



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**SÜREKLİ TALEP VE YÜKE BAĞLI ENERJİ TÜKETİMİ
VARSAYIMLARI İLE TESİS İÇİ ELEKTRİKLİ ARAÇ
ÇİZELGELEME PROBLEMİ**

Nizameddin ALYAPRAK

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

SÜREKLİ TALEP VE YÜKE BAĞLI ENERJİ TÜKETİMİ VARSAYIMLARI İLE TESİS İÇİ
ELEKTRİKLİ ARAÇ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Nizameddin ALYAPRAK

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

KABUL VE ONAY

Nizameddin Alyaparak tarafından hazırlanan "Sürekli Talep ve Yüke Bağlı Enerji Tüketimi Varsayımları ile Tesis İçi Elektrikli Araç Çizelgeleme Problemi" başlıklı bu çalışma, 14 Haziran 2021 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aydın ULUCAN (Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Danışman)

Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Üye)

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Sedat BELBAĞ (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin 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 kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak 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. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

14/06/2021

Nizameddin ALYAPRAK

¹“*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*”

- (1) *Madde 6. 1. Lisansüstü tezele ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.*
- (2) *Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metodların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.*
- (3) *Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir. Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.*

* Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, **Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa ÇİMEN** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Arş. Gör. Nizameddin ALYAPRAK

Canım Annem'e

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın tamamında yol göstericiliğiyle, katkılarıyla ve süreç boyunca sağladığı motivasyonla beni destekleyen değerli hocam, tez danışmanım Mustafa ÇİMEN'e,

Hem akademik yaőamımda hem iş hayatımda hem de bu çalıőmanın hazırlanma sürecinde yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Aydın ULUCAN, Kazım Barış ATICI ve Mehmet SOYSAL'a,

Tüm amaçlarımı anlamlı hale getiren, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen sevgili annem Hüsniye ALYAPRAK ve babam İsmail ALYAPRAK'a,

Yardıma ihtiyacım olduğunda, ilgisini kaybetmeden yardımını esirgemeyen değerli oda arkadaőım Cem MENTEN'e

Asıl evim gördüğüm Hacettepe niversitesini evim yapan değerli hocalarıma ve çalışma arkadaőlarıma,

Çalışma boyunca bana destek ve motivasyon sağlayan tüm dostlarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

ÖZET

ALYAPRAK, Nizameddin. *Sürekli Talep ve Yüke Bağlı Enerji Tüketimi Varsayımları ile Tesis İçi Elektrikli Araç Çizelgeleme Problemi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2021.

Fosil yakıt kullanımı çevre için tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, geleneksel araçlar zamanla daha az zararlı olan alternatifleriyle değiştirilmektedir. Bu dönüşüm ile birlikte elektrikli araç teknolojisi, lojistik alanında artan eğilimle tercih edilen teknolojilerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna rağmen, pil gücü ile çalışan elektrikli araçların sınırlı menzilleri ve uzun şarj süreleri ek kısıtlamalar getirmektedir. Bu çalışmada, elektrikli araçların yukarıda belirtilen dezavantajları göz önünde bulundurularak, tesis içi elektrikli araç çizelgeleme problemi için bir Karmaşık Tam Sayılı Programlama modeli önerilmektedir. Ele alınan problemde, iş istasyonlarından atık toplamak için elektrikli aracın kullanıldığı varsayılmaktadır. Model, elektrikli araçla ilgili kısıtlamaları karşılarken ön tanımlı rotaların kullanılmasıyla aracın minimum enerji tüketimi ile çizelgelenmesini amaçlamaktadır. Taşımacılıkta kullanılan araçların enerji tüketimi taşıdığı yük miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Oluşan talebin doğru tahmin edilmesi, verilen kararların uygulanabilirliği açısından önemlidir. Oluşturulan matematiksel model ile, üretim tesisinde oluşan atık miktarı sürekli talep varsayımı ile hesaplanmaktadır. Yapılan literatür araştırmasına göre bu çalışma, elektrikli araçlar için sürekli talep ve yüke bağlı enerji tüketimi varsayımları ile araç çizelgeleme problemlerini ele alan ilk çalışmadır. Modelin katma değerini gösteren sayısal bir örnek sunulmaktadır.

Anahtar Sözcükler:

Araç Çizelgeleme Problemi, Elektrikli Araçlar, Sürekli Talep, Yüke Bağlı Enerji Tüketimi, Döngüsel Sefer.

ABSTRACT

ALYAPRAK, Nizameddin. *In-Plant Electric Vehicle Scheduling Problem with Continuous Demand and Load-Dependent Energy Consumption Assumptions*, Master's Thesis, Ankara, 2021.

The trend towards making all business operations more environmentally-friendly increases the use of electric vehicles in all levels of supply chains. Due to the environmental damage of fossil fuels, conventional vehicles are gradually replaced with less harmful alternatives. Among them, electric vehicle technology appears to be one of the most preferred technologies in logistics. However, vehicles with electric batteries impose additional restrictions due to their limited range and relatively longer charging times. The energy consumption of vehicles also depends on the load it carries. In this study, we propose a Mixed Integer Programming model for an in-facility electric vehicle scheduling problem, considering the aforementioned properties of electric vehicles. It is assumed that electric vehicles are used for collecting waste from workstations. The model aims to schedule the pre-defined routes while satisfying the electric-vehicle-related constraints. To the best of the authors knowledge, this is the first study that addresses electric vehicle scheduling problems with continuous demand and load-dependent energy consumption. We also present a numerical example which shows the added value of the model.

Keywords:

Vehicle Scheduling Problem, Electric Vehicles, Continuous Demand, Load-dependent Energy Consumption, Milk-run.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: KAVRAMLAR VE LİTERATÜR.....	8
1.1. LOJİSTİK İLE İLGİLİ KAVRAMLAR VE TANIMLAR.....	10
1.2. TEMEL LOJİSTİK PROBLEMLERİ.....	13
1.2.1. Tesis Yeri Seçimi Problemleri	13
1.2.2. Tedarikçi Seçimi Problemleri.....	14
1.2.3. Envanter Yönetimi Problemleri.....	14
1.2.4. Atama Problemleri.....	14

1.2.5. Araç Rotalama Problemi	14
1.2.6. Araç Çizelgeleme Problemi	15
1.3. ARAÇ ÇİZELGELEME PROBLEMİ	15
1.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	16
2. BÖLÜM: PROBLEMİN TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ	23
2.1. PROBLEM TANIMI	23
2.1.1. Yüke Bağlı Enerji Tüketimi	25
2.1.2. Sürekli Talep	26
3. BÖLÜM: SAYISAL ANALİZ	34
3.1. AÇIKLAMA VE VERİLER	34
3.2. ÇÖZÜM METODU	36
3.3. ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ	36
3.3.1. Veri Setinin Tanıtılması	36
3.3.2. Örnek Olay Çözümü ve Analizi	38
3.4. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ	43
3.4.1. Sürekli Talep Varsayımının Olmadığı Senaryo Analizi	43
3.4.2. Yüke Bağlı Enerji Tüketimi Varsayımının Olmadığı Senaryo Analizi	46

SONUÇ	49
KAYNAKÇA	52
EK 1. ORJİNALLİK RAPORU	58
EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU	59
ÖZGEÇMİŞ	60

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Araç çizelgeleme problemi ile ilgili çalışmalarını inceleme tablosu.....	19
Tablo 2. Notasyon tablosu.....	28
Tablo 3. Notasyon tablosu (devam).....	29
Tablo 4. Modelde kullanılan parametre değerleri	34
Tablo 5. Aracın parametreleri.....	36
Tablo 6. Çalışma istasyonlarında planlama ufku boyunca ortaya çıkan toplam atık miktarı (kg)	38
Tablo 7. Çalışma istasyonlarının ortaya çıkardığı atık miktarı (kg/s), kapasiteleri, koordinatları	38
Tablo 8. Döğümler arası mesafe (m).....	39
Tablo 9. Ön tanımlı rotalar ve rotalardaki çalışma istasyonlarının sırası	40
Tablo 10. Rota, şarj ve yük alma kararları.....	40
Tablo 11. Sonuç tablosu.....	41
Tablo 12. Sürekli talep varsayımı olmadan alınan sonuçlar	46
Tablo 13. Yüke bağlı enerji tüketimi varsayımı olmadan alınan sonuçlar	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Literatürdeki yıllık benzer çalışma sayısı	18
Şekil 2. Çalışma istasyonlarının atık durumu	43

KISALTMALAR LİSTESİ

AÇP	Araç Çizelgeleme Problemi
IoT	Nesnelerin İnterneti
AGV	Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (Automated Guided Vehicles)
ARP	Araç Rotalama Problemi
KYEM	Kapsamlı Yaygın Emisyon Modeli
TSP	Gezgin Satıcı Problemi
ACA	Karınca Kolonisi Algoritması (Ant Colony Algorithm)
EVSP	Elektrikli Araç Çizelgeleme Problemi (Electric Vehicle Scheduling Problem)
PTOP	Toplu Taşıma Yönetimi Problemi (Public Transportation Organization Problem)
MVS	Maden Araçları Çizelgeleme Problemi (Mine Vehicle Scheduling Problem)
1D-EVS	Tek Boyutlu Araç Çizelgeleme Problemi (1D Vehicle Scheduling Problem)
EVMSP	Elektrikli Araçlar Döngüsel Sefer Çizelgeleme Problemi
IPMR	Tesis İçi Döngüsel Sefer Problemi (In-plant Milk-run)
IP	Tam Sayılı Programlama (Integer Programming)
LP	Doğrusal Programlama (Linear Programming)
MILP	Karmaşık Tam Sayılı Doğrusal Programlama
CSP	Kısıt Tatmin Problemi (Constraint Satisfaction Problem)

