ark. [23] servis aracının bir öğrenciden diğerine hareketi esnasında yolun durumuna bağlı olarak zamanın belirsiz oluşunu dikkate alan tavlama benzetimine dayalı bir metot geliştirmişlerdir.

Tabu Arama Algoritması: İnsan hafızasının çalışmasından yola çıkılarak önerilmiş bir yöntemdir. İlk çözüm rastgele ya da bir algoritma kullanılarak seçilebilmektedir. Tabu listesi kullanılarak kötü sonuçla karşılaşılan alanlardaki komşu çözümlere bakılmamış olur; böylelikle, çözüme daha hızlı ulaşılabilir. Tabu listesi her aday çözümü

değerlendirdikten sonra kendini güncellemektedir ve bu listenin kullanılması tekrarın önüne geçmektedir. Literatürde hem OSARP çözümünde hem de birçok farklı alanda örnek çalışmalar [24] , [25] yer almaktadır. Shafahi ve ark. [26], OSARP çözümü için rota uygunluğunu göz önünde tutarak iki aşamalı sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. İlk aşamada, yerleştirme tabanlı sezgisel kullanarak başlangıç rota grupları oluşturmuşlardır ve bunu asgari maliyet eşleştirme problemlerini tekrar tekrar çözdükçe duraklar ekleyerek yapmışlardır. İkinci aşamada, oluşturulan ilk rotaları tavlama benzetimi ve tabu arama rehberliğinde geliştirmişlerdir. Rashidi ve ark. [27] ve Ngonyani ve ark. [28] orta ölçekli okullar için serviste öğrencinin geçirdiği süreyi azaltmayı hedefleyerek tabu arama algoritması ile C++ dilini kullanarak çözüm türetmişlerdir.

Karıncı Kolonisi Optimizasyonu: Bu yöntem ile ilgili olarak Yu ve ark. [29], Mazzeo ve Loiseau [30], Donati ve ark. [31], Gajpal ve Abad [32], Fuellerer ve ark. [33], Huo ve ark. [34] tarafından ARP'nin farklı türleri için yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Karıncaların besin kaynağına doğru hareketlerinden ortaya çıkan bu algorithmada karıncalar yiyeceğe ulaşmak için kısa yolu tercih etmektedir. Gidiş gelişlerinde yola bıraktıkları feromonları sonrasında takip ediyor oluşlarının bunu sağladığı bilinmektedir. Karıncaların hafızasız olması ve uzun yollarda feromon etkisinin azalması koloninin takip durumunu olumsuz etkilemektedir.

Genetik Algoritma: Holland [35] tarafından tanımlanmış ve üzerinde birçok çalışma yapılarak farklı kişiler tarafından geliştirilmiştir. Holland'ın amacı doğada meydana gelen adaptasyonları olduğu gibi anlamak ve doğal adaptasyon mekanizmalarının bilgisayar sistemlerine aktarılabilen yolları geliştirmektir. Bundan yola çıkılarak Darwin'in öne sürdüğü en iyi olanın hayatta kalması prensibi bu algoritmayı güzel bir şekilde ifade etmektedir. Sürece çözüm kümelerini belirten rastgele kromozomlar ile başlanmaktadır. Bunlar 0 ya da 1 değerini almaktadır. Her bir kromozom için uygunluk fonksiyonu hesaplanmaktadır ve bunun dışında algoritmanın karmaşık bir formülü bulunmamaktadır [36]. Değerlere göre en uygun olanlardan yeni nesiller oluşturabilmek için çiftler/ebeveynler seçilmektedir. Seleksiyon sonrası birebir aynı bireylerin oluşmasını önlemek için ebeveynler çaprazlanarak yeni yavrular oluşturulmaktadır ve bunlar ebeveynlerin yerine geçmektedir. Kang ve ark. [37], Minocha ve Tripathi [38], Ben ve

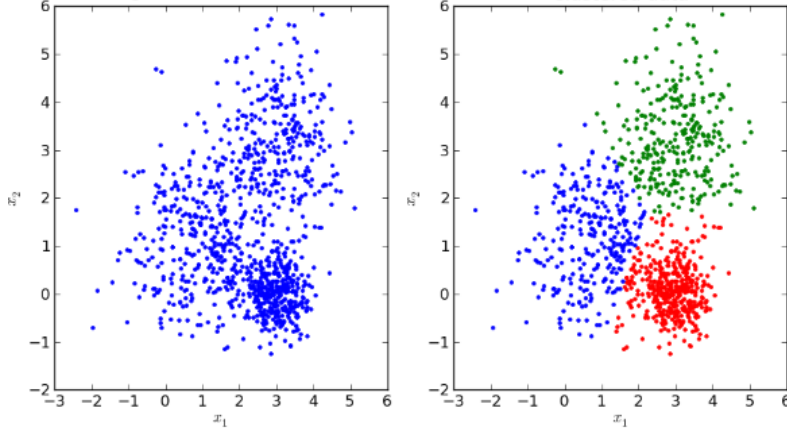
ark. [39] genetik algoritma üzerinden algoritmalar geliştirerek OSARP için çözüm bulmuşlardır.

İki Aşamalı Algoritmalar: Rotalama problemlerini çözmek için bir diğer yaklaşım da ayrıştırmaya dayanmaktadır ve bu genellikle kümeleme yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Tezdeki uygulamanın çözümünde tercih edilen bir yaklaşım olmuştur. Kümelemenin uygulandığı süreye bağlı olarak önce kümele sonra rotala ve önce rotala sonra kümele şeklinde sınıflandırılabilir. Shin ve Han [40] belirlenmemiş sayıda araçla yolculuk mesafelerini en aza indiren çözümler bulmak için önce kümele sonra rotala sezgiselini kullanmışlardır. Önerdikleri algoritma kümenin geometrik merkezini tam belirleyerek uygun küme oluşmasına yönelik üç aşamadan meydana gelmektedir. Elde ettikleri küme sonuçlarını rotalama sezgisel algoritmaları için ilk çözüm olarak kullanmışlardır ve örnek veri sonuçlarını süpürme algoritması ile kıyaslayıp daha iyi sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO): 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından [41] önerilmiş kuş sürülerinin davranışlarına dayanan bir hesaplama tekniğidir. Sürüde bulunan parçacıkların her birinin amaç fonksiyonu, önceki deneyimlerinden yola çıkarak kendini sürünün en iyi pozisyonuna konumlandırmasıdır. Her parçacık daha sonra kendi konumunu sürüdeki en iyi pozisyondaki üyeye göre şekillendirir. Burada parçacığın geldiği yeni konum genelde daha iyi olmaktadır ve bu konuma yaklaşma hızı rasgele meydana gelmektedir. Hedefe ulaşıldığında çözüm son bulmaktadır. Hem kümeleme hem de rotalama alanında pek çok örneğine rastlanmaktadır. MirHassani ve Abolghasemi [42] yaptıkları çalışmada AUARP çözümü için PSO kullanmışlardır. Marinakis ve ark. [43], PSO ve GRASP algoritmalarını komşuluk araması stratejisi ile harmanlayarak karma bir sezgisel önermişlerdir. Algoritmalarının, kısa hesaplama süresi içinde çok büyük ölçekli ARP'ler için literatürde var olan birçok yöntemden daha iyi sonuç verdiğini savunmuşlardır. Cura [44] ise PSO üzerinden geliştirdiği algoritma ile hem bilinen hem de bilinmeyen küme sayılarındaki kümeleme problemlerine çözüm seçeneği oluşturmuştur.

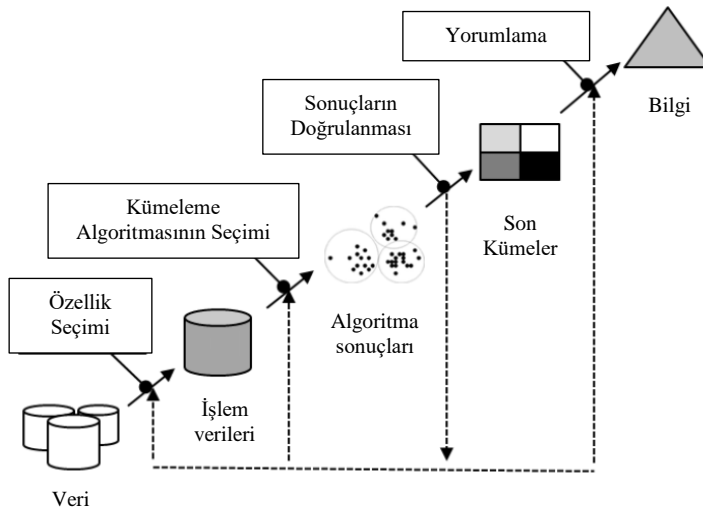
3. KÜMELEME YÖNTEMLERİ

Kümeleme temelde benzer veri noktalarını, aynı gruptaki noktaların diğer gruplardaki noktalardan birbirine daha çok benzeyeceği şekilde gruplayan bir teknik olarak tanımlanabilir. Aslında Şekil 3.1’de görüldüğü üzere benzer veri noktaları küme olarak adlandırılır.



Şekil 3.1. Orijinal Kümelenmemiş ve Kümelenmiş Veri

Kümeleme işlemi, kullanılan belirli kritere bağlı olarak bir verinin farklı gruplanmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, bir veri için kümeleme görevi üstlenilmeden önce ön işleme gerek duyulmaktadır. Fayyad ve ark. [45] kümeleme sürecini geliştirmek için temel adımları; özellik seçimi, kümeleme algoritmasının seçimi, sonuçların doğrulanması ve sonuçların yorumlanması olarak Şekil 3.2’deki gibi özetlemişlerdir.



Şekil 3.2. Kümeleme İşlemlerinin Adımları [45]

Bu tezde NP-zor türünde olan açık uçlu, kapasite ve zaman kısıtlı olan bir okul aracı rotalama problemine önce kümele sonra rotala prensibi ile çözüm aranmıştır. İki adımda yapılan çözümün ilk aşaması olan kümeleme için genel bilgilendirmeye ve önceki çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir. Kümeleme yöntemlerinin anlatılması kısmında Stanford Üniversitesi'nin açık kaynaklarından [46] yararlanılmıştır.

Kümeleme analizi elde dağınık olarak bulunan verileri benzerliklerine göre bir araya getirip gruplamaya çalışan ve bunu yaparken bazı uzaklık ölçüleri kullanan bir yöntemdir. Değişkenin türüne göre kullanılacak olan benzerlik ölçüsünün seçilmesi, doğrudan sonuca etki ettiğinden büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler doğrudan öğrenci adreslerine bağlı olarak oluşturulmuş uzaklık matrisleridir ve matrisler kümeleme için girdi olarak kullanılmışlardır.

Her biri p tane sürekli değişken içeren x_i ve x_j gözlem çifti arasındaki uzaklık $d_{ij}=d(x_i,x_j)$ şeklinde gösterilerek uzaklık ölçütleri aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

- Öklid Uzaklığı, en sık kullanılan uzaklık ölçüsüdür.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

- Kareli Öklid Uzaklığı, değişkenlere göre toplam uzaklığın karekökünün alınmadığı ölçüdür. Bu tez çalışmasında tercih edilen seçenek olmuştur.

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2$$

- Minkowski Uzaklığı, genel bir uzaklık ölçüsüdür. Hatta Öklid (q=2) ve Manhattan (q=1) ölçüleri bu uzaklığın özel bir durumu olarak ifade edilir [47].

$$d_{ij} = [\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^q]^{1/q}$$

- Manhattan Uzaklığı, birimler arasındaki mutlak uzaklıkların toplamını alarak hesaplama yapmaktadır.

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|$$

- Mahalanobis Uzaklığı, doğrudan birleştirme yapan standart bir yöntemdir. İki değişken arasında ilişki bulunuyorsa, kovaryansı dikkate aldığından bu uzaklık ölçüsü kullanılmalıdır. S, örneklem kovaryans matrisini ve T, transpozunu belirtmektedir.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_{ik} - x_{jk})^T S^{-1} (x_{ik} - x_{jk})}$$

- Pearson Korelasyon Katsayısı, gözlemler arasındaki uzaklığın katsayı yardımıyla hesaplandığı yöntemdir. \bar{x}_i , i. gözlem üzerinden ölçülen p değişken değerlerinin ortalaması olup $\bar{x}_i = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p x_{ik}$ biçiminde hesaplanır. Korelasyon katsayısı kullanılarak iki gözlem vektörü arasındaki uzaklık $d_{ij} = (1-r_{ij})$ şeklinde bulunur.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^p (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}}$$

Kümeleme yöntemleri, birimlerin optimal gruplara atanmasını sağlamak için değişkenlerin benzerliklerine bağlı olarak farklı yaklaşımlar kullanmaktadır. Bunu yaparken kümeler arasındaki farkların ve kümeler içi benzerliklerin maksimum olmasını hedeflemektedirler. En çok kullanılan kümeleme algoritmaları, hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri olarak iki gruba ayrılmıştır [48]. Bu tez çalışmasında da olduğu gibi hiyerarşik kümeleme yöntemleri daha çok tercih edilmektedir.

3.1. Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri

Oldukça geniş kullanım alanına sahip olan hiyerarşik kümeleme yöntemleri temelde basit bir algoritmayı çalıştırmaktadır. Kullandıkları algoritma sebebiyle aşamalı kümeleme yöntemi olarak da adlandırılmaktadırlar. Farklı seviyelerde ard arda eklemeli şekilde birimlerin bir araya getirilerek kümelerin oluşmasını sağlayan bu yöntemler, verilerin benzerliklerini ve küme uzaklık ölçülerini kullanmaktadır. Bir aşamada bir grup diğeri ile birleştirilince sonraki seviyelerde birbirinden ayrılmamaktadır.

Elde edilen sonuçlar doğrudan küme sayısını vermemektedir, küme sayısı 1 ile verideki birim sayısı arasında değişebilmektedir. Dendogram adı verilen ağaç grafikleri birimlerin bağlanma düzeylerini göstermektedir ve istenilen küme sayısına göre dendogramların [49] görsel olarak yorumlanması durumu bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında küme sayısının belirlenmesi, servis araçlarının kapasite kısıtına göre şekillenmiştir ancak literatürde bununla ilgili çeşitli yaklaşımlar kullanıldığı görülmüştür.

Hiyerarşik kümeleme yöntemleri, gruplayıcı ve ayırıcı olmak üzere iki şekilde incelenmektedir [50]; veriye bağlı olarak kümeleme işlemi yapılmadan önce kümeler arasındaki mesafenin hesaplanmasıyla ilgili olan hangi kriterin kullanılacağına göre de bu şekilde ifade edilmektedirler.

3.1.1. Gruplayıcı Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri

Bu yöntemde veride yer alan her birimin ayrı bir küme olduğu varsayımı ile gruplama işlemine başlanır. Dendogramlar birimlerin birbirleri ile ne seviyede ve hangi benzerlik aşamasında ortak özellikler taşıdığını göstermektedir. Birbiri ile en yüksek benzerlik oranına sahip olan en yakın iki kümenin birleştirilmesi ile ilk grup oluşturulur. Sonrasında her aşamada diğer birimler bu gruba dahil edilerek verideki her bir gözlemin atanıp tek bir küme oluşana kadar birleştirme işlemi uygulanır. Gruplayıcı hiyerarşik kümeleme yöntemlerinde, farklı yaklaşımlar kullanılarak gruplar birbirleri ile birleştirme yoluna gidilmektedir. Bunlardan sık karşılaşıp uygulananların açıklamaları ve ifade etmek için kullanılan gösterimler aşağıda belirtilmiştir.

d_{mj} = m. kümenin j. küme ile olan uzaklığı

d_{kj} = k. kümenin j. küme ile olan uzaklığı

d_{lj} = m. kümenin j. küme ile olan uzaklığı

N_k = k. kümenin eleman sayısı

N_l = l. kümenin eleman sayısı

N_m = m. kümenin eleman sayısı

3.1.1.1. Tek Bağlantı (En Yakın Komşu) Kümeleme Yöntemi

Tek bağlantı tekniğinde birbirine en yakın birim ve kümeler birleştirilir. Aradaki mesafeler uzaklık matrisleri kullanılarak belirlenir. Birleştirmeler yapılırken tek bir birim ya da birden fazla elemanlı bir küme seçiliyor olabilmektedir. Bir kümenin daha önceden oluşturulmuş hangi küme ile birleşeceği $d_{mj} = \min(d_{kj}, d_{lj})$ kullanılarak biçiminde belirlenir. Bu tez çalışmasında uygulanan sezgisel yöntemlerden sonuncusunda uç noktaların belirlenmesinde en yakın komşu tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemde ve tam bağlantı yönteminde kümelemenin verilerde bulunan aşırı, uç veya aykırı değerlerden etkilenerek sonuç verdiği bilinmektedir.

3.1.1.2. Tam Bağlantı Kümeleme Yöntemi

Tek bağlantı tekniğine çok benzemektedir. Tek farkı başlangıçta en uzak iki gözlemden başlanıp birleştirme yapılırken her kümedeki birimlerin arasındaki uzaklığın $d_{mj} = \max(d_{kj}, d_{lj})$ şeklinde en büyüğünün seçiliyor olmasıdır. Bu sebeple en uzak komşuluk tekniği olarak da bilinmektedir.

3.1.1.3. Ortalama Bağlantı Kümeleme Yöntemi

Bir küme ile diğer küme içinde yer alan birimlerin arasındaki ortalama uzaklıkların $d_{mj} = \text{ort}(d_{kj}, d_{lj})$ hesaplanmasına dayanan bir tekniktir. Aradaki uzaklığın kümedeki eleman sayısı kullanılarak ağırlıklandırıldığı çeşidi de bulunmaktadır. Bunun için uzaklık $d_{mj} = \frac{N_k d_{kj} + N_l d_{lj}}{N_m}$ şeklinde belirlenmektedir.

Sürece tek ve tam bağlantı tekniklerindeki gibi başlanır ancak en çok benzeyen küme çiftleri ortalamalardan faydalanarak elde edilir.