GİRİŞ

İşletmelerin hayatta kalabilmesi ve kârlılığını devam ettirebilmesi birçok karar verme sürecine bağlıdır. Karar vericinin etkili karar vermesi işletmenin geleceği için oldukça önemlidir. Çalışanların görevlendirilmesi, projelerin yönetimi, imal süreçleri, televizyon programları, araçların hareketleri gibi süreçlerin verimli çizelgelenmesi stratejik karar verme sürecinin bir parçasıdır. Taşıma araçları için rotaların belirlenmesi, fabrika yerleşim planları, hizmet ve ürün kalitesinin artırılması karar verme süreçleri sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde taşıma araçlarının kullanımının artmasıyla, bu araçların doğru yönetilmesi önemli hale gelmiştir. Çizelgeleme terimi, planlanan etkinlikler için sıra ve zaman belirleme olarak özetlenebilmektedir. Bir çizelgede etkinliğin nerede ve nasıl gerçekleşeceği açıklanmaktadır. Bu bağlamda, araçlar için oluşturulmuş bir çizelgede hangi aracın, ne zaman, hangi rotada kullanılacağı bilgisi bulunabilir. Araçların çizelgelenmesi ile işletme maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Araç Çizelgeleme Problemi (AÇP), araç ya da araçların servis zamanlarını en verimli şekilde belirlemeyi amaçlayan bir kombinatoryal optimizasyon problemidir.

Gelişen teknoloji ile araçların kullandığı kaynaklar ve etkileri farklılaşmaktadır. Fosil yakıt kullanan araçlar hava ve ses kirliliğine neden olmaktadır. Aynı zamanda sera gazı emisyonu ve iklim değişikliği ile ilgili dünya çapında oluşan kaygı artmaktadır. Bu da sürdürülebilirlik ve verimli enerji kullanımını önemli konulardan biri haline getirmektedir. Bu sebeple insan ve yük taşımacılığı araştırmaları önem kazanmaktadır. Son yıllarda elektrikli araçların yaygınlaşması ile sürdürülebilirlik konusunda ilerleme kaydedilmiştir.

Elektrikli araçlar, kullanım maliyetleri ve çevresel etkileri ile fosil yakıtla çalışan araçlara göre daha etkin bir alternatif olabilmektedir. Bu araçlar fosil yakıtlı araçlara göre daha düşük karbon gazı salınımı yapmakta ve daha sessiz çalışmaktadır. Elektrikli araçların avantajlarının yanı sıra, kısa menzil ve uzun şarj edilme süresine sahip olması olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bu tür sorunlarla başa çıkmak adına hızlı şarj üniteleri kurulabilmekte ya da hızlı batarya değişim çözümlerine başvurulabil-

mektedir. Karar vericiler maliyetleri düşürmek için bu yöntemleri tercih etmeyebilir. Rekabetin bulunduğu bir ortamda, maliyetler daha da önem kazanacağı için az sayıda elektrikli araç kullanan işletmeler bu tarz kurulum maliyetlerine katlanmak istemeyebilirler. Maliyetler açısından etkili olan ve tesis içerisinde kullanılan taşıma araçları iç lojistik yönetiminin bir parçasıdır.

Küreselleşmenin üst düzeye ulaştığı dünyamızda lojistik yönetimi giderek daha önemli hale gelmektedir. Lojistik yönetimi, işletme faaliyetlerinin birçoğunu içinde barındırmaktadır. Firmalar, pazar payını ve şirket refahını artırmayı hedeflerken düşük maliyetle girdi sağlamak ve kârlılığını olabildiğince artırmak adına lojistikle ilgili süreçleri göz önüne almak durumundadır. Tedarik zinciri yönetimi, üretim yönetimi ve stok yönetimi gibi birçok faaliyet lojistik yönetiminin parçasıdır. Bu faaliyetlerin zaman içerisinde artan önemi endüstri alanında değişikliklere sebep olmaya devam etmektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte fabrikalarda ve depolarda otomasyon sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Firmalar artık disiplinlerarası çalışma ihtiyacı duymuş ve internet üzerinden tüm nesnelerin iletişim ve etkileşim içinde bulunduğu Dördüncü Endüstri Devrimi (Endüstri 4.0) ortaya çıkmıştır (Yıldız, 2018). Endüstri 4.0, bilişim teknolojilerini endüstriyel faaliyetlerde etkin bir şekilde kullanmayı amaçlamaktadır. Bu teknolojiler sayesinde maliyetlerin, harcanan enerjinin ve karbon salınımının azaltılması hedeflenmektedir. Aynı zamanda, Endüstri 4.0 ile üretim hızının, çalışma alanı güvenliğinin ve üretimde esnekliğin artırılması sağlanabilmektedir. Endüstrideki bu değişim için teknolojik gelişmeler katkıda bulunmaktadır. İşletmelerin bu değişime adaptasyonu ve yenilikleri takip etmesi hayatta kalabilmesi için önem arz etmektedir. Sanayileşmenin başlangıcından bu yana teknolojik gelişmeler, “endüstriyel devrimler” olarak adlandırılan büyük değişikliklere yol açmıştır. Bu gelişmelerin ana sebepleri şöyle sıralanabilir;

- Makineleşme (1. sanayi devrimi),
- Elektrik enerjisinin yoğun kullanımı ve seri üretim (2. sanayi devrimi),
- Yaygın dijitalleşme ve otomasyon sistemler (3. sanayi devrimi).

Fabrikalarda gelişmiş dijitalleşme ile birlikte, “akıllı” nesnelere (makinelere ve ürün-

ler), internet teknolojileri ve geleceğe yönelik teknolojilerin kombinasyonu, endüstriyel üretimde büyük bir değişikliğe yol açmaktadır. (Lasi vd., 2014). Akıllı nesnelerin birbirleriyle iletişim kurabilme becerileriyle (Nesnelerin İnterneti - IoT) birlikte otomasyon sistemleri daha etkili ve önemli hale gelmiştir.

Dünyadaki kaynakların kısıtlı olması bu kaynakları daha etkili kullanmak için motivasyon oluşturmaktadır. Firmalar rekabet ortamında daha etkin olmak için kaynak tüketimi konusunda doğru kararlar vermek durumundadır. Yöneticiler kaynak kullanım planlaması yaparken gerçek hayatı matematiksel programlama teknikleriyle oluşturarak etkili kararlar almaya çalışmaktadır. Dantzig ve Thapa, 1997 matematiksel programlamayı “*değişkenler üzerindeki doğrusal, doğrusal olmayan veya tam sayı kısıtlamalarına tabi bir nesnel işlevi maksimize veya minimize etme yöntemleriyle ilgilenen matematik dalı*” olarak tanımlamıştır.

Fabrika ve depo ortamlarının otomatikleşmesiyle oluşturulan otomatik sistemlerin kullanım planları daha uygulanabilir hale gelmiştir. Maliyetleri azaltma amacıyla, otomatikleşmiş araçlar için çizelgeler oluşturulmaktadır. Bu araçların çizelgelenmesinin gerekliliği bazı varsayımlardan doğmaktadır. Tesis ve depolarda kullanılan araçlara olan ihtiyaç gün boyu aynı olmayabilir, araçların doluluk oranı da göz önünde bulundurulduğunda araçlardan sabit zaman aralıklarıyla hizmet almak etkili bir yöntem olmayabilir. Aynı zamanda bir aracın fazladan sefere çıkması aşınma payı, daha yüksek enerji tüketimi gibi maliyetlere sebep olabilir.

Araç tarafından taşınan yükün miktarı bataryanın tükenmesini etkileyen önemli bir faktördür. Elektrikli araç rotalama problemi çözülürken yükün dikkate alınması, rota kararlarının değişmesinde önemli bir etkidir (Kancharla & Ramadurai, 2018). Dolayısıyla, araçları rotalara atadığımız bir çizelgeleme probleminde taşınan yük miktarı probleminin çözümünü etkileyecektir.

Araç çizelgeleme probleminde çizelge, aracın varış ve kalkış saatlerini gösterir. Bu problem, faaliyetlerin yürütülmesi gereken zamanlarla ilgili ek kısıtlara sahip bir rotalama problemi olarak görülebilir (Vis, 2006). Kullanılan araçlar için rota ve çizelgenin belirlenmesi sistemin performansını etkileyecektir. Bir görevin süresinin uzaması durumunda diğer işlerin gerçekleştirilme süreci de uzayacaktır. Bu nedenle araçların rotalanması ve çizelgelenmesinin amaçlarından biri de yüklerin taşıma sürelerini

en aza indirmek olabilir. Araç çizelgeleme problemlerine genel bir bakış ve çözüm yöntemleri için Bunte ve Kliewer (2009)'in çalışması incelenebilir.

Otomatik yönlendirmeli araçlar (Automated Guided Vehicles - AGV) ilk olarak 1955 yılında ortaya çıkmıştır (Muller, 1983). Gelişen teknoloji ile üretim, depo ve dağıtımda otomatik yönlendirmeli araçlar yaygınlaşmaya başlamıştır. AGV'ler satın alma sürecinde yüksek yatırım maliyetleri oluşturmaktadır. Ancak elektrikli araçlar, bakım ve enerji maliyetlerinin düşük olması sayesinde önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır (Peterson & Michalek, 2013). Aynı zamanda otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV) insan müdahalesine sürekli olarak ihtiyaç duymadıkları için gün boyu çalışabilirler. Bu yönüyle gerekli insan gücünü de azaltabilmektedir. Bunlara ek olarak, AGV'ler kazalardan kaynaklanan güvenlik ve sigorta maliyetlerinin azalmasına katkı sağlayacaktır (Bostelman vd., 2014).

AGV'lerin verimli kullanılması lojistik süreçlerde üretkenliği ve hizmet kalitesini artırır. Örneğin yolcular havaalanlarında personele ihtiyaç duymadan AGV'lerle bagajlarını teslim edebilirler (Ghee & King, 2014). Bu araçlar çalışma süreçlerinde bir operatöre ihtiyaç duymaz; bu sayede belirli rota ve çizelgelerle yüksek verimle hizmet verebilirler.

1972 yılında Birleşmiş Milletler İnsan ve Çevresi Konferansı'nda BM ülkeleri, çevre konusunda bir araya gelmiştir. Konferans sonrasında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu kurulmuştur. Sürdürülebilirlik terimi bugünkü anlamıyla ilk kez 1987'de bu komisyon tarafından oluşturulan "Brundtland Raporu"nda kullanılmıştır (Brundtland vd., 1987). Bu raporda sürdürülebilirliğin tanımı, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerinden ödün vermeden mevcut neslin ihtiyaçlarını karşılama çabası olarak verilmiştir. Engardio vd. (2007) sürdürülebilirliği, "gelecek nesillere zarar vermeden, insanlığın ihtiyaçlarını karşılamaları" olarak tanımlamıştır. Sürdürülebilir teriminin kelime anlamı "zaman içerisinde korunabilen"dir.

Lojistiğin gelişmesiyle birlikte tüketicilerin ürünlerin kaynağına olan uzaklığının önemi azalmaktadır. Artan nüfus ve e-ticaretin gelişmesiyle birlikte şehirlerdeki dağıtım hizmetlerine duyulan ihtiyaç önemli ölçüde artmıştır. Dağıtım hizmetlerinden kaynaklanan kirlilik çevreye zarar vermektedir. Bu hizmetler, Avrupa'daki trafik akışının %30'unu oluşturmakta ve önemli miktarda gürültü kirliliğine, trafik kazalarına ve

sera gazı emisyonuna neden olmaktadır (Dablanc, 2007). Hava kalitesinin azalması, küresel ısınma gibi problemler sürdürülebilirlik bilincini artırmaktadır. Lojistiğin sürdürülebilirlik kaygılarından önemli ölçüde etkilenmesinin sonucu olarak, son yıllarda sürdürülebilir kentsel dağıtım planlaması üzerine yapılan çalışmaların sayısında artış görülmektedir (Dündar vd., 2020). Şehirlerin ve çalışma ortamlarının sürdürülebilirlik hedefleri çevre dostu araçlara yönelimi artırmaktadır.

Taşımacılıkta fosil yakıtlı araçların kullanılması bölgesel hava kalitesine ve iklime zarar vermektedir. Bu durum, CO₂ ve nitrojen oksit gibi zararlı hava kirleticilerin egzoz emisyonlarından kaynaklanmaktadır (Józwicka, 2018). Hava kirliliği ve iklim değişikliğiyle ilgili yeni politikalar ortaya konmazsa, taşımacılıktan kaynaklanan sera gazı emisyonu miktarının 2030'a kadar %50, 2050'ye kadar ise %80 artacağı tahmin edilmektedir (Ma vd., 2012). Trafik yoğunluğunun olduğu bölgelerdeki sorunlardan biri de gürültü kirliliğidir. Trafik gürültüsü; uyku bozukluğu, kardiyovasküler hastalıklar ve hipertansiyon gibi birçok sağlık sorunuyla ilişkilendirilmiştir (Rojas-Rueda vd., 2017).

Elektrikli araçlar konvansiyonel araçlara kıyasla daha düşük maliyetle çalışmaktadır. Bu araçlar aynı zamanda çevre dostu araçlardır. Bu sebeple elektrikli araçlar, lojistik ve sürdürülebilirlik çalışmalarında dikkat çeken bir konu olmuştur. İnsan kaynaklı küresel ısınmanın %65'ini fosil yakıtların kullanımı oluşturmaktadır (Hannappel, 2017). Bu bağlamda, küresel ısınmaya insan etkisinin en büyük payı dizel ve benzin gibi fosil yakıtların kullanımınıdır. Elektrikli araçlar, her kilometrede, konvansiyonel araçların yaydığı ısının %19.8'ini yaymaktadır (C. Li vd., 2015). Aynı zamanda elektrikli araçların, fosil yakıtlı araçlardan farklı olarak hidrokarbon yakmadığı için, atmosfere küresel ısınmaya sebep olan sera gazı yaymadığı söylenebilir.

Tesis içi lojistik, son kullanıcıya ürün sağlamakla sonuçlanan işletme içerisindeki faaliyet zincirini ifade eder (Basnet, 2013). Dışsal lojistik, işletme içerisinde faaliyet göstermeyen tedarikçiler, distribütörler ve diğer aktörlerden oluşurken, tesis içi lojistik, sarf malzemelerin işletme içinde dağıtımını gibi faaliyetleri içermektedir (Rivard-Royer vd., 2002). Tesis içi lojistik yönetimi, işletme içerisindeki çok sayıda süreci içermektedir. Tesis içi lojistiğin verimli yönetilmesiyle tüketici memnuniyeti ve işletme performansı artacaktır (Ellinger vd., 1997).

Organizasyonlar kaynaklarının kullanım zamanlamasını belirlemelidir. Ekipmanlarının, üretim istasyonlarının ve insan faaliyetlerinin çizelgelenmesi önemlidir. Çizelgelemenin amacı; araçların, personellerin, üretim süreçlerinin verimli kullanılması, işlem süresinin kısaltılması veya enerji ve maliyetin azaltılması olabilir. Toplu taşıma araçlarının, posta ve banka teslimatlarının, kar küreme araçlarının faaliyetlerinin planlanması çizelgeleme probleminin örnekleri olabilir.

AGV'ler, çalışma istasyonları ve depolarda tesis içi lojistik süreçleri desteklemektedir. Bugün birçok işletme ham maddenin tesis içerisindeki fiziksel dağıtımını ve atık toplamasını bu araçların kullanılması ile gerçekleştirmektedir. Bu araçlar üretim süreçlerinin hızlanmasında da rol oynamaktadır.

Çalışmada atık toplama sürecinde kullanılan elektrikli bir araç çizelgenecektir. Bu sürecin etkin yürütülmesi için elektrikli araçlarla ilgili varsayımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tezde kullanılan iki temel varsayım sürekli talep ve yüke bağlı enerji tüketiminin hesaplanmasıdır. Üretim tesislerinde bulunan çalışma istasyonlarının atık üretimi sürekli olarak oluşmaktadır. Problem çözümünde oluşan atığın tamamının önceden belirlenmesi veya belli parçalara ayrılması varsayımları, toplanan atık miktarının gerçekçi olmamasına sebep olacaktır. Aracın çalışma istasyonuna ulaştığı andaki geçmiş zaman dikkate alınmadığında, o istasyonda oluşan atığın miktarının gerçekte ne kadar olduğu bilinemeyecektir. Sürekli talep varsayımı ile planlama ufku boyunca çalışma istasyonlarında oluşan atık miktarı dinamik olarak hesaplanacaktır.

Bu tezde, yüke bağlı enerji tüketimi ve sürekli talep varsayımlarının dahil edildiği elektrikli araç çizelgeleme problemi için yeni bir model sunulmaktadır. Bu modelde geçen zamanın sürekli takibi ile aracın şarj durumu, şarj için geçen süre, başlangıç stoğu, aracın bekleme süresi planlama süreci boyunca hesaplanmaktadır. Optimal çözümde alınan sonuç, harcanan enerjinin minimizasyonu esasına dayandırılacaktır.

Elektrikli araçların katedebileceği mesafe sınırlıdır. Aynı zamanda aracın kullanacağı enerji kaynağının yenilenmesi konvansiyonel araçların aksine kayda değer bir zaman almaktadır. Elektrikli araçların enerji tüketiminin doğru hesaplanmaması durumunda kalan menzili doğru tahmin edilemeyecektir. Bu bağlamda, tesis içinde yük taşımak için kullanılan elektrikli araçların değişkenlik gösteren enerji tüketiminin takibi gereklidir. Aracın harcadığı enerji, aracın toplam ağırlığına göre güncel olarak hesap-

lanmaktadır. Harcanan enerji Barth vd. (2004)'ın Kapsamlı Yaygın Emisyon Modeli ile hesaplanacaktır.

Bu tezin amacı, gerçek hayatta var olan veriler göz önünde bulundurularak araç çizelgeleme probleminin çözümünde daha gerçekçi sonuçlar elde etmektir. Araç çizelgeleme problemlerinde henüz sürekli talep ve yüke bağlı enerji tüketimi varsayımları ile oluşturulmuş matematiksel bir model bulunamamıştır. Bu tezde, ön tanımlı rotalar ile oluşturulan bir üretim tesisi ortamındaki aracın harcayacağı enerjinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Yapılacak sayısal analizler ile doğru bir enerji tüketiminin nasıl yapılabileceği konusuna ışık tutulacaktır. Sayısal analizler bu tezde öne sürülen ana varsayımların yokluğunda oluşacak durumlarla karşılaştırılacaktır.