3.1.1.4. Merkezi Bağlantı Kümeleme Yöntemi

Bir kümeyi oluşturan birimlerin ortalamasını dikkate almaktadır. Kümenin tek elemandan oluştuğu durumlarda o birimin değeri merkez kabul edilerek hesaplama yoluna gidilmektedir. Bu teknikte iki grup arasındaki uzaklık kümelerin kendi merkezleri arasındaki uzaklık olarak alınarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$d_{mj} = \frac{N_k d_{kj} + N_l d_{lj}}{N_m} - \frac{N_k N_l d_{kl}}{N_m^2}$$

3.1.1.5. Medyan (Ortanca) Bağlantı Kümeleme Yöntemi

Bu teknik uzaklık matrislerinin ölçüm değerleri ile elde edilemediği, bunun yerine birimlerin özelliklerine göre sıralama puanlarının kullanılmak durumunda olduğu verilerin kümeleme işlemlerinin yapılmasında tercih edilmektedir. Ortalama bağlantı tekniğinin özel bir çeşidi olduğu düşünülüp uzaklıklar $d_{mj} = \frac{d_{kj} + d_{lj}}{2} - \frac{d_{kl}}{4}$ biçiminde hesaplanmaktadır.

3.1.1.6. Ward Bağlantı Kümeleme Yöntemi

Tez çalışmasında da kullanımına en çok yer verilmiş olan bu yöntemde, toplam sapma karelerinden yararlanılmaktadır [51]. Bu tekniğin merkezi ve medyan bağlantı yöntemlerine benzer şekilde kümenin ortasına denk gelen birimin, aynı kümenin içinde bulunan diğer birimlerden ortalama uzaklığını dikkate aldığı ağırlıklı bir çeşidi olduğu belirtilmektedir [47].

Ward's tekniği kümeler içindeki varyansın minimum olmasını sağlamaktadır. Servis araçlarının minimum yolu kat ederek rotalarının en kısa tutulmasının hedef olarak görülmesi bu yöntemin kullanımına teşvik etmiştir.

Hatalar kareler toplamı $HKT = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}$ formülü ile hesaplanmaktadır.

Gruplayıcı hiyerarşik kümeleme yöntemlerinde başlangıçta her bir birimin tek bir küme olduğu düşünülerek sürece başlandığından HKT sıfır olmaktadır. Kareli Öklid uzaklığı kullanılarak HKT’de sağlanan küçük artışlara göre atamalar yapılmakta ve önceden oluşmuş gruplar birleştirilmektedir.

3.1.2. Ayırıcı Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri

Gruplayıcı hiyerarşik kümeleme yöntemlerinin tam tersi mantığı kullanırlar. Veride bulunan tüm birimlerin bir kümede toplandığı kabulüyle sürece başlanır. Birbirine benzemeyen kümelerin ayrılması yapılır ve bu şekilde eleman sayısı daha az olan farklı sayıda kümeler elde edilir. Her birim tek bir kümeyi ifade edene kadar aşamalı olarak ayırma işlemi sürdürülür [49].

3.2. Hiyerarşik Olmayan Kümeleme Yöntemleri

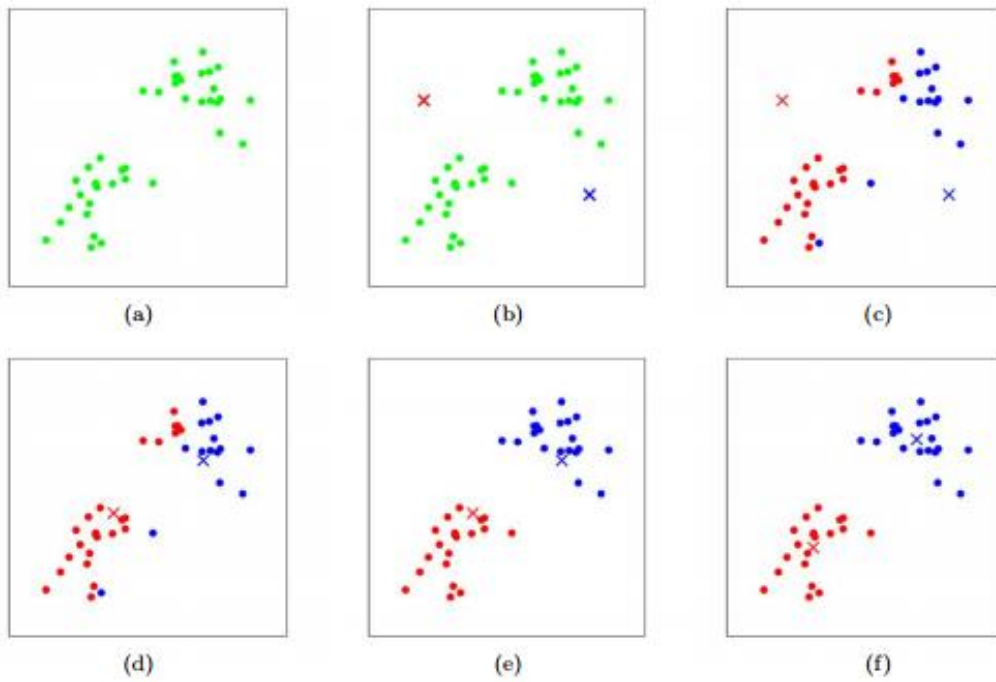
Hiyerarşik kümeleme yöntemlerine nazaran daha büyük veri grupları ve küme sayısının karar verici tarafından önceden belli olduğu durumlar için kullanımları tercih edilmektedir. Bu yöntemlerde başlanacak noktanın seçimi, var olan kümelerin ilk elemanlarından rastgele yapılabilmeyle birlikte kümelerin çekirdeklerinin içinden ilki şeklinde de olabilmektedir. Teknik yanı kuvvetli olmakla birlikte kullanımı yaygın olmayan en çok olabilirlik yönteminde, birimler daha önceden belirlenmiş kümelere olabilirlik değerlerinin en büyük olacağı şekilde dağıtılmaktadır. Tekniklerden sık karşılaşılan k-ortalama yönteminin uygulanma şekli ise aşağıda devam eden başlıkta anlatılmaktadır.

3.2.1. K-Ortalamalar Tekniği

Kaç tane küme elde edilmek istendiği en baştan bellidir. Bu sayının k tane olduğu varsayılarak rastgele biçimde k tane küme merkezi belirlenir. Seçilen küme merkezlerine en yakın noktalar istenilen uzaklık hesaplama biçimine göre bulunur ve bu noktaların uygun olan kümeye göre atamaları yapılır. Kümelere birimler dahil edildikçe yeni kümenin merkezi baştan hesaplanır ve birimlerin yeni küme merkezine göre uzaklıkları

bulunup atamaları tekrarlanır. Bu işleme kümelerdeki elemanlarda bir değişiklik gözlenmesi durumu olmayana kadar devam edilir.

Rastgele seçilen merkezlere göre sürece başlanması akıllara uygun atamaların yapılmıyor olacağını getirmektedir ancak iterasyonlar ve merkezin sürekli taşınması uygun kümelerin oluşmasını sağlamaktadır. Daha büyük veri setlerinde tercih ediliyor oluşu yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Şekil 3.2.1.1’de k-ortalamlar algoritmasının özet hali gösterilmektedir; noktalar veride yer alan birimleri ve çarpılar küme merkezlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.2.1.1. (a) orijinal kümelenmemiş veri, (b) rastgele ilk küme merkezleri, (c-f) yinelemeler ile her birimin en yakın küme merkezine atanışı ve buna göre değişip güncellenen küme merkezleri [46]

4. TASARRUF ALGORİTMASI İLE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMLERİNE GENEL BAKIŞ

Tezin bu bölümünde tasarruf algoritması kullanılarak çözümlerin arandığı çalışmalara değinilmiştir. ARP çözümünde sık kullanılan sezgisel yöntemlerden biri olan tasarruf algoritması ilk olarak 1964 yılında Clarke ve Wright [52] tarafından geliştirilmiştir ve önerilen yöntem o günden beri birçok çalışmaya önyak olmuştur. Algoritma, problemde bir deponun bulunduğu iki müşteriyi ayrı rotalar yerine aynı rota üzerinde birleştirilerek elde edilen mesafeyi kısaltma hedefi olan tasarrufların hesaplanmasına dayanmaktadır. Yapılan sonraki çalışmalar Clarke ve Wright (CW) formülü üzerinden yeni parametrelerin dahil edilmesi, değiştirilmesi veya var olanların çıkarılması, hesaplama süresinin hızlandırılmaya çalışılması ve rotaların birleştirilmesi süreçlerinin geliştirilmesi şeklinde iyileştirmelerin yapılması ile devam etmiştir. Rand [53] yapmış olduğu derleme çalışması ile tasarruf algoritmasına dair bahsedilen tüm gelişmelere ve kullanım alanlarına yer vererek literatüre katkıda bulunmuştur.

Birden fazla deponun olduğu durumlarda tasarruf algoritmasının uygulanması durumu zorlaşmaktadır. Konuyla ilgili öncelikle Tillman [54] kendisi bir çalışma yapmıştır. Sonraki yıllarda Tillman ve Cain [55] olağan tasarruf değerlerini hesaplamadan önce kullanılan uzaklık matrisinin formülünü; m adet deponun olduğu bir problemde her deponun k ve her müşterinin i gösterimiyle ifade edildiği $c_{ik}^{mod} = \min_m \{ c_{im} \} - (c_{ik} - \min_m \{ c_{im} \})$ şeklinde düzenlemişlerdir. Bu çalışmada her bir okul birbirinden bağımsız olarak değerlendirildiğinden çoklu depo güncellemeleri uygulanmamıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda literatürde açık uçlu araç rotalama problemlerini çözmek için CW formülünü değiştirme yoluna giden çok az çalışma olduğu fark edilmiştir. Bodin ve ark. [56], müşteri i ve j arasındaki tasarruf değerinin $s_{i,j} = c_{1,j} - c_{i,j}$ şeklinde hesaplanması yönünde değişiklik yapmışlardır. Firmanın servis araçlarının bir okuldan sonra başka okula hizmet vermek üzere yoluna devam etmesi dolayısıyla başladıkları noktaya dönme zorunluluğunun olmaması sebebiyle tez çalışmasının 6. bölümünde yapılan uygulamada bu mantık çerçevesinde hareket edilmiştir ve bu formül kullanılmıştır. Yıllar sonrasında Pichpibul ve Kawtummachai [57] tarafından CW çözümüne gelen basit, verimli ve rekabetçi yaklaşım da AUARP için oldukça katkı

sağlamıştır. Önerilen yeni CW algoritması, küresel optimum çözümleri bulmak için tasarlanmış yinelemeli bir geliştirme yaklaşımıdır ve algoritmanın paralel versiyonu değiştirilerek elde edilmiştir; Clarke-Wright formülünün değiştirilmesi, açık rota yapımı, iki aşamalı seçim ve rota sonrası iyileştirme olmak üzere 4 prosedürden oluşmaktadır.

Gaskell [58] özellikle kapasite kısıtının önemli olduğu durumlarda tasarruf metodunun çevresel rotalar üretme eğiliminin olabileceği üzerine endişe duymuş ve bu yönde çalışmalar yapmıştır. Müşteriler arasındaki mesafenin, λ olarak tanımlanan rota şekil parametresi ile ayarlanması gibi bir öneride bulunmuştur ve tasarruf değerlerinin hesaplama formülünü $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - \lambda c_{ij}$ şeklinde değiştirmiştir. λ parametresi 0'dan başlanarak arttırıldıkça, müşterilerin depoya olan uzaklıklarından ziyade müşteriler arasındaki mesafeye daha çok vurgu yapıp önem verilir. Bu durumda günlük bir uygulamada hangi λ değerinin kullanılması gerektiği sorusu ortaya çıkmaktadır. Bununla ilgili olarak Gaskell'in değiştirilmiş tasarruf algoritması üzerinden yaptığı uygulamada McDonald [59], herhangi bir sabitlenmiş λ ile optimumdan uzak sonuçların elde edilebileceğini ve diğer herhangi bir değerden anlamlı derecede daha iyi olan bir λ değerinin olmadığını göstermiştir. Aynı şekilde Paessens [60] asimetrik yol uzaklıklarının bulunduğu kapasite kısıtlı problemlerde maksimum tasarruf değerinin belirlenebilmesi için μ ağırlık parametresini formüle dahil edip $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - \lambda c_{ij} + \mu |c_{0i} - c_{j0}|$ şeklinde düzenlemiştir. Parametreleri belirtilen $0 < \lambda \leq 3$ ve $0 < \mu \leq 1$ aralıklarında kullanarak problemin sonuçlarına göre belirli bir yaklaşımı kullanmanın zor olduğunu göstermiştir ancak Paessens tarafından uygulanan bu değişiklik için herhangi bir motivasyon sağlanamamıştır. Literatürdeki bu araştırmalar doğrultusunda bu tezdeki açık uçlu kapasite kısıtlı asimetrik uzaklık matrislerine sahip çalışma için λ rota şekil parametresi yanlılık oluşturmaması adına hesaplamaları değiştirmeyecek şekilde 1 olarak alınmıştır ve μ ağırlık parametresi formüle dahil edilmemiştir.

Bu tez çalışmasında yapılan uygulamadaki gibi gerçek hayatta karayolu ağının simetrik olmadığı bilinmektedir ve bu durum özellikle mesafelerin tek yönlü sistemlerden etkilenebileceği kentsel alanlar için geçerli olmaktadır. Vigo [61] bu tarz problemler için araç kapasitesini de göz önünde bulundurarak CW algoritmasının asimetrik örneklere göre genişletilebileceğini savunmuştur. Uzaklık matrisi simetrik olmadığından tasarruf değerleri için oluşturulan matris de simetrik olmayacaktır. Buradan yola çıkıp i ve j 'nin

birbirine bağlanarak aynı rotada yer alabilmesi için müşteri i veya j 'nin gelişmiş bir rotanın son müşterisi olmasını ya da köşe i veya j 'nin diğerinin ilki olması gerektiğini söylemiştir. Bunun da simetrik durumlara kıyasla birleşme olasılıklarını yarıya indirdiğini belirtmiştir. Bu uygulamada da oluşturulan asimetric tasarruf matrisine göre hem öğrenci i 'den j 'ye gidiş hem de öğrenci j 'den i 'ye gidiş ayrı olarak değerlendirilmiştir ve tasarrufu büyük olana göre rotalama işlemi yapılmıştır. Paralel tasarruf algoritması ile süreç yürütüldüğünden aynı tasarruf değerleri için uzaklığın küçük olduğu birleşmeye odaklanılmıştır.

5. GELİŞTİRİLEN MODELLER, MODELLERİN UYGULANMASI VE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN ANALİZİ

Okul servis firmalarında toplam maliyetleri minimuma indirmek için çözümlenmesi gereken en önemli problem, farklı giriş ve çıkış saatleri olan birçok okulda okuyan öğrenciyi taşıyabilecek minimum servis sayısını belirlemektir. Böylelikle firma az sayıda servis ile kat ettiği toplam kilometreyi minimuma indirip karını en yüksek düzeye çıkarmayı hedefleyecektir. Bu doğrultuda firmanın etkili bir şekilde servis araçları için kümeleme ve rotalama yapması gerekmektedir. Firmalar tarafından minimum servis sayısı ve uygun rota ile en kısa sürede dağıtımın tamamlanması böylelikle gün içerisinde servis araçlarının birçok okulda hizmet vererek daha verimli kullanılması hedeflenmektedir. Bunun sonucunda firmaların maliyetleri en aza indirilirken kazançlarının da maksimum düzeye çıkartılması amaçlanmaktadır.

5.1. Problemin Tanımı ve Kısıtları

Bu tez çalışmasında, Ankara'da farklı bölgelerde yer alan birçok okula öğrenci taşımacılığı yaparak hizmet veren bir firmada okul servis araçları kümelemesi ve rotalaması yapılmıştır. Bu amaçla servis firmasından 2018-2019 eğitim öğretim döneminde hizmet verdikleri 19 adet okulun ve okullara farklı sayılarda dağılmış olan 1750 adet öğrencinin adres bilgileri gizlilik koşulları göz önünde bulundurularak talep edilmiştir. Toplanan adres bilgilerine ek olarak sadece öğrenci taşımacılığı yaptığı bilinen firmadan okul, öğrenci ve öğrenci ailelerine sağlamakla yükümlü oldukları hizmet koşulları ve şirket olarak belirledikleri kar politikasının çözüm aşamalarını etkileyen kısıtları öğrenilmeye özen gösterilmiştir. Edilen bilgiler ışığında problemin çözümünde aşağıda belirtilen varsayımların dikkate alınması gerekmektedir.

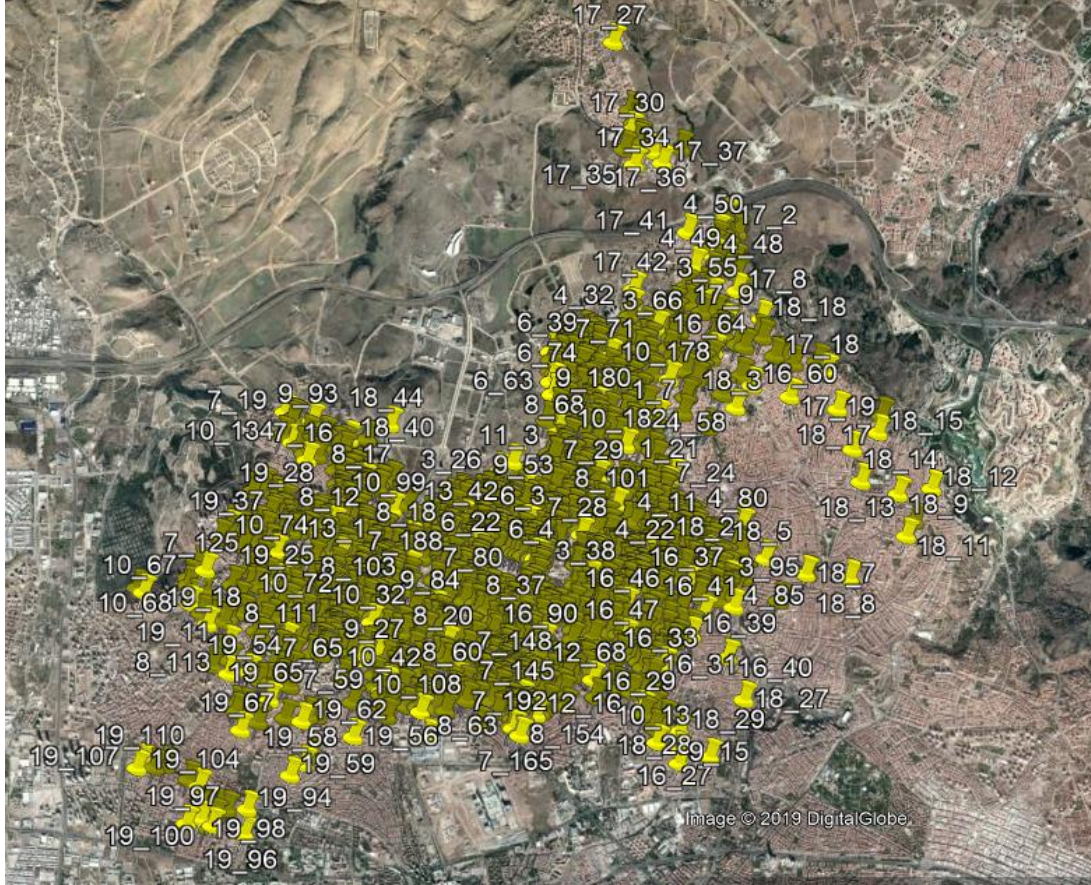
- Her öğrenci mutlaka evinin önünden alınmalıdır.
- Servise binen ilk öğrenci ile son öğrenci arasında 45 dakikadan fazla süre geçmemelidir.
- Öğrencileri okula girişte toplayan ve okuldan çıkışta dağıtan servis aracı aynı olmalıdır.