Tezin içeriği şu şekilde özetlenebilir;

Bölüm 1 - Kavramlar ve Literatür: Bu bölümde lojistik yönetimine dair bilgiler yer alacaktır. Lojistik yönetiminin ve tersine lojistik kavramının önemi ve tanımı bu bölümde açıklanacaktır. Lojistik ile ilgili kavramlar ve tanımlar bu bölümde gösterilecektir. Aynı zamanda, temel lojistik problem türlerine yer verilecektir. Bölümün devamında araç çizelgeleme problemlerine ilişkin literatürün araştırma sonuçları gösterilecektir.

Bölüm 2 - Problem Tanımı ve Matematiksel Model: Bu bölümde, tezde oluşturulan yeni modele ilişkin bilgiler yer alacaktır. Problemin tanımının ardından yüke bağlı enerji tüketimi ve sürekli talep açıklanacaktır. Daha sonra, optimal enerji tüketimi için oluşturulan matematiksel model, notasyon tablosuyla birlikte verilecektir.

Bölüm 3 - Sayısal Analiz: Bu bölümde, tezde oluşturulan matematiksel modelin çözümüyle alınan optimal sonuç verileri incelenecektir. Bu tezde önerilen modeldeki ana varsayımların olmadığı senaryolar ayrıca çözülecektir. Optimal çözümde alınan sonuçlar, yüke bağlı enerji tüketimi olmayan çözüm sonuçlarıyla ve sürekli talep varsayımı olmayan çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır.

Sonuç: Bu bölüm, tezin konusunun ve alınan sonuçların bir özeti olacaktır. Geliştirilen model ve sayısal analizler üzerine bir değerlendirmeyi içerecektir. İleriye dönük olası çizelgeleme problemi varsayımlarını ortaya koyacaktır.

BÖLÜM 1

KAVRAMLAR VE LİTERATÜR

Lojistik, kaynak noktasından tüketim noktasına taşınan malların ve/veya verilen hizmetlerin akışını verimli bir şekilde yönetme ve ürünlerin depolanmasını planlama ve kontrol etme süreci olarak tanımlanmıştır (Council of Logistics Management, 1998). Jonsson ve Mattsson (2013) tarafından lojistik “*müşterinin veya diğer ilgili tarafların ihtiyaç ve isteklerini karşılamak amacıyla, ürünlerin üretilip son kullanıcıya ulaştırılmasından geri çağırılmasına kadar gerçekleşen malzeme akışındaki tüm faaliyetlerin planlanması, organizasyonu ve kontrolü*” olarak tanımlanmaktadır.

Lojistik, malzemelerin bir noktadan diğerine ulaştırılması olarak görülebilmektedir. Ancak ürünlerin bir noktadan başka bir noktaya iletilmesi faaliyeti taşımacılık olarak adlandırılmaktadır. Aslında lojistik; taşıma süreçlerinin yanı sıra yönetme, işletme ve satın alma süreçlerini de içeren işlerin sorumluluklarını da kapsamaktadır. Bu faaliyetler genel olarak nakliye yönetimi, filo yönetimi, lojistik ağ tasarımı, envanter yönetimi, arz/talep planlaması ve üçüncü taraf lojistik hizmetlerinin yönetimini içerir. Aynı zamanda üretimin planlanmasını ve çizelgelenmesini, paketleme-montaj süreçlerini ve satış sonrası hizmetleri de içerebilmektedir. Örneğin iyi bir müşteri hizmetleri servisi sağlamak, üretim maliyetlerini düşürmek, çevresel etkileri azaltmak lojistiğin amaçlarından olabilmektedir.

Lojistiğin ana amacı; doğru miktardaki doğru ürünü, olabildiğince düşük maliyetlerle ve doğru zamanda teslim etmektir. Bu işlemlerden birinin dikkate alınmaması, müşteri kayıplarına, şirketin rekabet avantajını kaybetmesine ve pazar payının gerilemesine neden olabilmektedir (Parashkevova, 2007). Lojistik, temelde, planlama ve organize etmektir. Lojistik destek olmadan bir işletmenin ayakta kalması olanaksızdır. Üretilmesi planlanan bir ürün, ham madde halinden son kullanıcıya ulaşana kadar

lojistik süreçlerden geçmektedir.

Lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde akış genellikle tedarikçiden son kullanıcıya doğrudur. Tamir, geri bildirim, geri çağırılma gibi sebeplerle ürün ve hizmetlerde kullanıcıdan tedarikçiye doğru gerçekleşen akış, tersine lojistik ve tersine tedarik zinciri kavramlarının doğmasına sebep olmuştur.

Tersine lojistik kavramının literatürdeki ilk tanımlardan biri Lambert ve Stock (1982) tarafından yapılmıştır. Bu tanıma göre; ürünlerin geri dönüşümleri, kaynak azaltılması, geri kazanım, materyallerin ikamesi ve yeniden kullanılması, atıkların yok edilmesi, tamiri ve yeniden üretimi tersine lojistiğin rolüdür. Tersine lojistik, nihai varış yerlerinden ilk üreticiye veya bunları işleyen bir tesis yönüne olan ürün akışlarıyla ilgilenen lojistik sektörüdür (Ghiani vd., 2013). *“Tersine lojistik kavramı, dünya nüfusunun artmasının karşısında ham madde miktarının azalmasından dolayı, ham madde yerine kullanılacak malzemeleri geri dönüşüm ile elde etme ihtiyacından doğmuştur”* (Şengül, 2011). Tersine lojistik; ürünlerin onarım, yeniden kullanım veya yok etmek amacıyla iade edilebilmelerini sağlayan sistemler ve süreçler oluşturarak işletmelerin sosyal sorumluluklarını yerine getirmelerine ve itibarlarını korumalarına yardımcı olur (Trappey vd., 2010).

Tersine lojistiğin amacı ürün değerinin korunması veya ürünün uygun şekilde yok edilmesini sağlamaktır. Tersine lojistik; ham maddelerin, süreç içi stokların, nihai ürünlerin ve ilgili bilgilerin tüketim noktasından üretim noktasına doğru olan akışından oluşur. Tersine lojistik yönetimi, bu süreçlerin etkili ve maliyet açısından etkin olacak bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolü olarak düşünülebilir.

Tersine lojistik sürecindeki bir ürün, birçok farklı sebeple bu tersine gönderim/dağıtım ağına girebilir. Bu sebeplerin bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- ürünün potansiyel ham madde veya üretim fazlası olması
- kalite kontrolden geçememiş olması
- yanlış ya da hasarlı teslimat yapılmış olması
- ürünün son kullanım tarihinin geçmesi
- garanti kapsamındaki geri dönüşler

- ürün servis ve tamiri
- ürünün hata sebebiyle geri çağırılması

1.1 Lojistik ile İlgili Kavramlar ve Tanımlar

- **Araçlar:** Noktalar arasında taşıma işleminde kullanılan cihazlardır. Karar vericiler araçların kullanımını planlarken problemlerin çözümünde bazı varsayımları göz önünde bulundurmalıdır. Bir aracın, kullanım amacına göre taşıma kapasitesi kısıtı dikkate alınabilir. Kapasite, büyük hacimli ürün transferinde önemli bir kısıtlamayken, veri transferi gibi küçük hacimli transferlerde göz önünde bulundurulmayacaktır. Kullanılan araçlar, elektrikli araçlar ve içten yanmalı motora sahip benzinli veya dizel araçlar başta olmak üzere farklı çalışma prensiplerine sahip olabilirler. Bu varsayımlar problemin yapısını değiştirecektir. Örneğin elektrikli araçların kısıtlı menzilleri ve uzun şarj edilme süreleri problemi etkileyecektir. Araçların kullanım amaçları birbirinden farklılık gösterebilir (iç mekanda kullanılan araçlar, depo içerisinde ve çevresinde yük taşıyan araçlar, uzun mesafeli yük taşıyan araçlar, toplu taşımada kullanılan yolcu araçları vb.). Aynı zamanda araçların satın alma, yakıt kullanımı, aşınma payı gibi maliyetleri karar süreçlerine dahil edilebilir.
- **Atık:** Kullanılamaz duruma gelmiş ya da istenmeyen malzemelere atık denir. Atıklar genellikle birincil kullanımdan dolayı ortaya çıkar. Bunlar değersiz, kusurlu ya da fayda sağlamayan maddelerdir. Geri dönüşümü olmayan bu maddelerin yok edilmesi süreci bir lojistik problemidir. Atıkların dahil olduğu tersine lojistik sürecinin doğru yönetilmemesi durumunda fazla maliyetler, üretim sürecinin ve hızının olumsuz etkilenmesi gibi durumlar ortaya çıkacaktır. Atıkların sıklıkla taşınması fazladan enerji harcanmasına neden olabilir. Geç toplanan atıklar, kapasite aşımından dolayı çalışma istasyonu üretiminin durmasına sebep olabilir. Günümüzde içsel lojistik süreçlerinde çoğunlukla AGV'ler kullanılmaktadır. Atıkların çalışma alanlarının dışına taşınması sürecinde kullanılan AGV'lerin etkin bir şekilde planlanması, üretimin olumsuz etkilenmemesi ve maliyetler açısından önemlidir.
- **Dağıtım:** Tamamlanmış malların müşterilere ulaşmasına kadar gerçekleştirilen

faaliyetler ‘fiziksel dağıtım’ veya ‘pazarlama lojistiği’ olarak adlandırılmaktadır (Arlı, 2009). Dağıtım, ürünlerin belirtilen zaman, miktar vb. koşullara uygun olarak, belirtilen yerlere sevk ve teslim edilmesi (gönderilmesi) için gerçekleştirilen işlemler bütünüdür. Günümüzde verimli lojistik sistemleri ile, üreticilerin ürünlerini doğrudan müşteriye ulaştırılması sağlanabilmektedir. Bu sebeple, işletmeler dağıtım süreçlerine daha fazla dahil olmaktadır. Perakende satıcıların depolama maliyetlerini azaltmak istemesi gibi sebeplerle üreticilerden daha sık ve hızlı dağıtım yapmalarını talep etmeye başlaması dağıtım süreçlerini önemli ölçüde etkilemektedir.