- Bir servis aracında iki süreç aynı anda yürütülmemelidir. Öğrenciler ya okula bırakılmak üzere evlerinden toplanıyor ya da okuldan evlere götürülmek üzere dağıtılıyor olmalıdır.
- İki farklı okulun öğrencisi aynı servis aracında bulunmamalıdır.
- Servis araçlarının kapasitesi sabit olup 22 öğrenci taşınabildiğinden rota üzerinde toplanıp dağıtılacak öğrenci sayısı kapasiteyi geçmemelidir.
- İlave bir servis aracını idame ettirmenin getirdiği maliyetin, mevcut servis araçlarındaki kat edilen toplam kilometrenin artışıyla getirdiği maliyete oranla çok fazla olmasından ötürü bir aracın kapasitesi dolmadan diğer araca zorunlu olmadıkça atama yapılmamalıdır.
- Bir rota, belirlenen öğrencinin evinden başlamalı ve mutlaka okulda son bulmalıdır.
- Öğrenci ailelerinin okula yakın mesafede oturan öğrencilerin servis aracında vakit geçirmesini istememesinden ötürü rota üzerinde servise en son binecek olan öğrenci okula en yakın mesafede oturan birbirine uzaklığı 400 metrelik fark içerisinde bulunanlardan ve her öğrenciye bir kez uğrayarak aynı noktadan tekrar geçmeyi önleyici şekilde seçilmelidir.
- Öğrenciler okul giriş saatlerinden 10 dakika önce okula bırakılmalıdır ve 15 dakikadan önce okula bırakılmayarak öğrencilerin beklemeleri önlenmelidir.
- Okul çıkış saatlerinden 5 dakika önce servis araçları hazır halde okulda beklemelidir.
- Bir servis aracına en az 7 adet öğrenci atanmalıdır. Daha az sayıda öğrencinin atanması durumu servis aracının ve aracı kullanan şoförün masrafları düşünüldüğünde karın kaybedilerek zarara dönüşmesine sebep olduğundan tercih edilmemelidir.

Belirtilen tüm kısıtlar göz önüne alındığında KKARP'nin firmaya özgü bir örneği ortaya konulmuş olup kullanılan girdi sayısı arttıkça NP-zor türünde olan bu problemin çözümünün karmaşık bir hal alacağı düşünülmüştür. Bu sebeple çalışmanın çözümünde iki aşamadan oluşan önce kümele sonra rotala prensibi tercih edilmiştir. İlk aşamada hangi öğrencinin kaç adet servis aracı ve bunlardan hangisi ile taşınacağını belirlemek sağlanmıştır.

5.2. Verinin Toplanıp Oluşturulması

Firmadan alınan bilgiler ışığında 1750 adet öğrencinin adresi Google Earth üzerinde okul bazında işaretlenerek Şekil 1’de yer alan harita görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 5.2.1. Farklı Okullarda Bulunan Öğrenci Adreslerinin Haritada Gösterilmesi

Google Haritalar’da öğrenci adresleri girilerek ondalık derece şeklinde koordinatların bilgisine ulaşılmıştır. Elde edilen koordinat bilgileri kullanılarak kümeleme yapılırken ihtiyaç duyulacak olan mesafe matrisleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar için RStudio programının “gmapsdistance” [62] fonksiyonunun kullanımı tercih edilmiştir. Bu fonksiyon iki adres arasındaki mesafeyi hesaplamak için Google Haritalar Mesafe Matrisi API’sini kullanıyor olduğundan öncelikle Google Haritalar Platformu’ndan API key alınmış ve etkinleştirilmiştir. Fonksiyonun çalışması için hem başlangıç hem de bitiş koordinatları (+) işareti ile ayrılmıştır, taşıma modu olarak sürüş seçeneği belirlenip mesafelerin metre cinsinden elde edilmesi sağlanmıştır. Şekil 5.2.2’de 85 adet öğrencinin taşındığı Okul 6’nın mesafe matrisinin hesaplanması için girilen RStudio verilerine yer verilmiştir.


```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Okul 6.R*
Source on Save Run Source
1 coordinates<-c("39.994004+32.840218","39.993882+32.835046","39.993008+32.834176","39.989211+32.835374",
2 "39.989539+32.834787","39.990474+32.835813","39.990889+32.834648","39.991201+32.830340",
3 "39.990600+32.829143","39.990681+32.829106","39.990666+32.821365","39.990127+32.828289",
4 "39.990662+32.826220","39.990648+32.826237","39.991249+32.830068","39.993531+32.827418",
5 "39.993419+32.827839","39.990466+32.835835","39.989495+32.836339","39.990462+32.834015",
6 "39.988142+32.827976","39.990122+32.827071","39.990762+32.825572","39.990898+32.826347",
7 "39.991653+32.831836","39.992822+32.827787","39.992972+32.827522","39.991673+32.822344",
8 "39.993868+32.828106","39.995587+32.828532","39.994057+32.831093","39.989665+32.826031",
9 "39.995413+32.825348","39.996111+32.825023","39.995669+32.826037","39.996358+32.824886",
10 "39.988827+32.827074","39.986203+32.825734","40.012008+32.837521","40.011073+32.837575",
11 "40.013412+32.839209","40.013346+32.839123","40.013151+32.839175","40.013138+32.839055",
12 "40.012266+32.839199","40.011583+32.838599","40.012173+32.839540","40.011834+32.839531",
13 "40.012266+32.840477","40.012726+32.841122","40.014263+32.841840","40.012696+32.840443",
14 "40.013580+32.842246","40.010746+32.841736","40.010324+32.841391","40.011600+32.838621",
15 "40.011520+32.840107","40.010088+32.838551","40.009867+32.837553","40.008734+32.839342",
16 "40.008776+32.839363","40.004657+32.840097","40.007333+32.837719","40.001681+32.838530",
17 "40.000731+32.839176","40.000277+32.840127","40.000310+32.840094","40.004264+32.839459",
18 "40.003561+32.839510","40.001152+32.838933","40.000425+32.837811","40.000466+32.837586",
19 "40.000409+32.837704","40.008689+32.837527","40.004657+32.840108","40.002591+32.839914",
20 "40.000854+32.837280","40.002511+32.839760","40.002585+32.839868","40.010607+32.841689",
21 "40.000212+32.841307","40.008151+32.841296","40.011228+32.842158","40.011621+32.838541",
22 "40.011736+32.838606")
23
24
25
26
27 #Distance matrix
28 result<-gmapsdistance2(origin = coordinates, destination = coordinates, mode = "driving", combinations = "all", key="AizaSyxImsIz--kCoZyc-hmg706-3Co6j61Nw")
29 write.table(result$Distance, "c:/Users/415/Desktop/Servis Rotalama ve Çizelgeleme/R Çalışmaları/Okullara Göre Uzaklık Matrisleri/Okul 6/Okul 6.txt")
30

```

Şekil 5.2.2. Okul 6'ya ait RStudio Verileri

Her okul için ayrı ayrı koordinat bilgileri girilerek kare matrisler şeklinde öğrenci adresleri arasındaki uzaklık bilgileri elde edilmiştir. Okul 1 gibi öğrenci sayısının az olduğu okullarda kısa sürede program çalışıp Şekil 5.2.3'de gösterilen 22x22'lik uzaklık matrisi sonucunu verirken Okul 10 gibi 216 adet öğrencinin taşındığı kapasitesi yüksek okullarda programın çalışma süresinin matris boyutunun büyümesi ve iterasyon sayısının artması ile uzadığı gözlenmiştir.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1		0																							
2	39.985697+32.840614	0	182	987	1803	1680	1154	3170	872	410	1944	890	1226	1699	1704	1297	1382	1959	2511	2016	1844	2068	1208		
3	39.985696+32.847942	182	0	819	1725	1502	1079	3091	598	514	1285	614	1147	1423	1428	1179	1303	1861	2323	1564	1492	2628	1297		
4	39.985358+32.851274	906	827	0	1399	1276	750	2786	816	1166	960	829	822	1499	1504	853	978	1536	1908	1612	1540	2065	863		
5	39.990233+32.859084	1775	1667	1380	0	120	887	1676	1017	2036	552	1030	689	853	857	799	534	591	1117	822	750	1274	1673		
6	39.989132+32.838824	1652	1574	1257	120	0	744	2089	994	1913	429	907	566	966	971	876	411	711	1231	935	863	1388	1549		
7	39.989067+32.835811	1146	1067	750	822	943	0	2122	150	1408	429	163	178	749	754	536	411	891	1160	890	818	1420	1270		
8	40.005027+32.852084	3133	3141	2737	2022	2143	2093	0	2242	3393	1841	2256	1915	1472	1468	1086	1861	1430	1220	1255	1326	796	3264		
9	39.988702+32.852978	874	588	816	972	1093	150	2272	0	1472	579	38	328	907	911	685	561	1041	1318	1048	976	1570	1336		
10	39.984701+32.843656	433	537	1157	2063	1840	1414	3430	1480	0	1624	1493	1486	2139	2143	1517	1642	2199	2372	2276	2204	2728	1447		
11	39.989324+32.856756	1537	1458	1141	507	700	429	1914	579	1797	0	592	251	614	619	107	58	683	1055	760	688	1212	1423		
12	39.988756+32.852599	890	614	829	986	1106	163	2385	38	1485	592	0	341	920	925	699	574	1054	1331	1061	989	1583	1349		
13	39.988690+32.855329	1218	1140	822	645	765	178	1944	328	1478	251	341	0	649	654	358	233	713	1086	790	718	1242	1258		
14	39.993702+32.854821	1887	1443	1471	904	1023	749	1487	907	2177	723	920	649	0	5	721	596	312	411	258	164	642	1907		
15	39.994348+32.854060	1972	1428	1478	908	1020	764	1452	911	2322	728	925	654	5	0	728	601	317	407	241	169	638	1912		
16	39.988583+32.855678	1576	1487	1180	614	676	536	2020	686	1836	107	699	358	721	725	0	125	700	1162	866	784	1310	1399		
17	39.989500+32.856154	1451	1373	1055	489	610	411	1896	561	1711	18	574	233	596	601	125	0	665	1037	742	670	1194	1582		
18	39.99382+32.856940	1908	1829	1512	591	711	887	1435	1017	2168	616	1030	689	312	317	761	636	0	377	281	210	734	2039		
19	39.989659+32.852973	2280	2201	1884	1169	1290	1239	1225	1389	2540	988	1462	1062	411	407	1323	1008	577	0	346	418	249	2411		
20	39.994436+32.854120	1984	1906	1588	874	994	944	1390	1094	2244	692	1107	766	236	241	837	713	281	348	0	72	558	2115		
21	39.99385+32.854886	1912	1834	1516	802	922	872	1932	1022	2172	620	1035	694	164	169	766	641	210	418	72	0	830	2043		
22	39.98872+32.854277	2589	2491	2175	1446	1567	1529	784	1679	2829	1277	1692	1351	709	705	1422	1298	867	249	691	763	0	2700		
23	39.978917+32.953248	1376	1287	865	1073	1548	1270	3275	1326	1590	1396	1349	1358	1906	1912	1434	3045	2437	2121	2050	2574	0			

Şekil 5.2.3. Okul 1'e ait 22x22'lik Mesafe Matrisi

Uzaklık matrislerinin elde edilmesinin ardından kümeleme işlemine başlanılmıştır. Okullarda yer alan farklı öğrenci sayılarından ve kısıtların sağlanma zorunluluğundan ötürü küme sayısının önceden belli olmayışı çözüm olarak hiyerarşik kümeleme yöntemlerine yönlendirmiştir. Servis araçlarının belli bir kapasitedeki öğrenciyi taşıması, gruplayıcı hiyerarşik yöntemde her adresin bir küme kabul edilip her bir adımda küme sayısının azaltılarak en yakın iki kümenin toplanıp birleştirilmesiyle özdeşleştirilmiştir.

Bu durumda servis aracının kapasitesi koşullar sağlanarak dolana kadar gruplamaya devam edilmiştir. Gruplayıcı hiyerarşik kümeleme yöntemleri bu problem için 3 farklı şekilde yorumlanıp uygulanarak çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Kümeleme işlemleri yapılırken SPSS paket programı tercih edilip program verisi olarak RStudio ile Google Haritalar'dan elde edilmiş olan mesafe matrisleri kullanılmıştır.

5.3. Geliştirilen Sezgisel Kümeleme Yöntemleri ve Uygulamaları

Yöntem 1'de bağımlı ve bağımsız değişkenler yerleştirilip küme sayıları için aralık girilerek (öğrenci sayısının servis kapasitesine bölümünden elde edilen sayıdan büyük en küçük tam sayının minimum ve öğrenci sayısının maksimum küme sayısını belirttiği varsayılarak) hiyerarşik kümeleme analizi yapılmıştır. Oluşturulan $n \times n$ boyutlu a. öğrenci ile b. öğrenci arasındaki uzaklık matrisi d_{ab} için Ward bağlantı kümeleme yöntemi ve kareli öklid uzaklığı kullanılarak küme içi varyansı minimum yapıp öğrencilerin en uygun servis kümelerine atanması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kayıp değişken kontrolü yapılarak dendograma göre muhtemel kümelerin yakınlık ilişkilerini gösteren seviye tablosu oluşturulmuştur. Bu verileri girdi olarak kullanan küme oluşturma algoritması için yazılan sözde koda Çizelge 5.3.1'de yer verilmiştir. q_i gösterimi i. okulda taşınan öğrenci sayısını, a_{ijk} gösterimi i. okulun j adet kümeyle bölünüp j'ye ait her bir k. kümeyle atanmış öğrenci sayısını ve v_i ise i. okulun küme sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 5.3.1. Yöntem 1 için Küme Oluşturma Algoritmasına ait Sözde Kod

Set $m_i = i$. okuldaki öğrencilerin taşınabileceği minimum servis sayısı and $s = \text{servis kapasitesi}$ and küme sayısı $z = 0$

For ($1 \leq i \leq 19$)

$m_i = \text{Math.ceil}(q_i/s)$ Bölüm sonucunun tam sayıya dönüştürülmesi

End for

For ($1 \leq i \leq 19$) Her okul için aynı işlemin yapılması

For ($m_i \leq j \leq q_i$) Kaç adet küme olacağını belirlenmesi

Set Koşul = True

For ($1 \leq k \leq j$) Her kümenin servis kapasitesinin altında oluşunun sağlanması

If ($a_{ijk} \leq s$ and Koşul = True)

Koşul = True

$v_i = j$

$z = z + 1$

Else Kapasite aşıldığında küme sayısının artırılması

$z = 0$

Koşul = False

Break

If ($z = j$) Koşul sağlandıktan sonraki en küçük kümenin kabul edilmesi

Break

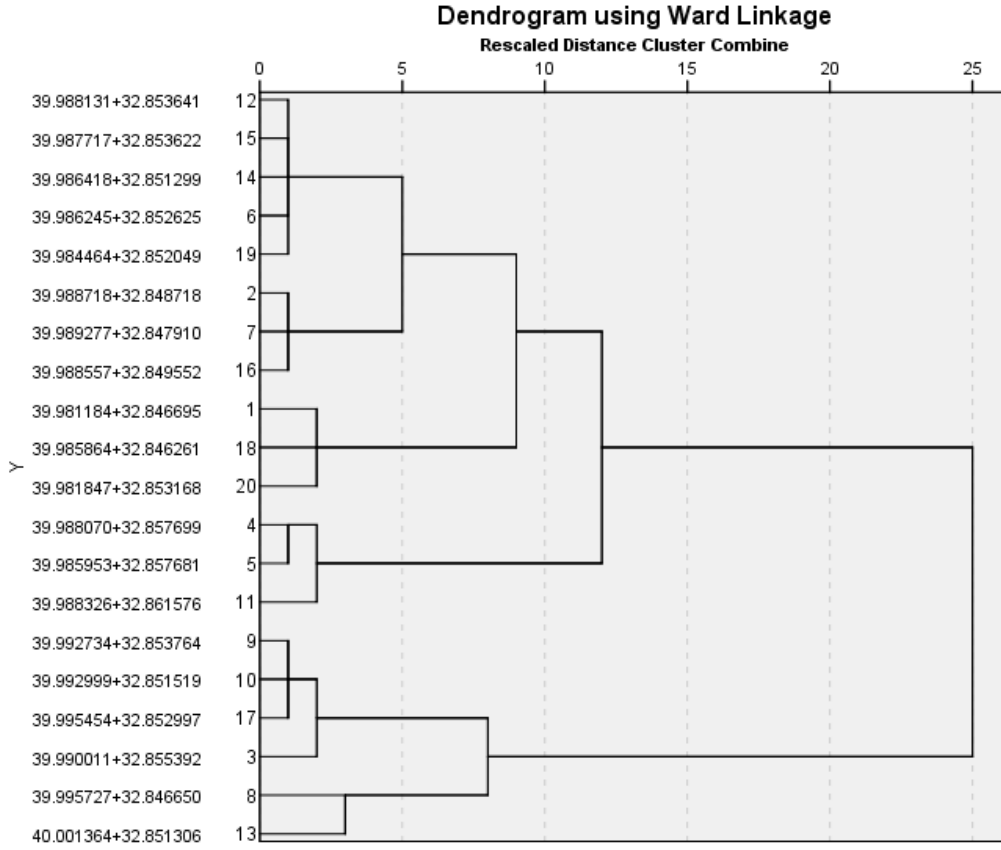
End For

End For

End For

Küme oluşturma algoritması ile minimum küme sayısından başlanarak her bir kümeye atanmış öğrenci sayısının servis kapasitesinin altında olması koşulunun ilk sağlandığı küme sayısı belirlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 5.3.1’de 20 adet öğrencinin bulunduğu Okul 2’ye ait dendograma yer verilmiştir. Öğrenci sayısı arttıkça hem dendogramın görüntüsü karmaşıklaşmakta hem de seviye tablolarını oluşturmak zorlaşmaktadır. Açıklayıcı olması adına çalışmada kullanılan en küçük dendogramlardan biri örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5.3.1. Okul 2'e ait Dendrogram (Ağaç Grafiği)

Her kümede yer alan öğrenci sayısının 22 ve altında olması koşulu sağlandıktan sonra dendrogram öncelik seviyeleri doğrultusunda uygun olan kümelerde birleştirme yapılarak küme kapasitesini aşmadan minimum küme sayısı elde edilmiştir. Küme düzenlemesini ifade eden bu işlemlerin yapıldığı algoritma Çizelge 5.3.2’de gösterilmiştir. Okullarda yer alan öğrenci sayısına ve harita üzerindeki adreslerin dağılımına bağlı olarak algoritmadaki seviye ilişkilerinin incelenmesi değişkenlik göstermiştir. Kümeler birleştirildikten sonra elde edilen yeni kümenin sonraki aşamalarda tekrar değerlendirilmesine özen gösterilmiştir.