- **Düğüm:** Matematiksel bir modelde düğümler fiziksel bir konumu, bir çalışanı ya da zaman çizelgesinde bir ânı temsil edebilir. Bir problemin modellenmesinde düğümler nokta olarak gösterilir. Problem yapısına göre değişmekle birlikte düğümler genellikle talep noktalarını göstermektedir. En kısa ifadeyle bir düğüm, bir coğrafi konumu gösterir.
- **Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (AGV):** Otomatik yönlendirmeli araçlar bir merkezden kontrol edilen, operatöre ihtiyaç duymadan otonom olarak çalışabilen araçlardır. Genellikle malzemelerin bir noktadan başka bir noktaya taşınmasında veya istiflenmesinde kullanılan otomatik çalışan sistemlerdir. Bant, ray veya kablo ile ya da lazer veya navigasyon sistemiyle takip edecekleri rotada hareket ederler. Ray, bant gibi önceden tanımlı rotalara bağımlı AGV’ler için yeni rotaların eklenmesi ve rotalarının değiştirilmesi ekstra maliyet oluşturmaktadır. Kullanıcıdan bağımsız çalışan AGV’ler, bataryaları tükendiğinde şarj istasyonuna dönerek kendilerini şarj ünitesine bağlayabilir. AGV’ler ayrıca, üretim, depo ve dağıtım gibi bölümlerde insan kaynaklı meydana gelen iş kazalarını azaltmaktadır.
- **Rota/Güzergah:** İnsan, mal, araç, hizmet veya bilginin hareket edeceği yoldur. Rota; başlangıç ve bitiş noktalarını birbirine bağlar, toplama veya teslimat sırasında araç tarafından takip edilecek yolu gösterir.
- **Stok/Depo:** Stok gelecekte oluşabilecek gereksinimlere karşı genellikle depolarda bulundurulmuş malzemedir. Şirket için temel gelir sağlama ve ilerleyen süreçte kazanç yaratma kaynaklarından birini temsil eder. Depo ise, malzemelerin

çeşitli amaçlarla ve farklı dönemlerde kullanılmak üzere korunduğu ve istiflendiği, malzeme tipine göre tasarlanmış, kapalı veya açık alanları ifade eder.

- **Stok Yönetimi:** Depolanan mal veya hazır hizmetin miktarı, ne kadar süre boyunca kullanılabileceği, ne kadar zamanda, ne kadar ürün veya hizmet üretileceği gibi konularla ilgilenir. Üretimin düzenli, sürekli ve düşük maliyetle devam etmesini amaçlar. Stok-envanter yönetimi, yıllar geçtikçe lojistik sistemlerinin yönetiminde daha çok belirleyici bir rol oynayan kilit bir lojistik faaliyetidir.
- **Talep:** Bir malzemenin belirli bir miktarı için ortaya çıkan gereksinimdir. Talep miktarı önceden biliniyorsa ‘deterministik talep’, bilinmiyorsa ‘stokastik talep’ olarak adlandırılmaktadır. Bir problem modellenirken amaç, çoğu zaman talebi karşılamak olarak belirlenmektedir. Talep, bir işletmenin varlığını sürdürebilmesi için hayati öneme sahiptir. İşletmedeki tüm süreçler talep durumuna göre değişebilmektedir. Bu bağlamda talebin doğru incelenmesi oldukça önemlidir.
- **Talep Noktası:** Taleplerin oluştuğu coğrafi konumu ifade eder. İşletme, gereksinimleri bu noktada karşılamayı amaçlar. İçsel lojistikte, tesis içerisindeki talep noktası çalışma istasyonları olabilir. Üretim sürecindeki ham madde ve atıkların toplanması ihtiyacı çalışma istasyonlarında oluşmaktadır. AGV’lerin kullanıldığı birçok tesiste bu araçlar, depo ile talep noktaları arasında hareket halindedir.
- **Taşıma:** Malların ve kişilerin bir yerden bir yere götürülmesi veya bu tür bir hareketin gerçekleştirilmesidir (The Editors of Encyclopaedia Britannica, n.d.). Taşıma veya ulaştırma, insanların, hayvanların, malların veya bilginin bir yerden diğerine ulaştırılmasıdır. Hava, kara, deniz, kablolu iletişim yolları, boru hatları veya uzay, taşıma yolu olarak kullanılabilir.
- **Tedarik Zinciri Yönetimi:** Doğrudan ya da ikinci kademe tedarikçilerle, müşterilerle ve diğer tedarik zinciri unsurlarıyla olan ilişkileri ve süreçleri yönetmektir (Harland, 1996). Ham maddelerin mamüllere ya da iş gücünün hizmete dönüştüğü süreçte, ürün ve bilginin ilk tedarikçiden başlayarak son kullanıcıya ulaşmasına kadar geçen sürecin yönetimi tedarik zinciri yönetimidir. Tedarik zinciri yönetiminin amaçları şu şekilde ifade edilebilmektedir;

- Üretilen ürün ya da hizmetin değerinin artırılması,
- Rekabet edebilme becerisinin artması,
- Üretim sürecinin yönetilmesi,
- Talep ve üretim dengesinin sağlanması,
- Tüm tedarik zincirinin sürekli iyileştirilmesi.

Bunları sağlarken sipariş ve üretim yönetimi, üretim çizelgeleme, envanter yönetimi ve satın alma yönetimi gibi araçlar kullanılmaktadır.

- **Üretim:** Malzeme, işçilik, enerji, makine vb. üretim kaynaklarını kullanarak kullanıcılar için yararlı ürün ve/veya hizmetler oluşturulmasıdır. Başka bir deyişle basit girdiler ile kullanılabilir çıktılar yaratmaktır.
- **Yay/Ark:** Taşıma süreçleriyle ilgili problemler düğümlerden ve yaylardan oluşmaktadır. Yaylar, problemdeki düğümleri bağlayan başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki hatlardır. Düğümler arasındaki akış ise arklar ile gösterilir. Bu arklar yolun her iki yönünü ifade eder. Yaylar ise bu hatların tek bir yönünü gösterir. Bir araç rotalama ve çizelgeleme probleminde araçlar, bu yaylar üzerinde hareket eder. İki düğüm arasındaki gidiş ve dönüş yayların özdeş olması durumunda bu yapıya simetrik sistem denir. Bir problem modellenirken yayların trafik yoğunluğu, hız, eğim gibi parametrelere sahip olduğu varsayılabilir.
- **Yük:** Taşınan mal veya üründür. Yükler deniz, hava veya kara yoluyla taşınabilir.

1.2 Temel Lojistik Problemleri

Lojistik alanında karşılaşılan bazı problem türleri aşağıda sıralanmıştır.

Tesis Yeri Seçimi Problemleri: Tesis yeri seçimi problemi; yeni tesislerin sayısı, konumu ve büyüklüğü gibi kararları ele alır. Bunların haricinde amaç, mevcut tesislerin elden çıkarılması, tesis yerlerinin değiştirilmesi veya küçülmeye gidilmesi de olabilmektedir. Ana kriterler; ham maddeye yakınlık, enerji, işçilik gibi ekonomik faktörlerden, iklim ve arazi gibi doğal faktörlerden, hava ve ses kirliliği gibi sosyal

faktörlerden oluşur. Tesislerin kullanıldıkları süreçlere göre her bir kriter farklı derecede öneme sahip olabilir. Örneğin, ithalat/ihracat kalemi önemli yer tutan işletmeler limanlara yakın olmayı tercih edebilir.

Tedarikçi Seçimi Problemleri: Tedarikçi seçim problemi, olası tedarikçilerin performansını analiz etmek ve sıralamak için kullanılan bir karar verme problemidir. En çok göz önünde bulundurulmuş kriterler; ürün kalitesi, sözleşme şartları ve tedarikçinin performans geçmişi'dir. Bu ve benzeri kriterlerin her biri karar verici için farklı derecede öneme sahip olabilir. Örneğin, ürünlerinin kalitesine odaklanan bir işletme kalite kriterlerine daha fazla önem verirken, stok maliyetlerini azaltmakla ilgilenen bir işletme tedarikçilerinin coğrafi konumunun yakın olmasını tercih edecektir.

Envanter Yönetimi Problemleri: Envanter yönetiminin amacı, siparişin ne zaman verileceği ve sipariş miktarı gibi envanter durumuyla alakalı süreçlere karar vermektir. Ürünlerin kapladığı alan ve tahmini talep miktarı gibi kriterlere göre depolanacak ürüne karar verilebilir. Depolanacak ürünlerin kullanıma uygun süreleri, kapladıkları alan, depo kapasitesi veya üretim noktaları ile depolar arasındaki mesafe kriter olabilir. Depo yönetimi problemlerinin çözümünde amaç, deponun etkin ve verimli yönetimidir. Diğer bir deyişle, malın depolanması ve dağıtılması işleminin en kısa sürede veya en az maliyetle yapılması olarak ifade edilebilir.