Çizelge 5.3.2. Yöntem 1 için Küme Düzenleme Algoritması

Set $b_x = x$. kümede yer alan öğrenci sayısı and D_{xy} :dendogram öncelik seviyesi

For ($1 \leq i \leq 19$) Her okul için aynı işlemin yapılması

For ($x=1; x \leq v_i; x++$) Tüm kümeler için düzenleme olanağının değerlendirilmesi

If ($0 < b_x < s$) Servis kapasitesinin altında kalan kümelere bakılması

For ($y=x+1; y \leq v_i; y++$) Diğer küme ile karşılaştırılması

If ($0 < b_y < s$ and $D_{xy}=1$) Seviye 1 ilişkisinin incelenmesi

If ($b_x + b_y \leq s$)

$b_x = b_x + b_y$

$b_y = 0$

Break

End If

End For

For ($y=x+1; y \leq v_i; y++$)

If ($0 < b_y < s$ and $D_{xy}=2$) Seviye 2 ilişkisinin incelenmesi

If ($b_x + b_y \leq s$)

$b_x = b_x + b_y$

$b_y = 0$

Break

End If

End For

End If

End For

End For

Yöntem 1 için oluşturulan algoritmaların uygulama detayları Okul 4 için aşağıda anlatılmıştır.

86 adet öğrencinin taşınacağı Okul 4'ün algoritma verilerinin hazırlanması için Ward yöntemi ile SPSS programı sadece bir defa çalıştırılmıştır. Kümelerde yer alan sayıların kapasite içerisinde kalması için küme sayısının artırıldığı durumlar gözlenmiştir. Küme sayısı arttıkça program yeniden çalıştırılmadan var olan son kümeleme üzerinden devam edilerek yeni sınıflandırmalar yapılmıştır.

Çizelge 5.3.3'de Okul 4 için kümelere atanmış öğrenci sayıları gösterilmiştir. 86 adet öğrenci en az 4 adet servis aracı ile taşınabileceğinden değerlendirmeye ilk olarak 4 küme ile başlanmıştır. Servis kapasitesinden fazla sayıda öğrencinin atandığı 41 kişilik 2. küme sebebiyle bu dağılım uygun bulunmayıp 5 küme için dağılım durumuna bakılmıştır.

Çizelge 5.3.3. Okul 4 için Küme Dağılımları

Küme Sayısı	4 Küme	5 Küme	6 Küme	7 Küme	8 Küme	9 Küme
1	20	20	20	20	11	11
2	41	41	24	24	9	9
3	18	12	17	17	24	12
4	7	6	12	3	17	17
5		7	6	9	3	3
6			7	6	9	9
7				7	6	6
8					7	12
9						7

Küme sayısı 1 artarken Ward bağlantı tekniğinin toplam sapma karelerine bakmasından ötürü 2. sıradaki 41 kişilik küme yerine 3. sıradaki 18 adetlik kümenin dağıtılması sonucu ile karşılaşılmıştır ve istenilen durum gerçekleşmediğinden küme sayısı artırılmaya devam edilmiştir. Küme oluşturma algoritmasının çalıştırılması sonucunda her bir kümede yer alan öğrenci sayısının servislerin taşıyabileceği kapasite içerisinde olduğu duruma ilk olarak 9 küme oluşturulduğunda rastlanmıştır.

İlk aşamanın tamamlanmasının ardından dendogramın kolay yorumlanmasını sağlamak amacıyla oluşturulmuş olan kümelerin yakınlık ilişkilerini gösteren Çizelge 5.3.4'e göre küme düzenleme algoritması çalıştırılarak 9 küme içerisinde 22 adetlik öğrenci taşıma kapasitesini aşmadan birleştirilebilecek kümelerin olup olmadığı kontrol edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 1. ve 2. Seviyede yakınlık derecesi olan 7 kümede birleştirme olduğu gözlenmiştir. Birleştirmelerden 2 tanesi 2 kümenin gruplanması ve 1 tanesi 3 kümenin gruplanması ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.3.4. Okul 4'e ait Dendogram Benzerlik İlişkileri

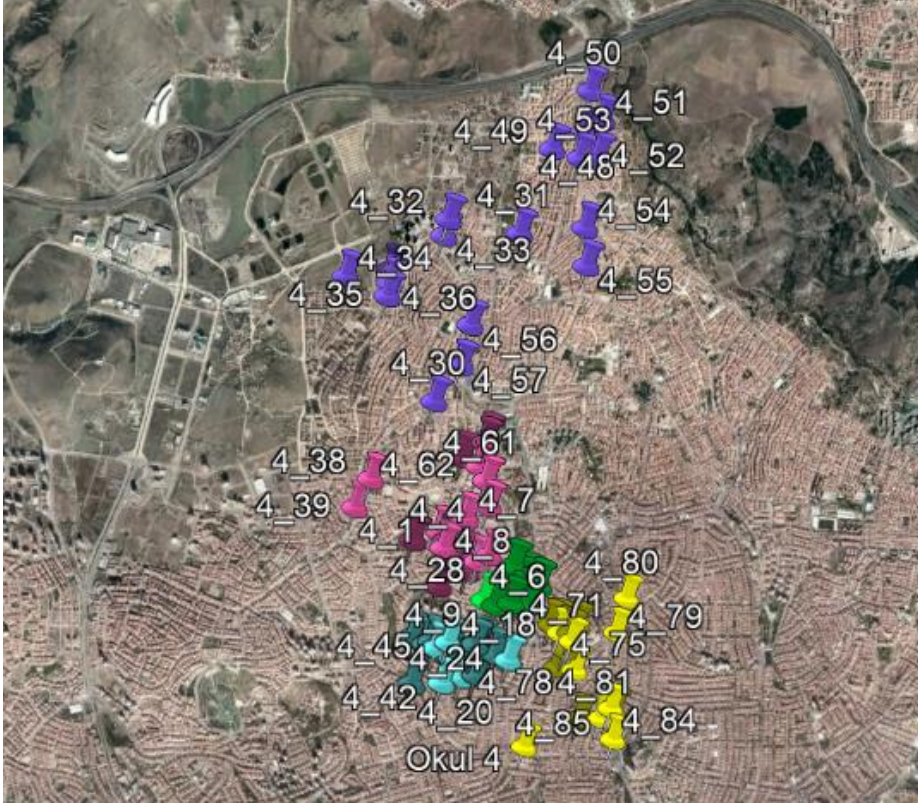
Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
4	4 & 8 & 3 & 9	4 & 8 & 3 & 9 & 1 & 2	4 & 8 & 3 & 9 & 1 & 2 & 7 & 5 & 6
8 & 3			
9			
1 & 2	1 & 2		
7	7 & 5 & 6	7 & 5 & 6	
5 & 6			

Seviye 1'den 4'e doğru gidildikçe benzerlik ilişkisi azaldığından mümkün olduğunca ilk seviyelerde uygun kümeler için birleştirme yapılmıştır. Birleştirme yapılma ihtimali bulunan yani kapasite kısıtına uyabilecek her küme için bu işlemin gerçekleştirilmesine dikkat edilmiştir. Her bir küme bir servis aracına denk gelip maliyetin küme içi öğrenci sayısı ve uzaklık artışına bağlı olarak fazla kilometre yapılmasına nazaran daha çok olmasından ötürü bu yol izlenmiştir. Böylelikle Okul 4'de bulunan 86 adet öğrencinin 5 kümeyle dağılımı sonucuna ulaşılmış olup ayrıntıları Çizelge 5.3.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3.5. Okul 4 için Kümeleme Sonuçları

Kümelere	9 Küme	Küme Sayıları	Öğrencilerin Kümelere Atanması
Küme 1	1 & 2	20	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 25, 26, 28, 29, 38, 39, 40, 58, 59, 60, 61, 62
Küme 2	3	12	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 63, 64, 65, 66, 67
Küme 3	4	17	16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47
Küme 4	5 & 6 & 7	18	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57
Küme 5	8 & 9	19	68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86

Kümelere harita üzerinde dağılımlarına Şekil 5.3.2'de yer verilmiştir.



Şekil 5.3.2. Okul 4'ün Küme Dağılımının Haritada Gösterimi

Yöntemlere göre kümelemenin bitmesinin ardından hangi yöntemin daha iyi sonuç verdiğinin karşılaştırılması yoluna gidilmiştir. Yöntem 2'nin başlangıç aşamaları Yöntem 1'e benzemekte olup hiyerarşik yöntem ile program aynı kümeleme metodu ve uzaklık seçeneği ile bir defa çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan minimum öğrencinin taşınabileceği küme sayısı temel alınarak servis kapasitesinin üzerinde dağılımı bulunan kümeler belirlenmiştir. Kapasiteyi aşan her bir küme için aynı mantıkla program tekrar tekrar çalıştırılarak kümeler kendi içinde gruplanmaya devam edilmiştir.

Yöntem 2'nin uygulanmasındaki amaç kapasitenin üzerinde gruplanan kümeleri kendi içerisinde yeniden kümeleyerek uygun dağılımı bulmaya çalışmaktır. İki yöntemdeki en büyük fark buradan ortaya çıkmakta olup bir okulun öğrencisini tek seferde elde edilen küme dağılımı üzerinden ve her kümeyi bağımsız düşünüp farklı dağılımlara göre ayırıp gruplayarak kıyaslama yoluna gidilmiştir. Küme düzenleme algoritması her iki yöntemde aynı şekilde uygulanmıştır. Bu sebeple dendograma bağlı seviye ilişkileri tablosu oluşturulup bu yöntemde de aynı şekilde kullanılmıştır.

Yöntem 2'ye ait küme oluşturma algoritmasına Çizelge 5.3.6'da yer verilmiştir. f_j gösterimi minimum öğrenciyi taşıyabilecek servis sayısına göre gruplandırılmış kümelerle atanmış öğrencileri ve c_j gösterimi kümelerde yer alan öğrenci sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 5.3.6 Yöntem 2 için Küme Oluşturma Algoritmasına ait Sözde Kod

Set $m_i = i$. okuldaki öğrencilerin taşınabileceği minimum servis sayısı and $s =$ servis kapasitesi

For ($1 \leq i \leq 19$)

$m_i = \text{Math.ceil}(q_i/s)$ Bölüm sonucunun tam sayıya dönüştürülmesi

End for

For ($1 \leq i \leq 19$) Her okul için aynı işlemin yapılması

For ($1 \leq j \leq m_i$) Gruplanan her kümenin kontrol edilmesi

If ($c_j > s$) Kümelerin kapasite kısıtına bakılması

Yeniden Kümele f_j

Break

End For

End For

Kapasiteyi aşan kümeler için algoritmanın “her okula aynı işlemin uygulanması” adımı geçilerek algoritma yeniden çalıştırılmıştır ve her kümenin sayısı 22 ve altında olana kadar bu süreç devam ettirilmiştir. Yöntem 2 için oluşturulan algoritmaların uygulama detayları Okul 7 için aşağıda anlatılmıştır.

211 adet öğrencinin taşındığı Okul 7 için ilk kümeleme işlemi minimum küme sayısı 10'a göre Ward bağlantı yöntemi ile yapılmıştır. Çizelge 5.3.7'nin ilk sütununda ilk dağılım sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 4 kümenin 22 olan servis kapasitesinin üzerinde olduğu görülmüştür ve algoritma sırayla her bir küme için çalıştırılmıştır. 3 küme için algoritmayı 1 defa çalıştırıp bir kere daha gruplamak yeterli olmuşken 1 küme de algoritmanın daha fazla çalıştırılması gerekmiştir. Algoritmaya göre yeniden kümeleme yapılırken yine servis kapasitesine bağlı minimum küme sayısı düşünülerek Ward bağlantı yöntemine göre işlem yapılmıştır.

Öğrenci taşımacılığında öğrencilerin serviste olabildiğince az vakit geçirmesini sağlamak esas olduğundan birbirine yakın oturan kişiler aynı servis aracına atanmaya çalışılmıştır. Bu sebeple öğrencilerin adres uzaklıklarına dayanan mesafe matrisine göre aralarındaki varyansın minimum olacağı şekilde kümelere yerleştirilmesine dayanan Ward kümeleme metodu her tekrar edilen gruplama işleminde tercih edilmiştir. Tabloda yer alan kümelere atanmış öğrenci sayılarına bakıldığında adreslerin dağılımının algoritmanın tekrarlanmasına etki ettiği sonucuna varılmıştır.

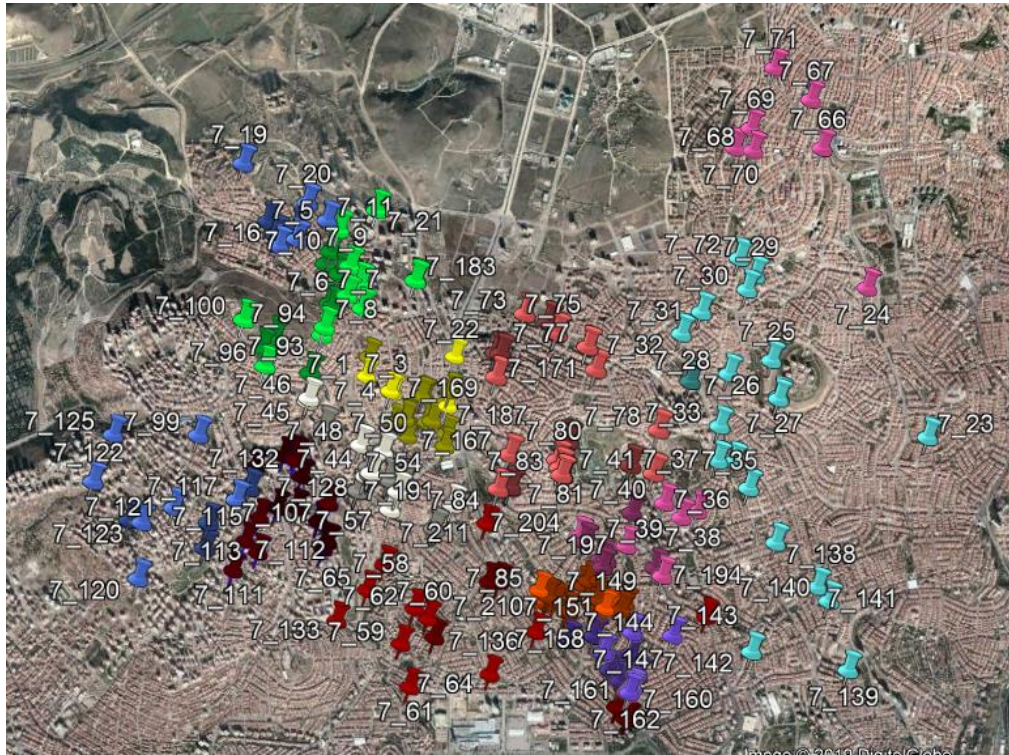
Çizelge 5.3.7. Okul 7 için Küme Dağılımları

Küme Sayısı	10 Küme	Küme 1	Küme 2	Küme 5	Küme 7	Küme 7-2
1-1	42	21	21	21	21	21
1-2		21	21	21	21	21
2-1	30	30	8	8	8	8
2-2			22	22	22	22
3	20	20	20	20	20	20
4	7	7	7	7	7	7
5-1	24	24	24	12	12	12
5-2				12	12	12
6	8	8	8	8	8	8
7-1	44	44	44	44	10	10
7-2-1					34	18
7-2-2						16
8	9	9	9	9	9	9
9	11	11	11	11	11	11
10	16	16	16	16	16	16

Yöntem 1’de olduğu gibi kümelerde yer alan öğrenci sayısının servis kapasitenin altında kalması koşulu sağlandığında iterasyonlar sonlanmıştır. Yöntem 1’de belirtilen küme düzenleme algoritması ile dendogram seviye ilişkileri dikkate alınarak öğrencilerin kümelere atanması tamamlanmıştır. Böylelikle Okul 7’de bulunan 211 adet öğrencinin 11 kümeye dağılımı sonucuna ulaşılmış olup atama ve küme ayrıntıları Çizelge 5.3.8’de gösterilmiştir. Kümelerin harita üzerinde dağılımlarına ise Şekil 5.3.3’de yer verilmiştir.

Çizelge 5.3.8. Okul 7 için Kümeleme Sonuçları

Küme	15 Küme	Küme Sayıları	Öğrencilerin Kümelere Atanması
Küme 1	1-1	21	1, 2, 3, 4, 22, 110, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190
Küme 2	2-1 & 9	19	5, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 99, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125
Küme 3	2-2	22	6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 21, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 182, 183
Küme 4	3	20	23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 72, 138, 139, 140, 141, 142
Küme 5	4 & 5-1	19	24, 38, 39, 40, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 204, 205
Küme 6	5-2 & 8	21	41, 42, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173
Küme 7	1-2	21	43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 108, 109, 127, 128, 137, 191
Küme 8	6 & 7-1	18	58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 133, 134, 135, 136, 143, 165, 166, 192, 193, 211
Küme 9	7-2-1	18	85, 86, 87, 88, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 201, 202, 203, 206, 207, 208, 209, 210
Küme 10	7-2-2	16	89, 144, 145, 146, 147, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164
Küme 11	10	16	102, 103, 104, 105, 106, 107, 111, 112, 113, 114, 115, 126, 129, 130, 131, 132



Şekil 5.3.3. Okul 7'nin Küme Dağılımının Haritada Gösterimi

Adreslerin dağılımında bazı okullarda uç değerlerin olmasından ötürü Yöntem 1 ve Yöntem 2’de uygulanan algoritmalarda bu grupların doğrudan ayrı bir küme varsayılarak sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu durumun hem küme oluşturma algoritmasında öğrencilerin dağılımına ve küme sayısına hem de küme düzenleme algoritmasında birleştirmelere etki ettiği ortaya konulmuştur. Bu sebeple Yöntem 3’de diğer iki yöntemden daha farklı bir yola gidilip uç noktaların kümeleme yöntemlerindeki etkisinin ölçülüp değerlendirilebilmesi adına bu uygulamanın yapılmasına karar verilmiştir.

Hiyerarşik kümeleme analizinin uç değerlere karşı duyarlı olduğu bilindiğinden Yöntem 3’de öncelikle tek bağlantı kümeleme yöntemi kullanılarak aykırı değerler belirlenmiştir. En yakın komşu algoritması olarak bilinen bu kümeleme yönteminde kümelerin tek eleman sayısından oluşabilmesi ve birbirine en yakın gözlemleri diğer kümeler ile uzaklığa bağlı olarak birleştirmesi uç değerleri bulmak için tercih edilmesini sağlamıştır. Öğrencilerin taşınabileceği minimum servis sayısına bağlı olarak en yakın komşu algoritması çalıştırılıp tüm gözlemler kümelere dağıtılmıştır. Gözlem sonucunda uç değerlerin kümeleme işleminden sonra birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi uygun görülüp bu değerler çıkarılarak veri seti yeniden düzenlenmiştir. Yeni veriler ile Yöntem 2’nin küme oluşturma algoritması aynen uygulanıp kümelere atanmış öğrenci sayılarının servis kapasitesinin altında olduğu durum elde edildiğinde diğer aşamaya geçilmiştir. Tüm yöntemlerde uygulanan küme düzenleme algoritması Yöntem 3 için de çalıştırılıp dendograma bağlı oluşturulan seviye matrislerine göre gerekli birleştirmeler yapılmıştır.

Birleştirmeler ile kümelerin yapısı ve sayısı ortaya çıktıktan sonra en başta bulunmuş olan uç noktaların atandığı kümeler tek tek değerlendirmeye alınmıştır. Küme içerisinde yer alan öğrencilerin adresine en yakın uzaklıkta bulunan öğrencinin gruplanmış olduğu küme sayısına bakılıp kapasitenin altında kalıyorsa atama yapılmıştır. Kapasite üzerindeyse en yakın olan ikinci öğrencinin küme sayısına bakılarak aykırı olan tüm kümelerin ataması yapılana kadar işlemlere devam edilmiştir.

Yöntem 3’de hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden olan tek bağlantı ve Ward kümeleme yöntemleri kareli Öklid uzaklığı ile bir arada kullanılarak sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Okul 10 için bu yöntemin uygulama detaylarından aşağıda bahsedilmiştir.

Servis araçları rotalaması ve çizelgelemesi yapılan servis firmasının 216 adet öğrenci ile elindeki en fazla taşımacılık yaptığı Okul 10 için 10 küme varsayımıyla en yakın komşu algoritması çalıştırılmıştır ve Çizelge 5.3.9’da gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.3.9. Okul 10 için Aykırı Değerleri Belirleme Kümeleri

Sözde Küme Sayıları	10 Küme	Aykırı Adresteki Öğrenciler	Atandığı Küme
1'	1	1	1
2'	202	-	-
3'	1	13	3
4'	4	47, 48, 49, 50	1
5'	1	67	9
6'	1	68	9
7'	2	132, 133	9
8'	1	134	9
9'	1	178	1
10'	2	197, 209	4-2

202 adet sayı ile oluşturulan kümenin diğerlerine oranla grup içi benzerliğinin daha fazla olduğu ve kalan 9 kümenin birbirinden bağımsız aykırı kümeleri ifade ettiği görülmüştür. 202 adet öğrenci için Ward kümeleme yöntemi ile yine minimum servis sayısından yola çıkılarak 10 kümelik gruplandırma yapılmıştır. Kapasitenin üzerindeki her bir küme kendi içerisinde yeniden Yöntem 2’ye göre ayrılmıştır ve 15 adet küme ile öğrenci sayılarının kapasite dahilinde olduğu sonuca ulaşılmıştır. Küme düzenleme algoritması ile 2 küme diğer iki kümeyle birleştirilebilmiştir ve aykırı kümelerin dağıtılması işlemine başlanmıştır. Bu işlem yapılırken kümedeki öğrenci sayısının birden fazla olduğu durumlarda grubun elemanlarının ayrıştırılmamasına özen gösterilmiştir. Aykırı kümelerde yer alan öğrencilerin her birine en yakın uzaklığa sahip farklı kümede bulunan öğrencinin atandığı durumlar kontrol edilmiştir. Küme içerisindeki elemanların yakın olduğu öğrencilerin değişkenlik gösterdiği durumlarda sayıya bağlı olarak en yakın küme seçilmiştir, kapasitenin aşılmasında ise diğer yakın küme tercih edilmiştir. Hiçbir koşulun sağlanamadığı durumda ayrıştırarak dağıtma yoluna gidilmiştir. Kalan 9 kümenin atanmasının tamamlanmasının ardından Okul 10’da bulunan 216 adet öğrencinin 13 kümeye dağıldığı bir sonuç elde edilmiştir ve ayrıntıları Çizelge 5.3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.3.10. Okul 10 için Kümeleme Sonuçları

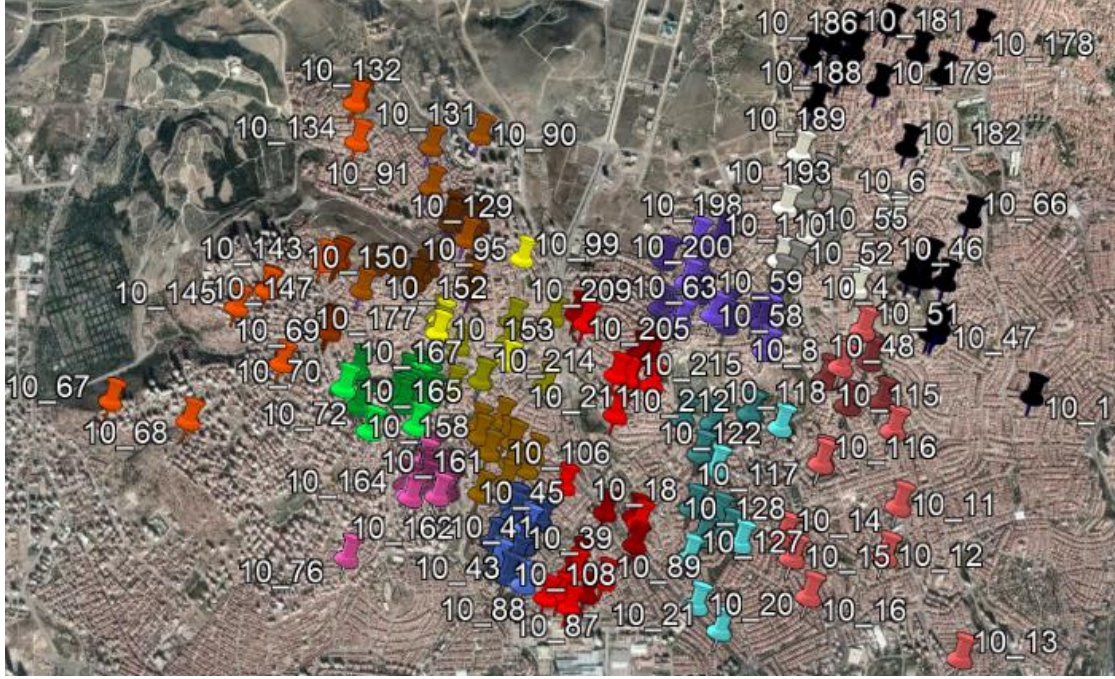
Küme	15 Küme	Küme Sayıları	Öğrencilerin Kümelere Atanması
Küme 1	1	22	1, 2, 3, 4, 5, 46, 47, 48, 49,50, 66, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188
Küme 2	2	15	6, 7, 52, 53, 54, 55, 109, 110, 111, 112, 189, 190, 191, 192, 193
Küme 3	3	15	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 51, 113, 114, 115, 116, 117
Küme 4	4-1	16	17, 20, 21, 64, 65, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128
Küme 5	5-1 & 4-2	22	18, 19, 39, 85, 86, 87, 88, 89, 106, 107, 108, 197, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216
Küme 6	6-1	16	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 76, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164
Küme 7	7-1	11	30, 31, 32, 33, 80, 81, 82, 83, 84, 104, 105
Küme 8	5-2	12	34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 77
Küme 9	8	20	56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 194, 195, 196, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206
Küme 10	9	16	67, 68, 69, 73, 74, 75, 132, 133, 134, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 166
Küme 11	6-2	15	70, 71, 72, 154, 155, 156, 157, 165, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173
Küme 12	7-2 & 10-2	15	78, 79, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 151, 152, 153, 174, 175, 176, 177
Küme 13	10-1	21	90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 129, 130, 131, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 150

Yöntemlere ait öne çıkan özellikler Çizelge 5.3.11’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.3.11. Yöntemlerin Kıyaslanması

Yöntemler	Kullanılan Metot	Gruplandırma	Uç Değer Kontrolü
1	Ward	Tek Kümeleme	Yok
2	Ward	Çoklu Kümeleme	Yok
3	Tek Bağlantı, Ward	Çoklu Kümeleme	Var

Okul 10’a ait kümelerin harita üzerinde dağılımlarına Şekil 5.3.4’de yer verilmiştir.



Şekil 5.3.4. Okul 10'un Küme Dağılımının Haritada Gösterimi

5.4. Kümeleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3 farklı şekilde kümelemenin yapılmasının ardından ilk aşama tamamlanmış olup rotalama kısmına geçilecektir ancak bu durumda hangi yöntem ile devam edileceğine karar verilmesi gerekmektedir. Kümeleme işlemleri yapılırken kapasite kısıtı göz önünde bulundurulduğundan burada amaç uygun küme sayısını belirlemekten ziyade kümenin ana tanımından yola çıkarak kümeler içerisindeki yoğunluğa ve kümeler arasındaki ayrıma bakarak değerlendirme yapmak olacaktır.

Kümelerin uygun olduğu varsayımıyla daha iyi olan yöntemi belirlemek için ilk olarak her bir kümenin içerisinde yer alan birbirine en uzak mesafede bulunan iki öğrenci adresi arasındaki uzaklık mesafeler matrisi üzerinden elde edilmiştir. Okul bazında küme içinde elde edilen en uzak noktaların ortalamaları alınarak kıyaslama yapılmıştır. Daha küçük çıkan sonuç başarılı kümelemeyi ifade etmektedir.

Çizelge 5.4.1. Küme İçi En Uzak Mesafelerin Ortalaması

Okul Numaraları	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3	Sıralama	Öncelikler
Okul 1	3430,00	3430,00	3430,00	1=2=3	1-2-3
Okul 2	3119,00	3119,00	3119,00	1=2=3	1-2-3
Okul 3	2198,67	2134,67	2151,83	2<3<1	2 3 1
Okul 4	1720,80	1720,80	1720,80	1=2=3	1-2-3
Okul 5	6362,00	6362,00	6362,00	1=2=3	1-2-3
Okul 6	1525,40	1479,00	1457,20	3<2<1	3 2 1
Okul 7	2660,42	2739,55	2627,64	3<1<2	3 2 1
Okul 8	2714,44	2378,64	3200,78	2<1<3	1 3 2
Okul 9	2817,36	2794,09	2809,36	2<3<1	2 3 1
Okul 10	2359,25	2396,85	2233,69	3<1<2	1 3 2
Okul 11	2396,00	2355,00	2355,00	2=3<1	2-3 1
Okul 12	2792,00	2792,00	2893,75	1=2<3	1-2 3
Okul 13	2921,00	3326,25	2805,00	3<1<2	3 1 2
Okul 14	2848,67	2791,33	2791,33	2=3<1	2-3 1
Okul 15	4673,00	4673,00	4673,00	1=2=3	1-2-3
Okul 16	3015,00	2937,29	2749,43	3<2<1	3 2 1
Okul 17	3692,00	3144,00	3144,00	2=3<1	2-3 1
Okul 18	4903,67	5835,33	4903,67	1=3<2	1-3 2
Okul 19	2456,00	2467,67	2486,00	1<2<3	1 2 3

Uzaklıklar adreslerin dağılımına bağlı olup küme ve kümenin eleman sayısından bağımsızdırlar. Bu sebeple küme özelliklerinin hesaplama için bir ağırlık parametresi olarak kullanımı tercih edilmemiştir.

Çizelge 5.4.1’de verilen sonuçlara bakıldığında sıralama ve önceliğin Okul 7, 8 ve 10 için tutarlı olmadığı görülmektedir. Daha önce belirtildiği üzere küme sayısının fazla oluşu maliyet açısından büyük yük getirdiğinden az sayıda küme sonucunu veren yöntemin doğrudan daha iyi olduğu söylenebilmektedir. Okul 7’de Yöntem 1’in küme sayısının diğerlerinden 1 fazla oluşu, Okul 8’de Yöntem 2’nin küme sayısının diğerlerinden 2 fazla oluşu ve Okul 10’da Yöntem 1’in küme sayısının diğerlerinden 1 az oluşu sonuçları etkilemektedir.

Nihayetinde Yöntem 3’ün en iyi sonucu verdiği ve sonrasında ise Yöntem 1 ve 2’nin birbirine daha yakın ancak Yöntem 2’nin biraz daha önde olduğu bir tablo görülmektedir. İkinci performans kriteri olarak kümeler arasındaki birbirine en yakın olan öğrencilerin

uzaklıklarının okul bazında ortalaması hesaplanmıştır. Bu mesafe ne kadar büyük olursa o kadar iyi kümeleme yapıldığı kanaatine varılmaktadır. Kümeler arasındaki duruma bakıldığından mevcudu servis kapasitesinin altında olan 4 adet okul değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Tablo 5.4.2’de elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Çizelge 5.4.2. Kümeler Arası En Yakın Mesafelerin Ortalaması

Okul Numaraları	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3	Sıralama	Öncelikler		
Okul 3	1344,40	1320,67	1530,60	2<1<3	3	1	2
Okul 4	999,80	999,80	999,80	1=2=3	1-2-3		
Okul 6	1120,70	1177,40	1282,40	1<2<3	3	2	1
Okul 7	1518,32	1447,58	1414,11	3<2<1	2	3	1
Okul 8	1573,19	1570,96	1186,97	3<2<1	1	3	2
Okul 9	1651,91	1662,29	1691,24	1<2<3	3	1	2
Okul 10	2043,17	1978,54	2013,96	2<3<1	1	3	2
Okul 11	346,67	353,00	353,00	1<2=3	2-3		1
Okul 12	918,50	918,50	884,50	3<1=2	1-2		3
Okul 13	800,67	817,00	961,67	1<2<3	3	2	1
Okul 14	311,33	394,00	394,00	1<2=3	2-3		1
Okul 16	1708,86	1651,29	1860,24	2<1<3	3	1	2
Okul 17	1560,33	1518,33	1518,33	2=3<1	1	2-3	
Okul 18	2743,33	2507,00	2743,33	2<1=3	1-3		2
Okul 19	1233,87	1239,27	1316,07	1<2<3	3	2	1

Küme içi uzaklıklar tablosunda açıklandığı üzere küme sayısının farklı olduğu durumlar kümeler arası yakınlıklara bakılırken de sonuçlara doğrudan etki etmektedir. Bu değerlendirme sonucunda Yöntem 3’ün açık ara en iyi seçenek olduğu bir kez daha görülmüştür ancak Yöntem 1 ve 2 için durumun tam tersine döndüğü fark edilmiştir.

İki ayrı şekilde kümeleme performansına bakıldığında Yöntem 3 ile rotalama işlemine devam edilmesi mantıklı bulunmaktadır. Yöntem 1 ve 2’de sonuçların yakın oranlarla bile olsa farklı oluşu daha kesin bulgular aramaya ve ortaya çıkarmaya yönlendirmektedir. Tüm yöntemler için ayrı ayrı rotalama sonucunda kat edilen mesafeyi ölçmek, bunu sağlayabilecek en doğru seçenek olarak görülmüştür ve tezin devamı böyle şekillendirilmiştir.

5.5. Rotalama Probleminin Modeli ve Çözümü

Okul servis araçlarını rotalama, her yıl okulların başladığı ilk hafta birçok taşımacılık firmasının çözüm aradığı ve bunu en kısa sürede en iyi şekilde optimize etmeye çalıştığı büyük bir problemdir. Problemin hizmet sektörü ile ilgili olması, belirlenen rotaların sonradan değiştirilmesinin öğrenci ve aileleri açısından sorunlara sebep olması firmayı bu problemi en kolay ve en hızlı şekilde çözüm üretmeye yöneltmektedir.

Okul servis araçlarını rotalama problemi, ARP'nin bir alt türü olup birçok kısıtı vardır ve bu kısıtlara göre çeşitli şekillerde adlandırılmıştır. Günlük hayatta çokça örneğine rastlanan bu problemi ortaya koymak çok kolay iken uygulamada çözümünü bulmak problemin NP-zor olup polinomsal zaman gerektirmesinden ötürü mümkün olmamaktadır. Literatürde problemin çözümüne yönelik birçok çalışma sonucunda farklı modeller ve algoritmalar ortaya konulduğu görülmüştür. Tüm bu belirtilen sebepler sonucunda daha kısa sürede iyi bir çözüm elde edilebilmesi amacıyla çalışmanın başlangıcında önce kümele sonra rotala prensibi ile yola çıkılıp süpürme (Sweep) algoritması mantığına benzer bir uygulama yapılmıştır.