Atama Problemleri: Atama problemi, çalışan, makine veya araç gibi kaynakları bir takım görevler ile eşleştirmeye ilgilene bir doğrusal programlama problemidir. Problem çözümü ile maliyet veya harcanan zamanın en küçüklenmesi ya da kar veya satışın en büyüklenmesi şeklinde çözüm aranabilir. Örneğin problemde 6 farklı taşıma aracı ve atanılması gerek 6 farklı iş olabilir. Bu durumda, hangi işin hangi araçla yapılacağına karar verilmesi gerekmektedir.

Araç Rotalama Problemi(ARP): Araç rotalama problemi, bir dizi düğüm ve yay içeren rota seçim problemi olarak tanımlanabilir. ARP, depodan başlayan ve bir dizi talep noktasına giden en iyi teslimat veya toplama yollarını bulmayı amaçlamaktadır. Problemin çözümü ile en düşük maliyetle araç döngülerinin belirlenmesi veya

toplam talebin karşılanması hedeflenebilmektedir. Rotalama yapılırken noktalar arası mesafe ve süre gibi kriterlere göre karar verilebilir. ARP'ler genellikle bir/birkaç depo merkezli, talep noktaları ve arkları içeren, en düşük maliyetle araç döngülerinin belirlenmesinden oluşur.

Araç Çizelgeleme Problemi: Araç çizelgeleme, araç kullanım maliyetlerini indirmeyi amaçlayan, başlangıç ve bitiş zamanlarına sahip, önceden tanımlı bir dizi rotaya araç tahsis etme problemidir. Araç çizelgeleme problemleri depo sayısı, araç tipi, mesafe ve talep miktarı gibi parametreler içerebilir. Problemin çözümü ile, filo büyüklüğüne ve hareket zamanlarına karar verilebilir, böylece araç kullanım maliyetleri azaltılabilir. Örneğin şehir içi toplu taşıma araçlarının hareket saatlerinin bir çizelgeye göre düzenlenmesi araç çizelgeleme problemi ile sağlanabilmektedir.

1.3 Araç Çizelgeleme Problemi (AÇP)

Bu tez çalışmasında ele alınan problem bir Araç Çizelgeleme Problemidir. AÇP, toplu taşımada/yük taşımada araç ya da araçları zaman çizelgesine atamaktan oluşur. Araç Çizelgeleme Problemi ilk kez 1959'da Dantzig ve Ramser tarafından çalışılmıştır (Christofides & Eilon, 1969). Bu problem, taşımacılık verimliliğini artırmayı ve/veya taşımacılık maliyetlerini azaltmayı amaçlayan yük taşıma sisteminden oluşmaktadır. Ana varsayımlarından biri, araçların yakıt ikmali için belirli bir vakit alacağı olabilir. Araçların yakıt ikmali yapılmadığında kısıtlı bir menzile sahip olacağı söylenebilir. Bu problemi çözmek için geleneksel matematiksel programlama yöntemleri, atama problemine dayalı algoritmalar, tabu arama algoritması ve benzeri birçok yöntem vardır. Problem "NP-Zor" kategorisinde olduğu için optimal veya tatmin edici çözüme ulaşmak zordur. Bu yüzden büyük ölçekteki problemler için sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Döngüsel sefer (Milk-Run) tedarik zincirindeki malzeme akışının sürekliliğini sağlar. Belli periyotlara ayrılmış olarak faaliyet gösteren bir döngüsel sefer uygulaması; tek bir merkeze, birden çok tedarikçiden malzeme alarak elde bulundurulmuş envanteri azaltmayı ve teslimat sürelerinin tahmin edilebilir olmasını hedefleyen bir yaklaşımdır (Baudin, 2005). Döngüsel seferler, malzeme sağlama ya da ürün/atık toplama

işlemleri için ön tanımlı rotalarla çok sayıda talep noktasına belli sıklıkta yapılan dağıtım/toplama sistemidir. Döngüsel sefer sisteminin bileşenlerinden biri araç çizelgelemektir. Bu sistemde araçlar için bir çizelge ve ön tanımlı rotalardan bahsedilebilir. Döngüsel seferlerin amacı, araçların efektif kullanımıyla sefer sayısını azaltmak ya da gerekli araç sayısını en aza indirmek olarak gösterilebilir.

Son zamanlarda teknolojik gelişmeler elektrikli araçların yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu araçların menzili, batarya kapasitelerinden dolayı oldukça sınırlı olabilmektedir. Gün içerisinde akü dolumu için harcanan süre araç planlamasını oldukça olumsuz şekilde etkileyebilmektedir. Aynı zamanda, araç tarafından taşınan yük miktarının batarya tüketimini etkilemesi göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrikli araçların getirdiği bu tarz zorluklar çizelgeleme probleminde görmezden gelinmemelidir.

1.4 Literatür Araştırması

Bu bölümde, araştırmacıların araç çizelgeleme problemi ve döngüsel seferler konularında yaptıkları çalışmalar hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır. Literatür bilgisine uluslararası alanda saygın çalışmaların bulunduğu Web of Knowledge veritabanı kullanılarak ulaşılmıştır. Tarama yapılırken “vehicle scheduling” (araç çizelgeleme) ve “milk-run” (döngüsel seferler) anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Ulaşılan sonuçlardaki çalışmalardan matematiksel modele sahip olan ve bu çalışmada ele alınan problemle ilişkisi bulunanlar incelenmiştir. Takip eden bölümde, incelenen 24 akademik makaleye ait değerlendirmeler sunulacaktır.

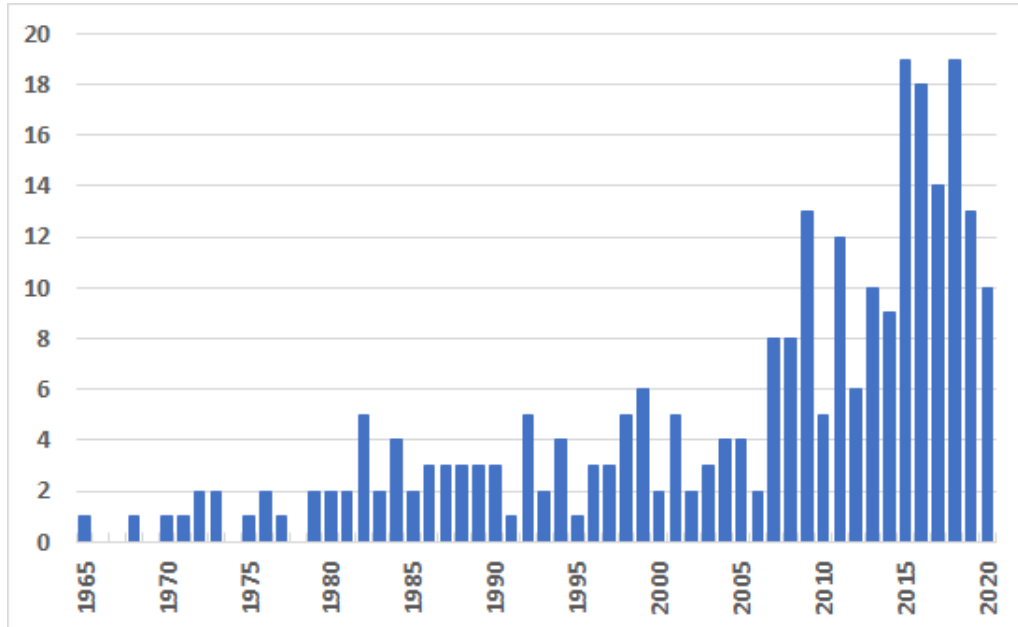
“Milk-run” teriminin kökeni Amerika’nın kırsal kesimlerinde çiftliklere boş süt şişelerini bırakıp dolu olanların toplanması işlemine dayandırılmaktadır (Wegner, 1917). Diğer bir kaynakta milk-run ifadesi, Amerikan Hava Kuvvetleri ve Britanya Kraliyet Hava Kuvvetlerinde düşman direnişinin en az olduğu görevleri belirtmek için kullanılmıştır (Ammer, 1989).

Literatürdeki ilk araç çizelgeleme problemi olarak Dantzig ve Ramser (1959)’in çalışması gösterilebilir. Nagy ve Horváth (2020) araç çizelgelemeyi en kısa haliyle “bir aracın günlük programı” olarak tanımlamıştır. Araç çizelgeleme problemi, her bir aracı başlangıç ve varış saatleri belirlenmiş bir dizi yolculuğa atayarak kullanım

maliyetlerini düşürmeyi ve hizmet kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Zuo vd., 2014). Crow vd. (2017)'a göre elektrikli araç çizelgeleme problemi, mesafe ve yakıt süresi kısıtları varsayımlarıyla oluşturulmuş bir araç çizelgeleme problemidir. Çok sayıda karar değişkeni bulunan büyük problemlerin optimal çözümüne ulaşmak zordur. Araç çizelgeleme probleminde olduğu gibi bu karmaşık problemler de NP-zor kategorisinde yer almaktadır. Bu zorlukla başa çıkmak için literatürde birçok sezgisel yaklaşım bulunmaktadır.