Süpürme algoritmasının ilk aşaması olan kümeleme yöntemi tamamen farklı şekilde yorumlanarak yeni geliştirilmiş olan 3 farklı algoritma ile okullara göre öğrencilerin farklı sayılarda kümelere atanması yapılmıştır ve bunlar yukarıda örnekler ile açıklanmıştır. 3 yönteme göre 19 adet okulun kümelere ayrılmasının ardından öğrenci taşımacılığı yapan firmanın amaçları doğrultusunda hem hangi yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği hem de öğrenci güzergahlarının belirlenebilmesi için rotalama işlem adımına geçilmiştir. Rotalama işlemi problemi çözmenin yanı sıra yöntemlerin kıyaslanıp değerlendirilebilmesi için performans ölçüm aracı olarak kullanılmıştır.

Kümeleme işlemlerinin tamamlanması problemi daha basit hale getirmiştir ve kısıtların büyük ölçüde azalmasını sağlamıştır. Buna rağmen rotalama problemi başlı başına ayrı bir problemi ifade edip kesin çözüm elde edilmesi mümkün olmayan araç rotalama problemi gibi sezgisel metotlarla sonuç aramaktadır.

Araç rotalama problemi genel olarak bakıldığında gezgin satıcı probleminin daha fazla araç ve farklı depoların bulunduğu duruma göre kısıtların eklenerek genişletilmiş türü olarak yorumlanmaktadır. Süpürme algoritmasının ikinci aşaması olan rotalama işleminin yapılabilmesi için her küme gezgin satıcı problemi olarak ele alınarak çözümler bulunmuştur.

Kümeleme işlemleri servis kapasiteleri dikkate alınarak yapıldığından modele bununla ilgili bir kısıt eklenmemiştir. Her okulda farklı sayıda öğrenci bulunup küme sayısı ve kümelere atanan öğrenci sayıları değişkenlik gösterdiğinden N seti tanımlamasına gidilmiştir. Gezgin satıcı problemi için oluşturulmuş matematiksel modele ve parametrelerine aşağıda yer verilmiştir.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer servis aracı } i \text{ öğrenciden } j \text{ öğrenciye gidiyorsa } \forall (i, j) \in N \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases}$$

N: Belirlenen kümedeki maksimum öğrenci sayısı ($0 < N \leq 22$)

d_{ij} : i öğrencisinin j öğrencisine uzaklığı

M: Büyük sayı

s: Servise en son binecek öğrenci indisi

t_{ij} : İlk öğrenciden başlayarak toplamda i. öğrenciden j. öğrenciye gitme mesafesi

β : uzaklık ve zaman dönüşüm parametresi

$$\text{Minimum} \quad \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Öyle ki} \quad \sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$t_{ij} \leq M \cdot x_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N t_{is} \cdot \beta \leq 45 \quad (5)$$

$$t_{ij} = \left(\sum_{k=1}^N t_{ki} + d_{ij} \right) \cdot x_{ij} \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \text{ ve } t_{ij} > 0 \quad \forall i, j \in N \quad (7)$$

Modelin amaç fonksiyonu (1) servis araçlarının katedeceği toplam mesafeyi en küçüklemeyi göstermektedir. (2) ve (3) numaralı kısıtlar, atama kısıtları olup her öğrencinin sadece bir defa alınıp bırakılmasını sağlamaktadır. Bir öğrenciden çıkıp diğer öğrenciye gidildiği durumda belli bir yol alınması gerekliliği (4) numaralı kısıt ile elde

edilmektedir. (5) numaralı kısıt, ilk öğrenci alındıktan sonra son öğrenci servise binene kadar geçen sürenin 45 dakikayı aşmamasına ilişkin kısıttır. (6) numaralı kısıt ile uygun öğrencinin rotaya eklenerek toplam mesafenin hesaplanmasıyla maksimum gidilebilecek mesafe kontrol edilmektedir. (7) numaralı kısıt x_{ij} karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini ve t_{ij} karar değişkenlerinin pozitif değer almasını sağlamaktadır.

Servis firmasında farklı trafik yoğunluklarına ait bölgelerde ve öğrenci sayısına bağlı duruş kalkışlar dikkate alınarak yapılan ölçümler sonucunda servis aracının ortalama hızı 24 km/s olarak belirlenmiştir. Öğrencinin her zaman servis aracını beklediği durum düşünülerek servis zamanı ihmal edilmiştir. Gerçek hayat uygulamasına göre tüm hesaplamalar yapıldığından öğrencilerin arasındaki uzaklıklar da aynı hassasiyetle güncel trafik kurallarını ve servis araçlarının kullanabileceği yolları gösteren haritalar üzerinden elde edilmiştir. Bu mantıkla RStudio ile Google Haritalardan elde edilmiş olan uzaklık matrislerinde ölçü birimi olarak metre kullanıldığından uzaklık ve zaman dönüşümleri sağlanarak β parametresi 0,0025 olarak tanımlanmıştır.

Okullar model oluşturulurken öğrenci adresleri gibi değerlendirilmeyip ayrı tutulmuştur. Ailelerin okula yakın uzaklıkta oturan öğrencinin önceden alınarak serviste zaman kaybetmesini istemeyişi modeli bu yönde şekillendirmiştir. Okula en yakın öğrencinin son nokta olarak seçilmesi her zaman istenilen durumu ortaya koymamıştır. Örneğin okula en yakın ve ikinci en yakın öğrencinin zıt noktalarda bulunup en yakın ikinci öğrencinin bölgesinde mevcudun daha fazla olduğu durum düşünüldüğünde, bir öğrencinin vakit kaybı birçoğununkine nazaran daha kabul edilebilir olduğundan son alınacak öğrenci için seçim yapılacak bir uzaklık mesafesi aralığı belirlenmiştir. Okullara uzaklıkları arasında ailelerin kabul ettiği süre olan 1 dakikaya denk gelen 400 metrelik fark içinde bulunan öğrencilerin içerisinde servise son binecek öğrenci seçilmiştir. Bu öğrenci başlangıç noktası gibi düşünülerek model çözülmeye çalışılmıştır.

5.6. Yöntemlere Ait Sonuçların Analizi

Oluşturulan gezgin satıcı problemi için en kısa sürede optimal çözüm bulmak hedeflenmiştir ancak NP-zor türünde olan bu model için kesin yöntemler ile bunu elde etmenin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle çözüm için sezgisel yöntemlere

başvurulmuştur ve bunların içerisinde genetik algoritmanın en sık kullanılanlardan biri olduğu görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda 3 yönteme göre ayrı ayrı gruplanmış olan toplamda 292 adet kümenin rotalama işlemi Excel Solver üzerinden açılım metodu (evolutionary solving) kullanılarak yapılmıştır.

Açılım metodu düzgün olmayan problemler için çeşitli genetik algoritma yöntemlerini kullanarak modele bağlı kısıtlar doğrultusunda kısa sürede çözüm verdiği için tercih edilmiştir. Çözücünün yeniden çalıştırılması popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranı gibi parametrelerde yapılan değişiklikten ötürü daha iyi çözümler bulmayı sağlarken çok daha fazla zaman harcanmasına sebep olmaktadır.

Her bir küme için uygulanan açılım metodu belirli sezgisel kuralların daha iyi sonuçlar ile ilerlemenin muhtemel olmadığını gösterdiği ya da belirlenen hesaplama zamanı dolduğu anda durmuştur. Rotalar elde edildikten sonra okul bazında kat edilen mesafeler kıyaslanma yoluna gidilmiştir. Burada kıyaslama yapılırken rotalama sonucunda elde edilen toplam mesafelere kümeler için belirlenmiş son alınacak öğrencinin okula uzaklığının eklenmesine özen gösterilmiştir. Okul 16 için 3 farklı yöntemden elde edilmiş 21 adet küme için rotalama sonuçlarına Çizelge 5.6.1’de yer verilmiştir.

Çizelge 5.6.1. Okul 16 için Elde edilen 7 Kümenin Rotalara Göre Mesafe Sonuçları

Yöntem	Kümeler	16-1	16-2	16-3	16-4	16-5	16-6	16-7	Toplam Mesafe
1	Son Binecek Öğrenci	90	5	41	16	49	88	114	62629
	Öğrencinin Okula Uzaklığı	900	3300	3100	5300	1500	1800	1200	
	Toplam Rota Uzunluğu	4358	5820	6815	6914	7975	3647	10000	
2	Son Binecek Öğrenci	90	5	88	16	49	112	114	62047
	Öğrencinin Okula Uzaklığı	900	3300	1800	5300	1500	2700	1200	
	Toplam Rota Uzunluğu	4358	5820	6060	6914	7975	4220	10000	
3	Son Binecek Öğrenci	90	5	21	16	49	88	114	61766
	Öğrencinin Okula Uzaklığı	900	3300	4200	5300	1500	1800	1200	
	Toplam Rota Uzunluğu	4358	5820	1877	6914	8381	6216	10000	

Tablodan elde edilen sonuçlara bakıldığında her yöntem için 7 küme oluşturulduğu görülmüştür ve seçilen yöntemin bu okulda servis sayısına etki etmediği anlaşılmıştır. Servis sayısının bir artırılmasının kat edilen mesafe ile değerlendirilmeyecek kadar çok maliyet getirmesinden ötürü ilk olarak bu kısıt kontrol edilmiştir. Eşit küme dağılımı bulunan Okul 16 gibi okullarda rotada bulunan öğrenciler arasındaki mesafeler ile son öğrenci adresinin okula uzaklığının toplamıyla elde edilen mesafeler kıyaslanmıştır. Bu örnekte en kısa kat edilen mesafe Yöntem 3 ile elde edilmiştir. Küme sayılarının farklı çıktığı durumlarda en az küme sayısına ulaşıldığı yöntem en iyi sonucu veriyor olarak değerlendirilmiştir.

19 adet okul için aynı mantık çerçevesinde bütün kümelerin rotası oluşturulmuştur. 292 küme içerisinde sadece Yöntem 2 ile gruplanan Okul 18’de yer alan 2 adet kümede çözücü optimal sonuca ulaşamamıştır ve bu okul için küme sayısı 1 artırılarak yeniden işlemler tekrarlanmak durumunda kalmıştır. Yöntemlere göre yapılan kıyaslama sonuçları Çizelge 5.6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6.2. Yöntemlere Göre Kat Edilen Mesafeler

Okul No	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3	Sıralama	Öncelikler		
Okul 1	7863	7863	7863	1=2=3	1-2-3		
Okul 2	9755	9755	9755	1=2=3	1-2-3		
Okul 3	38478	38768	38607	1<3<2	1	3	2
Okul 4	29261	29261	29261	1=2=3	1-2-3		
Okul 5	11545	11545	11545	1=2=3	1-2-3		
Okul 6	17954	18186	18271	1<2<3	1	2	3
Okul 7	92805	90224	86039	3<2<1	3	2	1
Okul 8	71549	78463	74166	1<3<2	1	3	2
Okul 9	94765	93053	92936	3<2<1	3	2	1
Okul 10	95112	95708	94666	3<2<1	3	2	1
Okul 11	21489	21546	21546	1<2=3	1	2-3	
Okul 12	28044	28044	27553	3<1=2	3	1-2	
Okul 13	27980	28255	28055	1<3<2	1	3	2
Okul 14	21857	20246	20246	2=3<1	2-3		1
Okul 15	13156	13156	13156	1=2=3	1-2-3		
Okul 16	62629	62047	61766	3<2<1	3	2	1
Okul 17	32019	31714	31714	2=3<1	2-3		1
Okul 18	39646	42130	39646	1=3<2	1-3		2
Okul 19	49406	50224	46743	3<1<2	3	1	2

Toplam	765313	770188	753534	3<1<2	3	1	2
---------------	--------	--------	--------	-------	---	---	---

Sonuçlara bakıldığında Yöntem 3'in en az mesafe ile öncelik aldığı durumların %44'e tekabül ettiği görülmüştür. Yöntem 1 ise %34 gibi az bir fark ile ilk yöntemi takip etmiştir. Bu durumda aynı sonucu veren 5 okul hariç tutularak değerlendirme yapıldığında; 14 okuldan 5 okulda Yöntem 1 ve 6 okulda Yöntem 3 tek başına en iyi sonucu vermiştir. 3 okuldan 2 tanesinde Yöntem 3 ile Yöntem 2'den ve 1 tanesinde Yöntem 3 ile Yöntem 1'den birlikte elde edilen küme gruplandırmasında en az mesafenin kat edildiği anlaşılmıştır. Yöntem 2'nin %22 ile neredeyse diğer yöntemlerin tercih edilme oranının yarısında bir sonuç ortaya koyduğu ve bu sonuçları da servis aracının kapasitesinin altında mevcudu bulunan okullarda yakalayabildiği görülmüştür. Okullardan bağımsız firma için genel olarak düşünülüp toplam kat edilen mesafeye bakıldığında ise okulların dağılımı ile benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Tüm bu analizler toparlandığında kümelenmiş grupları yeniden bağımsız olarak değerlendirmenin sonuçları net bir şekilde kötüleştirdiği kanıtlanıp Yöntem 2'nin tercih edilmemesi gerektiği gösterilmiştir. Yöntem 1'in uç noktaların dikkate alınarak hesaplanma yapılması ile iyileştirilmiş hali olarak düşünülebilecek olan Yöntem 3 en iyi sonuca götürmüştür. Yöntem 1'in de Yöntem 3'e benzer yakın sonuçlar vermesi bu mantıkla uygulanan algoritmaların tutarlı sonuçlar verdiğini desteklemiştir.

Kümeleme performanslarına göre kıyaslama yapıldığında 3. yöntemin en iyi sonucu verdiği bilgisine daha önceki bölümlerde ulaşılmıştı. Bütün istatistiklerin birlikte verildiği Çizelge 5.6.3'de rotalamanın da aynı sonucu vererek bunu desteklediği açıkça görülmüştür. Bu durumda uç değerlerin ayrıca değerlendirilip bireysel olarak atamalarının yapıldığı minimum varyans hedefine göre öğrenci adreslerinin gruplandırıldığı bir yöntem ile kısa zamanda servis aracı firmasının isteklerini karşılayan bir sonuç elde etmenin mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

Hem rotalama hem de kümeler arası yakın mesafe için Yöntem 1'in daha iyi değere sahip olması ve küme içindeki ortalama uzaklıklara göre farkın Yöntem 2 ile birbirine yakınlığı servis kapasitesi üzerinde bulunan her grubu ayrı düşünerek yeniden kümelemenin optimum sonuçtan uzaklaştırdığı durumunu kanıtlamıştır.

Çizelge 5.6.3. Performans Kriterleri ve Rotalama Sonuçlarının İstatistiksel Gösterimi

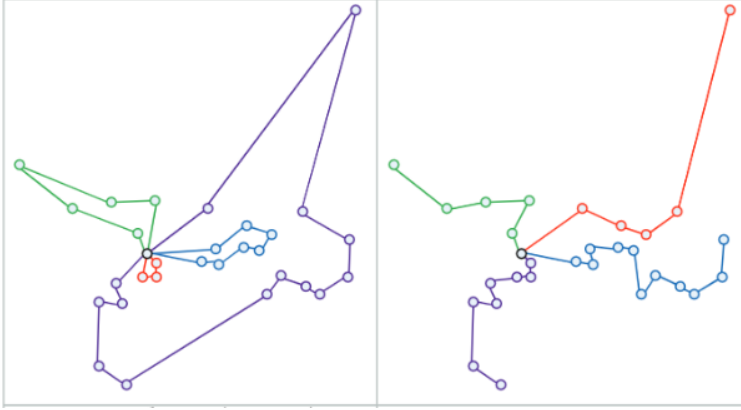
İstatistikler-1. Öncelik-Küme İçi			
Okul No	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3
Okul 1	x	x	x
Okul 2	x	x	x
Okul 3		x	
Okul 4	x	x	x
Okul 5	x	x	x
Okul 6			x
Okul 7			x
Okul 8	x		
Okul 9		x	
Okul 10	x		
Okul 11		x	x
Okul 12	x	x	
Okul 13			x
Okul 14		x	x
Okul 15	x	x	x
Okul 16			x
Okul 17		x	x
Okul 18	x		x
Okul 19	x		
Sonuç	0,29	0,32	0,38

İstatistikler-1. Öncelik-Kümeler Arası			
Okul No	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3
Okul 3			x
Okul 4	x	x	x
Okul 6			x
Okul 7		x	
Okul 8	x		
Okul 9			x
Okul 10	x		
Okul 11		x	x
Okul 12	x	x	
Okul 13			x
Okul 14		x	x
Okul 16			x
Okul 17	x		
Okul 18	x		x
Okul 19			x
Sonuç	0,29	0,24	0,48

İstatistikler-1. Öncelik-Rotalama			
Okul No	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3
Okul 1	x	x	x
Okul 2	x	x	x
Okul 3	x		
Okul 4	x	x	x
Okul 5	x	x	x
Okul 6	x		
Okul 7			x
Okul 8	x		
Okul 9			x
Okul 10			x
Okul 11	x		
Okul 12			x
Okul 13	x		
Okul 14		x	x
Okul 15	x	x	x
Okul 16			x
Okul 17		x	x
Okul 18	x		x
Okul 19			x
Sonuç	0,34	0,22	0,44

6. TASARRUF ALGORİTMASININ UYGULANMASI VE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN ANALİZİ

Geliştirilen sezgisel yöntemlerden elde edilen sonuçların değerlendirmesini yapabilmek adına KKARP çözümünde oldukça sık kullanılan Clarke-Wright algoritmasının uygulanması yoluna gidilmiştir. Önceki yöntemlerde kullanılan önce kümele sonra rotalama prensibinin aksine tasarruf algoritması ile kümeleme ve rotalama işleminin aynı anda yapılması hedeflenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, firmada bulunan servis araçlarının gün içerisinde peşi sıra birçok okula hizmet etmesinden ötürü klasik KKARP'den farklı olarak başladıkları noktaya geri dönme zorunluluklarının bulunmamasıdır. Bu sebeple problem, rotalama durumuna göre farklı Şekil 6.1'de gösterilmiş olan AUARP olarak nitelendirilmiştir ve ona göre çözüm yöntemi aranmıştır.