Araç çizelgeleme problemlerinin yıllara göre çalışma sayısını incelemek amacıyla Web of Knowledge sitesinde “vehicle scheduling” anahtar kelimesiyle arama yapılmıştır. Arama sonuçlarından, çalışma başlığında anahtar kelimenin bulunduğu makaleler incelenmiştir. Yönetim bilimi ve yöneylem araştırması alanlarıyla alakalı olan makalelerin yıllara göre yayımlanma sayısı Şekil 1’te gösterilmiştir. Araç çizelgeleme kavramının çalışma adında kullanıldığı ilk makalenin 1965 yılında yayımlandığı görülmektedir. Son yıllarda elektrikli araçlara yönelimin artmasıyla elektrikli araçların çizelgelenmesinin incelenmesine daha fazla önem verildiğini söylemek mümkündür.

Şekil 1: Literatürdeki yıllık çalışma sayısı



Tablo 1: Araç çizelgeleme problemi ile ilgili çalışmalarını inceleme tablosu

Çalışmalar	Problem tipi	Model tipi	Amaç fonksiyonu	Elektrikli araç	Envanter kapasitesi	Araç kapasitesi	Tesis içi	Talep Türü	Yüke bağlı enerji tüketimi
1 Wang ve Shen (2007)	EVSP	ACA	Boşta geçen süre minimizasyonu	.	✓	.	.	.	.
2 Baskak vd. (2012)	IPMR	MILP	Maliyet minimizasyonu	.	.	✓	✓	.	.
3 Kilic ve Durmusoglu (2013)	IPMR	MILP	Maliyet minimizasyonu	.	.	✓	✓	.	.
4 Qiu vd. (2013)	PTOP		Filo boyutu minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
5 Chen ve Sarker (2014)	MR	MINLP	Maliyet minimizasyonu	.	.	✓	.	Kesikli	.
6 J. Q. Li (2014)	VSP	MIP	Maliyet minimizasyonu	.	✓	.	.	.	.
7 Alnahhal ve Noche (2015)	MMAL	IP	Maliyet minimizasyonu	.	✓	✓	✓	Kesikli	.
8 Wen vd. (2016)	EVSP	MIP	Araç sayısı ve mesafe minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
9 Zhang vd. (2016)	VSRP	MILP	Bekleme süresi minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
10 Diaz-Madronero vd. (2017)	MRP	MIP	Maliyet minimizasyonu	.	✓	✓	✓	Kesikli	.
11 Niekerk vd. (2017)	EVSP	ILP	Maliyet minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
12 Sassi ve Oulamara (2017)	EVSCP	MILP	Sefer ağırlığı maksimizasyonu ve maliyet minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
13 Boysen vd. (2018)	ID-EVS	MIP	Mesafe minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
14 Emde vd. (2018)	EVMS	MIP	Araç sayısı minimizasyonu	✓	.	.	✓	.	.
15 Rigas vd. (2018)	EVSP	MILP	Araç kullanım maksimizasyonu	✓	✓	.	.	.	.
16 Rogge vd. (2018)	EVSP	MINLP	Filo boyutu ve maliyeti minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
17 Satoğlu ve Sipahioğlu (2018)	IPMR	MIP	Maliyet minimizasyonu	.	.	✓	✓	.	.
18 Zhou ve Tan (2018)		DP	Maliyet minimizasyonu	✓	.	✓	✓	.	.
19 Häll vd. (2019)	PTOP	LP	Maliyet minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
20 Xu vd. (2019)	VSP	DP	Ekipman kullanım maksimizasyonu	✓	✓	✓	✓	.	.
21 Bocewicz vd. (2019)	IPMR	CSP	Kısıtları sağlamak	.	.	.	✓	.	.
22 L. Li vd. (2019)	EVSP	ILP	Maliyet minimizasyonu	✓	.	✓	.	.	.
23 Sipahioğlu ve Altın (2019)	IPMR	MILP	Maliyet minimizasyonu	.	.	✓	✓	Kesikli	.
24 Yao vd. (2020)	EVSP	GA	Maliyet minimizasyonu	✓	.	.	.	.	.
Bu Çalışma	EVSP	LP	Harcanan enerji minimizasyonu	✓	✓	✓	✓	Sürekli	✓

EVSP: Elektrikli araç çizelgeleme problemi, PTOp: Toplu taşıma yönetimi problemi, EVSCP: Elektrikli araç çizelgeleme ve şarj optimizasyonu problemi,

MVSP: Maden araçları çizelgeleme problemi, ID-EVS: Tek boyutlu araç çizelgeleme problemi, EVMS: Elektrikli araç döngüsel sefer çizelgeleme problemi, VSRP: Araç çizelgeleme ve rotalama problemi

IPMR: Tesis içi döngüsel sefer problemi, MRP: Malzeme gereksinimi problemi, MR: Döngüsel seferler problemi, MMAL: Karmaşık model üretim hattı problemi

ILP: Tam sayılı doğrusal programlama, LP: Doğrusal programlama, MILP: Karmaşık tam sayılı doğrusal programlama,

MIP: Karmaşık tam sayılı programlama, MINLP: Karmaşık tam sayılı doğrusal olmayan programlama, GA: Genetik algoritma,

DP: Dinamik programlama, CSP: Kısıt tatmin problemi, IP: Tam sayılı programlama

Elektrikli araçların çizelgelenmesi problemi iki ana varsayım getirmektedir. Bunlardan birincisi kısıtlı menzil, diğeri uzun yakıt ikmali varsayımdır. Wang ve Shen (2007)'in çalışması, ilk elektrikli araç çizelgeleme problemlerinden biridir. Elektrikli araç çizelgeleme problemlerinde toplu taşımanın incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Qiu vd. (2013)'in çalışmasında incelenen problem türü, toplu taşıma araçları yönetimi problemidir. Çalışmada batarya şarj durumu ve şarj stratejisine ilişkin bilgiler sunulmuştur. Toplu taşıma araçlarının yönetimi problemiyle ilgili diğeri bir çalışma ise Häll vd. (2019)'in makalesidir. Bu çalışmada elektrikli otobüslerin, toplu taşıma sisteminin operasyon planlamasını nasıl etkileyeceği incelenmiştir.

Döngüsel malzeme tedarik sistemi olan milk-run, bir çeşit ulaştırma ve dağıtım şekli olarak kullanılmaktadır. Tesis içi malzeme tedariki sistemlerinde ana problemlerden biri olan milk-run, araç rotalarının ve tur periyotlarının belirlenmesidir (Küçükkoğlu vd., 2018). Milk-run probleminin çözülmesinde amaç, rotaların, çizelgelerin veya yer seçiminin belirlenmesi ya da bunların kombinasyonu olabilir. Baskak vd. (2012) çalışmasında, tesis içi milk-run sistemleri için sınıflandırma şeması oluşturulmuştur. Şemadaki problem türlerinin matematiksel modelleri sunulmuştur. Kilic ve Durmusoglu (2013) milk-run seferlerinde, araçları ön tanımlı rotalarda eşit sürelerle çalışacak şekilde çizelgeleyerek nakliye maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Satoğlu ve Sipahioğlu (2018)'in çalışmasında, istasyonların rotalara eklenmesi ve rotaların hizmet sürelerine karar verilmesi için karmaşık tamsayılı matematiksel modelin çözüldüğü iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. Rotaların hizmet sürelerine karar verilirken rotalardaki çalışma istasyonlarının sırasını belirlemek için seyyar satıcı probleminin (TSP) çözülmesi gerekmektedir. Ek olarak, istasyonların sırasının ve her bir rota için hizmet sürelerinin eşzamanlı olarak belirleneceği alternatif bir karışık tamsayı matematiksel model geliştirilmiştir.

Bocewicz vd. (2019)'in makalesinde, tesis içi milk-run trafiği için karar desteği sağlayan bir kısıt tatmin problemi modeli geliştirilmiştir. Model, taşınması gereken malzemelerin belirli yükleme/boşaltma noktalarına zamanında teslim edilmesi/alınması için gereken zaman ve konumdaki turların sayısını belirlemek için oluşturulmuştur. Sipahioğlu ve Altın (2019) yaptığı çalışmada, AGV'lerin milk-run rotalarını ve çizelgelenmesini eş zamanlı olarak belirlemek için bir karma matematiksel model önermektedir. Matematiksel model aynı zamanda montaj istasyonları için bölünmüş tesli-

matlara izin vermektedir.

Araştırmacılar böceklerin davranışlarını inceleyerek optimizasyon yöntemleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmalar Gezgin Satıcı Problemi (TSP) gibi optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Karıncalar yiyecek kaynaklarıyla yuvaları arasında izledikleri yolda birbirleriyle haberleşerek zamanla en kısa yolu keşfetmektedirler. Karınca kolonisi algoritması (ACA) bu davranıştan etkilenerek oluşturulmuştur. Wang ve Shen (2007)'ın makalesinde, “multiple ant colony” algoritması araç çizelgeleme problemine uygulanmıştır. Bu çalışmada elektrikli otobüs çizelgeleme problemi rota ve şarj süresi kısıtlarıyla çözülmüştür.