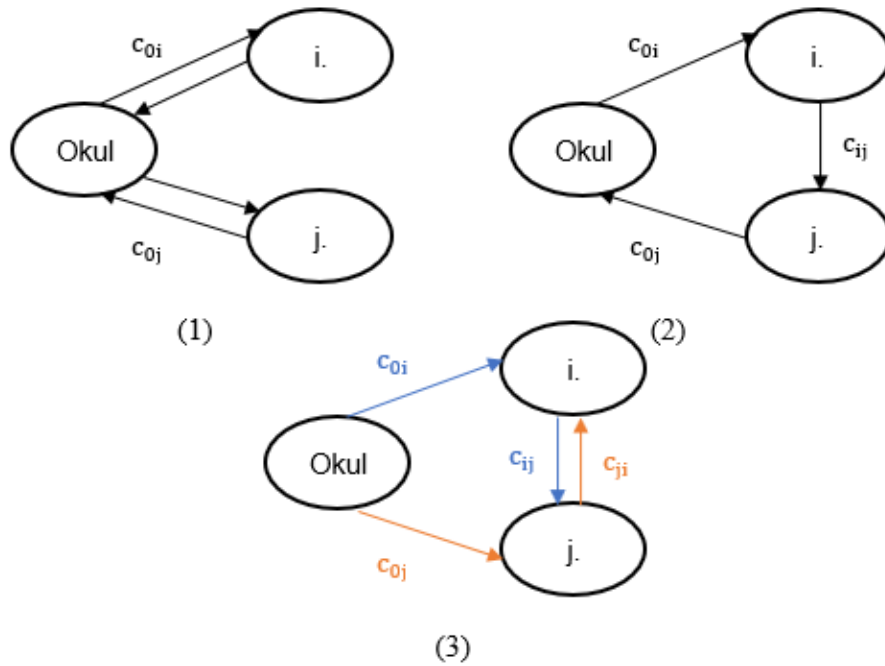


Şekil 6.1. Kapalı Uçlu ve Açık Uçlu ARP

Clarke-Wright algoritması sezgisel bir yöntem olup en iyi sonucu vermeyi garanti etmemektedir. Algoritmanın paralel ve seri olmak üzere iki türü bulunuyor olup daha önce yapılan çalışmalarda paralel tasarruf algoritmasının genellikle daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Seri algoritmada servis kapasitesi dolana kadar aynı rota için uygun olan öğrencilerin ataması yapılmaya devam edilir ve kapasite dolduğunda yeni rota oluşturmaya başlanır. Paralel algoritmada ise rotaya uygun olmayan öğrenciler için her defasında farklı yeni bir rota oluşturularak atama yapmaya devam edilebilir. Bu çalışmada her bir servis aracına atanacak bölgelerin ve sonucunda oluşturulan rotanın birbirinden bağımsız olduğu düşünülerek paralel tasarruf algoritmasının kullanılması tercih edilmiştir.

Algoritma gereği öğrenci i ve j arasındaki Öklid uzaklığı $c_{i,j}$ öğrenci adreslerindeki koordinat bilgileri kullanılarak hesaplanır ancak gerçek hayat uygulaması olan bu problemde daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için Google Haritalar üzerinden RStudio yardımı ile diğer yöntemlere veri hazırlık aşamasında önceden oluşturulmuş uzaklık matrisleri kullanılmıştır.

Tasarruf algoritmasında bir okul ve birden çok toplanıp dağıtılacak öğrenci evi bulunur. İkinci aşama olarak öğrenci i ve j arasındaki tasarruf değerlerinin hesaplanması gerekir. Önceki çalışmalarda problemin türüne göre hesaplamaların değişiklik göstermekte olduğu ve farklı parametreler kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Şekil 6.2’de yer alan gösterimler tasarruf algoritmasının formülünün ortaya çıkışını net bir şekilde açıklamaktadır.



Şekil 6.2. Tasarruf Algoritması Gösterimi

i ve j öğrencileri arasındaki tasarrufu gösteren s_{ij} için formül Clarke ve Wright tarafından aşağıdaki gibi elde edilmiştir. (1) numarada herhangi bir plan yapılmaksızın her öğrencinin okula alınıp bırakılması gösterilirken (2) numarada tasarrufların kolaylıkla ortaya konulduğu görülmektedir.

$$S_{ij} = (c_{0i} + c_{0i} + c_{0j} + c_{0j}) - (c_{0i} + c_{0j} + c_{ij})$$

$$S_{ij} = c_{0i} + c_{0j} - c_{ij}$$

Bu formül KKARP için uygun olup $c_{ij} = c_{ji}$ varsayımını içermektedir. (3) numaradaki şekliyle okula geri dönme zorunluluğu olmayan bu çalışmadaki gibi AUARP'ler için Bodin ve ark. [56] tarafından formül yeniden düzenlenmiştir. Bu çalışmada düzenlenen yeni formül gidiş ve dönüş uzaklıklarının aynı olmaması sebebiyle varsayımda bulunmadan çift yönlü olarak aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$S_{ij} = (c_{0i} + c_{0j}) - (c_{0i} + c_{ij})$$

$$S_{ij} = c_{0j} - c_{ij}$$

$$S_{ji} = (c_{0i} + c_{0j}) - (c_{0j} + c_{ji})$$

$$S_{ji} = c_{0i} - c_{ji}$$

Uzaklık matrisleri yardımıyla tasarruf değerlerinin her bir okul ve öğrencileri için ayrı ayrı hesaplanması ile tasarruf matrisleri oluşturulmuştur.

Tasarruf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	1105	-34	-130	-131	116	105	462	1180	32	459	32	209	208	33	32	106	106	105	106	106	-1205
2	1184	0	44	-52	-53	195	184	738	1076	111	735	111	485	484	111	111	184	184	557	558	-54	-1297
3	470	470	0	274	273	520	509	520	424	436	520	436	409	408	437	436	509	509	509	510	509	-863
4	-399	-400	-517	0	1429	403	1299	319	-446	844	319	569	1055	1055	491	880	1454	1300	1299	1300	1300	-1673
5	-276	-277	-394	1553	0	526	1186	442	-323	967	442	692	942	941	614	1003	1334	1186	1186	1187	1186	-1549
6	230	230	113	851	606	0	1153	1186	184	967	1186	1080	1159	1158	754	1003	1154	1257	1231	1232	1154	-1270
7	-1757	-1844	-1874	-349	-594	-823	0	-906	-1803	-445	-907	-657	436	444	-696	-447	615	1197	866	724	1818	-3264
8	502	699	47	701	456	1120	1003	0	118	817	1311	930	1001	1001	605	853	1004	1099	1073	1074	1004	-1336
9	943	760	-294	-980	-391	-144	-155	-144	0	-228	-144	-228	-231	-231	-227	-228	-154	-155	-155	-154	-154	-1447
10	-161	-161	-278	1166	849	841	1361	757	-207	0	757	1007	1294	1293	1183	1396	1362	1362	1361	1362	1362	-1423
11	486	683	34	687	443	1107	990	1298	105	804	0	917	988	987	591	840	991	1086	1060	1061	991	-1349
12	158	157	41	1028	784	1092	1331	1008	112	1145	1008	0	1259	1258	932	1181	1332	1331	1331	1332	1332	-1258
13	-491	-126	-608	769	524	521	1818	429	-537	673	429	609	0	1907	569	818	1733	2006	1885	1886	1931	-1907
14	-496	-131	-613	764	519	516	1823	425	-542	668	424	604	1903	0	565	813	1728	2010	1880	1881	1935	-1912
15	-200	-200	-317	1059	873	734	1255	650	-246	1289	650	900	1187	1187	0	1289	1255	1255	1256	1255	1255	-1399
16	-75	-76	-192	1184	939	859	1379	775	-121	1378	775	1025	1312	1311	1165	0	1380	1380	1379	1380	1380	-1582
17	-532	-532	-649	1082	838	403	1840	319	-578	780	319	569	1596	1595	529	778	0	1840	1840	1840	1840	-2039
18	-904	-904	-1021	504	259	31	2050	-53	-950	408	-53	196	1497	1505	157	406	1468	0	1775	1632	2325	-2411
19	-608	-609	-725	799	555	326	2015	242	-654	704	242	492	1672	1671	453	701	1764	2071	0	1978	2016	-2115
20	-536	-537	-653	871	627	398	1943	314	-582	776	314	564	1744	1743	524	773	1835	1999	2049	0	1944	-2043
21	-1193	-1194	-1310	227	-18	-259	2491	-343	-1239	119	-343	-93	1199	1207	-132	116	1178	2168	1430	1287	0	-2700
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 6.3. Okul 1'e ait Elde Edilmiş 22x22'lik Tasarruf Matrisi

Algoritmanın çözümü için MS Excel tercih edilmiştir. Firmanın politikası gereği öncelikle eve ilk bırakılacak olan okula en yakın mesafede oturan öğrenci belirlenmiştir. Sonrasında Şekil 6.3'de görüldüğü üzere bir öğrenciden diğer öğrenciye giderken kazanılacak olan tasarrufun oluşturulan matrislerden çekilmesini sağlamak gerekmiştir ve bunun için Çizelge 6.1'de yer alan kod kullanılmıştır. Her okul için öğrenci sayıları ve matristeki değerler kullanılarak kod çalıştırılmıştır. Öğrenci sayısının fazla olduğu

okullarda indis kısıtından ötürü veri bölünerek her set için kod yeniden çalıştırılıp sonuçları bir araya getirilmiştir.

Çizelge 6.1. Tasarruf Matrislerinden Veri Çekmek için Oluşturulan Kod

```
Private Sub CommandButton_Click()  
Dim k As Integer, i As Integer, j As Integer  
Dim index As Integer  
Const OgrenciSayisi = x  
Const Data_Yeri = x+2  
index = 2  
For k = 2 To OgrenciSayisi  
    For i = 2 To OgrenciSayisi  
        Cells(index, Data_Yeri).Value = Cells(i, k).Value  
        Cells(index, Data_Yeri + 1).Value = Cells(i, 1).Value  
        Cells(index, Data_Yeri + 2).Value = Cells(1, k).Value  
        index = index + 1  
    Next i  
Next k  
End Sub
```

Ardından elde edilen verilere göre tasarruflar büyükten küçüğe doğru olacak şekilde sıralanmıştır. En büyük tasarruf değerinden başlanarak paralel tasarruf algoritması mantığıyla rotalar belirlenmeye çalışılmıştır.

Birleştirmeler yapılırken 22 olan servis aracı kapasitesinin aşılmasına ve servise binen ilk öğrenci ile son öğrenci arasında geçen sürenin 45 dakikadan fazla olmamasına dikkat edilmiştir. Tasarruflar, uzaklık matrisleri üzerinden hesaplandığından 45 dakika olarak belirlenen süre yerine servis ortalama hızınının 24 km/s olmasından ötürü bir rotanın uzunluğu 18.000 metreyi geçmeden yeni öğrenci atama yapılması durdurulmuştur.

Atanan her öğrenci için giriş ya da çıkış düğümünde olmasına göre filtre konularak seçeneklerin her defasında yeniden değerlendirmeye alınmasının önüne geçilmiştir. Tasarrufu aynı gelen öğrencilerin ataması yapılırken uzaklık matrisinde mesafesi küçük olan ilk olarak rotaya dahil edilmiştir. Rotada yer alan öğrenci sayısınının 7'nin altında

kalmayacağı ve asıl amaç olan minimum servis sayısı ile en fazla öğrenciyi taşıyabilmek üzere mümkün olduğunca servis aracının kapasitesinin doldurulacağı şekilde 19 okuldaki 1750 adet öğrencinin rotalamaları ve aynı zamanda kümelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.2’de 211 adet öğrencinin taşımacılığının yapıldığı Okul 7 için elde edilen rotalama sonuçları gösterilmiştir. Kısıtların sağlandığı durumda 11 adet servis aracı ile okuldaki tüm öğrencilere hizmet verilebildiği görülmüştür.

Çizelge 6.2. Okul 7'ye ait Tasarruf Algoritması ile Elde Edilen Rotalar ve Öğrencilerin Servis Araçlarına Atanması

Toplam Mesafe	İlk Öğrencinin Okula Uzaklığı	Rota Numarası	Rotalar	Rota Uzunluğu	Kapasite
11244	1600	1	59-->65-->58-->57-->109-->108-->107-->106-->105-->103-->104-->102-->114-->112-->113-->115-->116-->117-->118-->121-->123-->124	9644	22
8061	1300	2	135-->134-->137-->128-->127-->43-->44-->49-->48-->47-->46-->45-->96-->98-->97-->101-->100	6761	17
4535	1100	3	149-->151-->150-->148-->203-->202-->205-->204-->80-->79-->82-->81-->83-->167-->173-->172	3435	16
11189	800	4	155-->154-->156-->158-->157-->147-->146-->194-->195-->39-->38-->37-->33-->34-->32-->31-->70-->68-->69-->66-->67-->71	10389	22
16084	1300	5	160-->159-->145-->144-->143-->141-->140-->139-->191-->52-->53-->54-->55-->56-->131-->132-->130-->129-->126-->99-->125-->122	14784	22
6271	1200	6	162-->161-->163-->164-->153-->152-->201-->200-->198-->199-->197 -->196-->40-->42-->41-->78	5071	16
10300	850	7	165-->166-->142-->138-->36-->35-->28-->26-->27-->25-->30-->29-->72-->24-->23	9450	15
7604	2900	8	184-->189-->4-->181-->179-->180-->2-->3-->178-->1-->7-->8-->9-->10-->11-->20-->15-->5-->16-->17-->18-->19	4704	22
8362	500	9	192-->193-->89-->136-->185-->187-->186-->22-->183-->182-->170-->168-->169-->73-->74-->76-->75-->77-->171	7862	19
11233	1100	10	208-->206-->207-->88-->209-->86-->87-->210-->85-->84-->64-->63-->60-->62-->61-->133-->111-->119-->120	10133	19
9407	2100	11	211-->110-->188-->176-->177-->174-->175-->190-->51-->50-->95-->92-->90-->91-->94-->93-->6-->13-->14-->12-->21	7307	21

Toplam
104290

7. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında bir firmadan alınan veriler doğrultusunda okul servisi araçlarının kümeleme ve rotalama işlemleri yapılmıştır. Bunun için ilk önce sezgisel metotlar tercih edilerek 3 farklı yöntem ile sonuçlar elde edilmiştir ve yöntemler kendi içerisinde kıyaslama yoluna gidilmiştir. Sezgisel metotlara dayanan ve ilk kez kullanılıyor olan bu yöntemlerin performans değerlendirmesini yapabilmek onları literatürde var olan bir çözüm aracı ile kıyaslama ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla ARP'nin çeşitli türlerinde defalarca kez farklı parametreler dahil edilerek uygulanmış olan tasarruf algoritması ile de bu probleme çözüm üretilmiştir. Bir servis aracının getirdiği maliyetin toplam kat edilen mesafenin artışıyla kıyaslanmayacak kadar fazla olması sebebiyle öncelikle küme sayıları kontrol edilmiştir. Çizelge 7.1'de 19 adet okul için önce kümele sonra rotala ve eş zamanlı olarak kümele-rotala gibi iki farklı prensip ile yapılan çalışmaya ait küme sayıları sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 7.1. Çözümlere Göre Elde Edilen Küme Sayıları

Okullar	Öğrenci Sayısı	Beklenen Küme Sayısı	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3	Tasarruf Algoritması
Okul 1	22	1	1	1	1	1
Okul 2	20	1	1	1	1	1
Okul 3	101	5	6	6	6	6
Okul 4	86	4	5	5	5	5
Okul 5	22	1	1	1	1	1
Okul 6	85	4	5	5	5	5
Okul 7	211	10	12	11	11	11
Okul 8	177	9	9	11	9	9
Okul 9	196	9	11	11	11	11
Okul 10	216	10	12	13	13	11
Okul 11	61	3	3	3	3	3
Okul 12	70	4	4	4	4	4
Okul 13	77	4	4	4	4	4
Okul 14	58	3	3	3	3	3
Okul 15	19	1	1	1	1	1
Okul 16	129	6	7	7	7	7
Okul 17	46	3	3	3	3	3
Okul 18	44	2	3	3	3	3
Okul 19	110	5	6	6	6	6

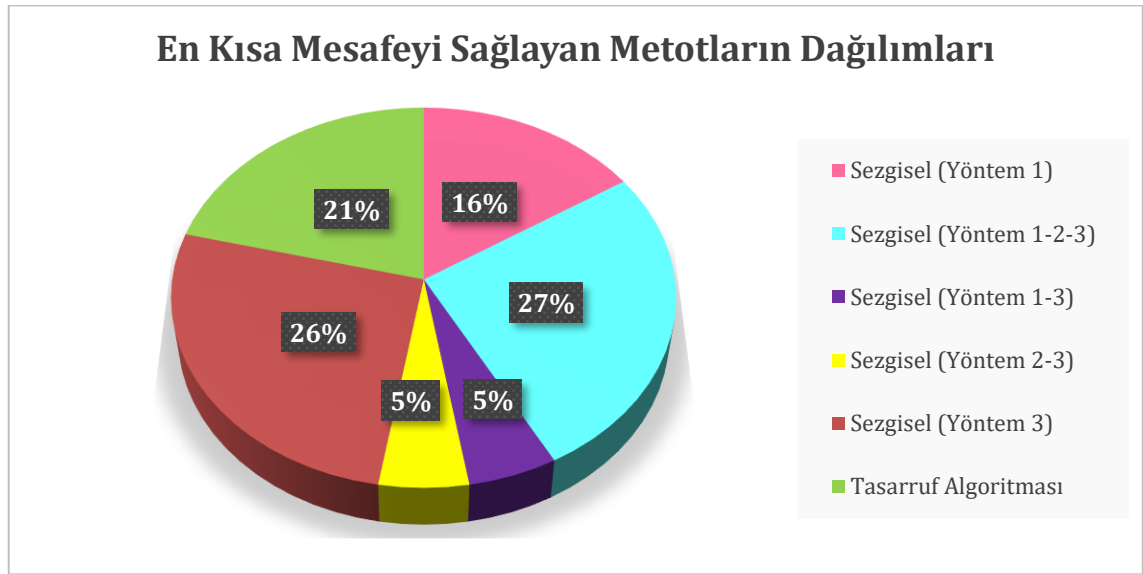
Tabloya bakıldığında 7 adet okulda öğrenci sayısına ve servis kapasitesine bağlı olarak beklenen küme sayısından daha fazla sayıda servis aracı ile taşımının yapılması gerektiği durumu görülmüştür. 3 adet okulda uygulanan metotların sonucunda farklı küme sayıları elde edilmiştir ve bu okulların öğrenci sayılarının yüksek olduğu göze çarpmıştır. Okul 7 ve 8’de küme sayısının minimum olduğu sonuca birden fazla yöntemde rastlandığından en iyi metodun rotalama sonuçlarına göre belirlenmesine karar verilmiştir. Okul 10’da ise minimum küme sayısına beklenene en yakın sonuç ile tasarruf algoritmasında ulaşılmıştır ve böylelikle Okul 10 için en iyi sonucu veren metot direkt söylenebilmiştir.

Küme sayısına bakılmaksızın tasarruf algoritmasına ait elde edilen sonuçların sezgisel yöntemler ile kıyaslamasının yapıldığı tabloya aşağıda yer verilmiştir. Değerlendirme yapılırken geliştirilen sezgisel yöntemlerden en kısa mesafeyi veren yöntemler dikkate alınmıştır. Çizelge 7.2’de okul bazında tüm rotalarda servis araçlarının kat ettiği toplam mesafeler metre cinsinden verilmiştir.

Çizelge 7.2. Tasarruf Algoritması ile En iyi Sezgisel Yöntem Sonuçlarının Kıyaslaması

Okul No	Sezgisel Yöntemler (1-2-3)	Tasarruf Algoritması	En Kısa Rotayı Veren Metot
Okul 1	7863	8994	Sezgisel (Yöntem 1-2-3)
Okul 2	9755	11372	Sezgisel (Yöntem 1-2-3)
Okul 3	38478	38640	Sezgisel (Yöntem 1)
Okul 4	29261	29660	Sezgisel (Yöntem 1-2-3)
Okul 5	11545	14212	Sezgisel (Yöntem 1-2-3)
Okul 6	17954	19004	Sezgisel (Yöntem 1)
Okul 7	86039	104290	Sezgisel (Yöntem 3)
Okul 8	71549	67340	Tasarruf Algoritması
Okul 9	92936	101406	Sezgisel (Yöntem 3)
Okul 10	94666	93336	Tasarruf Algoritması
Okul 11	21489	24134	Sezgisel (Yöntem 1)
Okul 12	27553	27902	Sezgisel (Yöntem 3)
Okul 13	27980	27658	Tasarruf Algoritması
Okul 14	20246	21984	Sezgisel (Yöntem 2-3)
Okul 15	13156	17128	Sezgisel (Yöntem 1-2-3)
Okul 16	61766	72060	Sezgisel (Yöntem 3)
Okul 17	31714	30112	Tasarruf Algoritması
Okul 18	39646	41455	Sezgisel (Yöntem 1-3)
Okul 19	49453	54013	Sezgisel (Yöntem 3)

Çizelge 7.2'ye ait verilerin dağılımlarını gösteren grafiğe Şekil 7.1'de yer verilmiştir.



Şekil 7.2. Okullara Göre İyi Sonuç Veren Metotların Dağılımları

Tablo ve grafikteki sonuçlara bakıldığında 19 adet okuldan 4 tanesinde tasarruf algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bunların içerisinde Okul 10'un tasarruf algoritması ile sezgisel yöntemlerin çözümüne nazaran daha az servis sayısı ile öğrencileri taşıyabiliyor olmayı sağlaması değerlendirmenin sonucunu belirlemiştir ancak daha kısa rotanın da aynı şekilde algoritma ile elde edilmesi bu durumu desteklemiştir. Tasarruf algoritmasının daha iyi sonuç verdiği okullara bakıldığında öğrenci sayısının küçük (46), orta (77) ve büyük ölçekli (177, 216) şeklinde nitelendirilebileceği birbirinden çok farklı aralıklarda olduğu görülmüştür. Bu sebeple tasarruf algoritmasının okul mevcudu, okulun öğrenci adreslerine uzaklığı, dağınık öğrenci grupları veya servis araçlarının kat ettiği toplam mesafeye göre hangi koşullarda daha iyi sonuç verdiğine dair bir genelleme yapılamamıştır. Hizmet verilen okulların ancak 1/5'i tasarruf algoritması kullanılarak maksimum fayda edinilmesine olanak sağlamıştır.

Kalan 15 adet okulda ise sezgisel yöntemler ile minimum sayıda servis aracının daha az mesafe kat ederek hizmet verebildiği ortaya konulmuştur. Yöntemler kendi içerisinde kıyaslandığında az bir fark ile Yöntem 1'in Yöntem 3'e göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmişti ancak tasarruf algoritması da karşılaştırmaya dahil edildiğinde durumun biraz değiştiği görülmüştür. 3 yöntemin % 27 ile bir arada en iyi sonucu vermesi kümeleme ve

rotalama yaparken prensip olarak ilk tercihin önce kümele sonra rotaladan yana olması gerektiğini göstermiştir. Aynı şekilde Yöntem 3'ün kendi başına bile ve Yöntem 1'in genel çerçevedeki yüzdesinin de tasarruf algoritmasından daha iyi olması oluşturulan sezgisellerin kullanılabilir ve yaygınlaştırılabilir olmasını kanıtlamıştır. Bu sezgisel yöntemlerin başka veriler için uygulanıp benzer sonuçlara ulaşılması durumunda metotların geliştirilmesi üzerine yeni çalışmalar planlanması hedeflenmiştir.

Literatür taramasında okul servis aracı rotalama problemi ile ilgili çalışmaların tamamına değil verinin hazırlanması, durakların belirlenmesi gibi belirli bir kısma çözüm araştırıldığı görülmüştür. Problemi tamamıyla ele alan süreçlerde ise tek okulun olduğu dolayısıyla tek giriş-çıkış saatinin dikkate alındığı, tek servisin rotalamasının yapıldığı, kısıtların gevşetilebildiği problemlere çözümler aranmıştır.

Bu tez çalışmasında farklı giriş-çıkış saatleri olan birçok okul ve rotalaması yapılması beklenen birçok servis aracı bulunmaktadır. Problemin kısıtları çok fazla olup okul saatlerinin değiştirilmesine ya da evler yerine belirli mesafeleri yürüyerek öğrencilerin duraklardan alınmasına müsaade edilmemektedir. Birden çok amacı barındıran çok büyük bir probleme çözüm üretilerek gerçek hayata uygun sonuçlar ile servis firmasına faydalı olacak bir çalışma yapılmıştır.

Çalışmanın başarı ile tamamlanması sonucunda uygulamanın yapıldığı servis firmasının her okul döneminde karşılaştığı servis sayısı belirleme, servislere kapasitesi dahilinde doğru kümeleme ile öğrenci dağıtımını yapabilme, uygun rotalama ile öğrenci, veli ve okul yönetiminin memnuniyetini sağlayabilme gibi zor süreçleri kolaylıkla çözebilecek hale gelmiş olması hedeflenmiştir.

Öğrencilerin miktarı ve adresleri, hizmet verilen okullar ve okulların giriş-çıkış saatleri her sene farklılık gösterdiğinden kolaylıkla bu yöntemin uygulanabilir olması ve diğer servis firmaları için de yöntemin örnek olması amacıyla uygun bir programın ya da yazılımın oluşturulup firmaya sağlanması üzerine çalışılacaktır. Kümeleme ve rotalama işlemlerinin ardından servis araçlarını çizelgeleme üzerinde çalışılarak süreçlerin devamı sağlanıp bir servis aracının tüm günlük rotasını oluşturabilmeye ve bunun sonraki uygulamalarda kullanılabilir hale getirilmesine odaklanılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] J. Park and B.-I. Kim, The school bus routing problem: A review, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 202, pp. 311–319, **2009**.
- [2] A. Corberán, E. Fernández, M. Laguna, and R. Martí, Heuristic solutions to the problem of routing school buses with multiple objectives, *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 53, no. 4, pp. 427–435, **2002**.
- [3] J. Braca, J. Bramel, B. Posner, and D. Simchi-Levi, A computerized approach to the New York City school bus routing problem, *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)*, vol. 29, no. 8, pp. 693–702, **1997**.
- [4] M. Fisher, Vehicle routing, in *Handbooks in Operations Research and Management Science*, **1995**, pp. 1–31.
- [5] R. M. Newton and W. H. Thomas, Design of school bus routes by computer, *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 75–85, **1969**.
- [6] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, The Truck Dispatching Problem, *Manage. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 80–91, **1959**.
- [7] D. Pisinger and S. Ropke, A general heuristic for vehicle routing problems, *Comput. Oper. Res.*, vol. 34, no. 8, pp. 2403–2435, **2007**.
- [8] P. Toth and D. Vigo, 1. An Overview of Vehicle Routing Problems, in *The Vehicle Routing Problem*, **2002**, pp. 1–26.
- [9] A. Fügenschuh, Solving a school bus scheduling problem with integer programming, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 193, no. 3, pp. 867–884, **2009**.
- [10] T. Bektaş and S. Elmastaş, Solving school bus routing problems through integer programming, *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 58, no. 12, pp. 1599–1604, **2007**.
- [11] X. Chen, Y. Kong, L. Dang, Y. Hou, and X. Ye, Exact and Metaheuristic Approaches for a Bi-Objective School Bus Scheduling Problem, *Public Libr. Sci.*, vol. 10, no. 7, **2015**.
- [12] M. F. Faraj, J. F. M. Sarubbi, C. M. Silva, M. F. Porto, and N. T. R. Nunes, A real geographical application for the School Bus Routing Problem, in *2014 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, **2014**.
- [13] A. Hadjar, O. Marcotte, and F. Soumis, A Branch-and-Cut Algorithm for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem, *Oper. Res.*, vol. 54, no. 1, pp. 130–149, **2006**.
- [14] Y. Kumar and S. Jain, School bus routing based on branch and bound approach, in *IEEE International Conference on Computer Communication and Control, IC4 2015*, **2016**.

- [15] A. Wang, Z., Shafahi, A., Haghani, An Iterative School Decomposition Algorithm for Solving The Multi-School Bus Routing and Scheduling Problem. **2017**.
- [16] J. Riera-Ledesma and J. J. Salazar-González, A column generation approach for a school bus routing problem with resource constraints, *Comput. Oper. Res.*, vol. 40, no. 2, pp. 566–583, **2013**.
- [17] J. Kinable, F. C. R. Spijksma, and G. Vanden Berghe, School bus routing-a column generation approach, *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 21, no. 3, pp. 453–478, **2014**.
- [18] J. D. J. Santana, L., Ramiro, E. and Romero Carvajal, A hybrid column generation and clustering approach to the school bus routing problem with time windows, *Ingeniería*, vol. 20, no. 1, pp. 101–117, **2015**.
- [19] B. E. Gillett and L. R. Miller, A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem, *Oper. Res.*, vol. 22, pp. 340–349, **1974**.
- [20] J. Park, H. Tae, and B.-I. Kim, A post-improvement procedure for the mixed load school bus routing problem, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 217, no. 1, pp. 204–213, **2012**.
- [21] M. Spada, M. Bierlaire, and T. M. Liebling, Decision-Aiding Methodology for the School Bus Routing and Scheduling Problem, *Transp. Sci.*, vol. 39, no. 4, pp. 477–490, **2005**.
- [22] S. Vecchi, C. D. Kirkpatrick, and M. . Gelatt, Optimization by Simulated Annealing, *Science (80-.)*, vol. 220, no. 4598, pp. 671–680, **1983**.
- [23] S. S. Dana, M. M. Paydar, and J. Jouzdani, A simulated annealing solution method for robust school bus routing, *Int. J. Oper. Res.*, vol. 28, no. 3, p. 307, **2017**.
- [24] J. Pacheco and R. Martí, Tabu search for a multi-objective routing problem, *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 57, no. 1, pp. 29–37, **2006**.
- [25] J. F. Cordeau, G. Laporte, and A. Mercier, A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows, *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 52, no. 8, pp. 928–936, **2001**.
- [26] A. Shafahi, Z. Wang, and A. Haghani, A matching-based heuristic algorithm for school bus routing problems, *arXiv:1807.05311*, **2018**.
- [27] T. Rashidi, H. Zokaei-Aashtiani, and A. Mohammadian, School Bus Routing Problem in Large-Scale Networks New Approach Utilizing Tabu Search on a Case Study in Developing Countries, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2137, no. 1, pp. 140–147, **2009**.
- [28] B. Ngonyani, E. Mujuni, and A. Mushi, Optimizing Schedules for School Bus Routing Problem: the case of Dar Es Salaam Schools, *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 4–8, **2015**.
- [29] B. Yu, Z. Z. Yang, and B. Yao, An improved ant colony optimization for vehicle routing problem, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 196, no. 1, pp. 171–176, **2009**.

- [30] S. Mazzeo and I. Loiseau, An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing, *Electron. Notes Discret. Math.*, vol. 18, pp. 181–186, **2004**.
- [31] A. V. Donati, R. Montemanni, N. Casagrande, A. E. Rizzoli, and L. M. Gambardella, Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 185, no. 3, pp. 1174–1191, **2008**.
- [32] Y. Gajpal and P. Abad, An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup, *Comput. Oper. Res.*, vol. 36, no. 12, pp. 3215–3223, **2009**.
- [33] G. Fuellerer, K. F. Doerner, R. F. Hartl, and M. Iori, Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem, *Comput. Oper. Res.*, vol. 36, no. 3, pp. 655–673, **2009**.
- [34] L. Huo, G. Yan, B. Fan, H. Wang, and W. Gao, School bus routing problem based on ant colony optimization algorithm, in *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, ITEC Asia-Pacific 2014 - Conference Proceedings*, **2014**.
- [35] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Pres, **1975**.
- [36] C. H. Wang and J. Z. Lu, A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems, *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 2921–2936, **2009**.
- [37] M. Kang, S. K. Kim, J. T. Felan, H. R. Choi, and M. Cho, Development of a genetic algorithm for the school bus routing problem, *Int. J. Softw. Eng. its Appl.*, vol. 9, no. 5, pp. 107–126, **2015**.
- [38] B. Minocha and S. Tripathi, Solving school bus routing problem using hybrid genetic algorithm: A case study, in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, **2014**, pp. 93–103.
- [39] S. Ben Sghaier, N. Ben Guedria, and R. Mraihi, Solving School Bus Routing Problem with genetic algorithm, in *2013 International Conference on Advanced Logistics and Transport, ICALT 2013*, **2013**, pp. 7–12.
- [40] K. Shin and S. Han, A Centroid-Based Heuristic Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem, *Comput. Informatics*, vol. 30, pp. 721–732, **2011**.
- [41] J. Kennedy and R. Eberhart, *Particle Swarm Optimization*, **1995**.
- [42] S. A. MirHassani and N. Abolghasemi, A particle swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem, *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 9, pp. 11547–11551, Sep. **2011**.
- [43] Y. Marinakis, M. Marinaki, and G. Dounias, A hybrid particle swarm optimization algorithm for the vehicle routing problem, *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 23, no. 4, pp. 463–472, **2010**.
- [44] T. Cura, A particle swarm optimization approach to clustering, *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 1, pp. 1582–1588, **2012**.

- [45] U. M. Fayyad, G. Piatetski-Shapiro, P. Smyth, and R. Uthurusamy, *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, **1998**.
- [46] Clustering Methods. [Online]. Available: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/contents-1.html>. [Accessed: 01-May-2019].
- [47] M. R. Anderberg, *Cluster analysis for applications*, Probab. Math. Stat. 19 CN - QA278 .A5 **1973**.
- [48] R. K. Blashfield and M. S. Albenderfer, The literature on cluster analysis, *Multivariate Behav. Res.*, vol. 13, no. 3, pp. 271–295, **1978**.
- [49] B. S. Everitt, S. Landau, M. Leese, and D. Stahl, *Cluster analysis: Fifth edition*. **2011**.
- [50] L. Hubert, Approximate evaluation techniques for the single-link and complete-link hierarchical clustering procedures, *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 69, no. 347, pp. 698–704, **1974**.
- [51] M. Sharma and P. Wadhawan, 1. A Cluster Analysis Study of Small and Medium Enterprises, *IUP J. Manag. Res.*, vol. 8, no. 10, pp. 7–23, **2009**.
- [52] G. Clarke and J. W. Wright, Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Oper. Res.*, vol. 12, no. 4, pp. 568–581, **1964**.
- [53] G. K. Rand, The life and times of the Savings Method for Vehicle Routing Problems, *ORiON*, vol. 25, no. 2, pp. 125–145, **2009**.
- [54] F. A. Tillman, The Multiple Terminal Delivery Problem with Probabilistic Demands, *Source Transp. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 192–204, **1969**.
- [55] F. A. Tillman and T. M. Cain, An Upperbound Algorithm for the Single and Multiple Terminal Delivery Problem, *Manage. Sci.*, vol. 18, no. 11, pp. 664–682, **1972**.
- [56] L. Bodin, B. Golden, A. Assad, and M. Ball, Routing and scheduling of vehicles and crews. The state of the art, *Comput. Oper. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 63–211, **1983**.
- [57] T. Pichpibul and R. Kawtummachai, A heuristic approach based on Clarke-Wright algorithm for open vehicle routing problem, *Sci. World J.*, **2013**.
- [58] T. J. Gaskell, Bases for Vehicle Fleet Scheduling, *Oper. Res. Soc.*, vol. 18, no. 3, pp. 281–295, **1967**.
- [59] J. J. McDonald, Vehicle Scheduling -- A Case Study, *Oper. Res. Soc.*, vol. 23, no. 4, pp. 433–444, **1972**.
- [60] H. Paessens, The savings algorithm for the vehicle routing problem, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 34, no. 3, pp. 336–344, **1988**.
- [61] D. Vigo, Heuristic algorithm for the asymmetric capacitated vehicle routing problem, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 89, no. 1, pp. 108–126, **1996**.

- [62] M. Rodrigo and A. Melo, Package ‘gmapsdistance’ Type Package Title Distance and Travel Time Between Two Points from Google Maps, **2018**.

EKLER

EK 1 - Tezden Türetilmiş Bildiriler

Öğrenci Taşımacılığı Yapan Bir Firmada Okul Servisi Araçlarını Kümeleme ve Rotalama, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği (YAEM) 39. Ulusal Kongresi, 12-14 Haziran, Ankara (Türkiye), 2019.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih:24/06/2019

Tez Başlığı / Konusu: Okul Servisi Araçlarını Rotalama Problemi İçin Yenilikçi Bir Yaklaşım

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 60 sayfalık kısmına ilişkin, 24/06/2019 tarihinde ~~Yahya~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar ~~harici~~/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Seda Albayrak

Öğrenci No: N14328537

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Endüstri Mühendisliği

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

24.06.2019

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Güldal Güteryüz

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seda ALBAYRAK
Doğum yeri : ANKARA
Doğum tarihi : 28.08.1991
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0537 293 78 98
Elektronik posta adresi : sedaalbayrakk@gmail.com
Yabancı dili : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

İş Tecrübesi

ERP Mühendisi – Gülermak A.Ş. (2015-2016)
Üretim Planlama Mühendisi – ASELSAN A.Ş. (2016-)