Araç çizelgeleme problemi kombinatoriyal yapısı sebebiyle NP-zor kategorisinde bir problemdir. Bu kategorideki problemlerde, büyük veriler ile çözüm bulmak çok uzun sürmektedir. Söz konusu problemlerde kısa sürede çözüm almak için sezgisel yöntemler geliştirilmektedir. Sassi ve Oulamara (2017) çalışmasında, araç çizelgeleme probleminin NP-zor kategorisinde olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada araç çizelgeleme problemi için iki farklı sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Wen vd. (2016)'ın çalışmasında, büyük problemler için bir “adaptive large neighbourhood search” sezgiseli geliştirilmiştir. Aynı zamanda, elektrikli araç bataryasının kısmi şarj edilmesine izin verilen yeni bir araç çizelgeleme problemi modeli oluşturulmuştur. Emde vd. (2018) makalesinde, araç çizelgeleme probleminin karmaşıklığını incelemektedir. Ayrıca, gerçekçi boyuttaki örnekleri birkaç dakika içinde optimale yakın sonuçlarla çözdüğü gösterilen bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

Tesis içi malzeme dağıtım ağının etkinliği işletme içerisindeki planlama sürecinde önemli yer tutmaktadır. Bu dağıtım ağlarının incelendiği araç çizelgeleme problemi ‘tesis içi döngüsel sefer (in-plant milk-run)’ adı altında farklı çalışmalarda (Baskak vd. (2012); Kilic ve Durmusoglu (2013); Satoğlu ve Sipahioğlu (2018); Bocewicz vd. (2019); Sipahioğlu ve Altın (2019)) ele alınmıştır. Alnahhal ve Noche (2013) çalışmasında çok depolu malzeme akış problemini incelemiştir. Tesis içerisinde kullanılan araçların rotalanması, çizelgelenmesi ve yüklenmesi problemleri paralel olarak incelenmiştir. Üretim hatlarında ve tesis içi dağıtım sistemlerinde, aksamaya neden olan durumlar ortaya çıkabilmektedir. Diaz-Madronero vd. (2017) çalışmasında, tesis içindeki taşıma planlama kararları için yeni bir optimizasyon modeli önerilmiştir.

Problem kavramsal olarak tanıtılmıştır ve yazar ve arkadaşları tarafından MRP IV olarak adlandırılmıştır. Bu çalışma, mevcut MRP (malzeme ihtiyaç planlaması) sistemlerinin genişletilmiş bir çalışmasıdır. Önerilen model aynı anda üretim kaynakları kapasiteleri ve tedarik nakliye planlama kararlarını dikkate alarak oluşturulmuştur. Zhou ve Tan (2018)'in makalesinde elektrikli araçlar için rota seçimi ve batarya değişim istasyonları konumlarının belirlenmesi problemi için bir model sunulmuştur. İncelenen problemde tesis içi milk-run stratejisine dayalı otomotiv montaj hatları için istasyon taleplerinin karşılanması amaçlanmaktadır. Xu vd. (2019) üretim tesisinde kullanılan ekipmanların verimini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Çalışmada sürekli zaman modellemesi kullanılarak madenler ve boşaltım alanları arasındaki taşıma araçlarının çizelgelenmesi için matematiksel model oluşturulmuştur.

J. Q. Li (2014)'nin makalesinde, batarya değişimi ve şarj istasyonunda hızlı şarj varsayımlarıyla otobüs çizelgeleme modeli sunulmuştur. Çizelgeleme problemini çözmek için "column-generation" tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Häll vd. (2019) çalışmasında, elektrikli otobüslerin, toplu taşıma sistem planlamasını nasıl değiştireceğini incelemiştir. Yao vd. (2020) farklı türlerdeki elektrikli araçların çizelgelenmesi için yeni bir metodoloji önermektedir. Elektrikli otobüslerin enerji tüketimindeki farklılıklar dikkate alınmıştır. Elektrikli otobüslerin ve şarj cihazlarının satın alma maliyetleri göz önünde bulundurularak yeni bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur.

Chao ve Xiaohong (2013) elektrikli araç filosu oluşturulurken ortaya çıkan maliyetleri ve toplam şarj talebini minimize eden iki bağımsız amaç fonksiyonuna sahip, NSGA-II algoritmasından doğan yeniden düzenlenmiş bir multi-objective optimizasyon modeli oluşturmuştur. Chen ve Sarker (2014)'de dögüsel sefer problemi ve envanter boyutlu araç rotalama problemiyle entegre bir model oluşturulmuştur. Modeli çözmek için karınca kolonisi optimizasyonunun meta-sezgisel bir algoritması geliştirilmiştir. Niekerk vd. (2017)'in çalışmasında araç çizelgeleme problemi için iki farklı model önerilmiştir. İlk model, doğrusal şarj olma süreci varsayımı ve sabit elektrik ücreti varsayımlarıyla oluşturulmuştur. İkinci modelde probleme doğrusal olmayan şarj, gün boyu değişken elektrik fiyatlandırılması ve batarya amortismanı dahil edilmiştir. Büyük problemler için column-generation sezgiseli tanıtılmıştır. Rogge vd. (2018) elektrikli araçların kısıtlı menzil ve şarj süresi zorluklarıyla otobüs filolarının ve bunlara karşılık gelen şarj altyapısının maliyet açısından optimize edilmiş planla-

ması için bir metodoloji sunmaktadır. Tanımlanan problem, elektrikli otobüslerin çizelgelenmesini, filo oluşturma ve şarj altyapısının oluşturulmasının optimizasyonunu kapsamaktadır.

Bir üretim tesisinde ortaya çıkan olumsuz durumlar istasyonların parça talebinde beklenmedik dalgalanmalara neden olabilmektedir. Alnahhal ve Noche (2015) makine arızası, hat durması ve arızalı parçalar gibi duraksamalara neden olan dinamik ortamı göz önünde bulundurarak araç rotalama, çizelgeleme ve yükleme problemlerini incelemiştir. Sonuçlara göre, önerilen yöntem geleneksel malzeme akışı planlama yöntemlerinden daha iyi performans göstermiştir.

Rigas vd. (2018) çalışmasında, elektrikli araçlardan alınan verimi en büyükleyen, en fazla sayıda müşteriye hizmet verme amacıyla elektrikli araç çizelgeleme problemi için model oluşturmuştur. Boysen vd. (2018)'in çalışmasında düz bir hat boyunca kullanılan vinç gibi otomatik yönlendirmeli araçların çizelgelenmesi problemini ele almıştır. Araçların şarj olması gerektiğinde hat üzerindeki şarj istasyonlarını ziyaret etmesi gereklidir. Geliştirilen model daha sonra şarj istasyonlarının konumlarını iyileştirmek için yeniden uygulanmıştır. L. Li vd. (2019) elektrikli otobüsler için, kısıtlı menzil ve yakıt ikmali sürelerini göz önünde bulundurarak çoklu araç türü (MVT) ile çoklu depo (MD) araç çizelgeleme problemi için bir formülasyon geliştirmektedir. Ardından, emisyonlarla ilişkili dışsal maliyeti incelenmektedir. Otobüs filosu çizelgelenmesi ve yakıt ikmal istasyonlarının konumlarının belirlenmesi ile minimum toplam sistem maliyeti araştırılmıştır.

Zhang vd. (2016) çalışmasında, otonom Hizmet Olarak Mobilite (AMoD) sisteminde araç çizelgeleme ve rotalama kararlarını optimize etmek için bir yaklaşım sunulmuştur. AMoD sistemlerinde otonom araçlar, şehir ortamında bir noktadan başka bir noktaya kullanıcıları taşımak için kullanılır.

BÖLÜM 2

PROBLEMİN TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ

Bu çalışmada yüke bağlı enerji tüketimi ve sürekli talep varsayımları ile tesis içi elektrikli araç çizelgeleme problemi incelenmektedir. Takip eden bölümde, bir fabrikada üretim kaynaklı oluşan atıkları toplayan bir aracın çizelgelenmesi problemi tanımlanacaktır. Aynı zamanda yüke bağlı enerji tüketimi ve sürekli talep konularına değinilecektir.

2.1 Problem Tanımı

Ele alınan elektrikli araç çizelgeleme probleminde, N adet çalışma istasyonu, R adet önceden tanımlanmış rota ve S adet sefer bulunmaktadır. Bu çalışmada, bir üretim fabrikasında üretim süreçlerinden dolayı atık oluştuğu varsayılmıştır. Problemden talep, çalışma istasyonlarındaki atığın toplanmasıdır. Bu talep, farklı problemlerde, üretimde kullanılan ham madde, hizmet ya da makine gibi üretim kaynakları olabilir. Problemden, atık toplamak için kullanılan bir elektrikli aracın tükettiği enerjinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma istasyonları, üretim sürecinde oluşan atığı biriktirmektedir. Bu istasyonlardaki atık oluşma hızı birbirinden farklıdır. Birim zamanda, $n \in N$ çalışma istasyonunda oluşan atık miktarı φ_n olarak tanımlanmıştır. Her bir çalışma istasyonunun atık kapasitesi bulunmaktadır. Atık kapasiteleri farklılık gösterebilir. $n \in N$ çalışma istasyonunun atık kapasitesi ω_n 'dir. N kümesinin ilk elemanı ($n = 0$) depo olarak tanımlanmıştır. Aracın bir seferdeki başlangıç ve varış noktası depodur.

Problemden elektrikli aracın batarya kapasitesi olduğu varsayılmaktadır. Bu bağ-

lamda, araç yeniden şarj olana kadar menzili kısıtlıdır. Aynı zamanda, araç bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. Araç $s \in S$ seferinde, $r \in R$ rotasındaki çalışma istasyonlarından atık toplayacaktır. Araç seçilen rota üzerindeki $n \in N$ çalışma istasyonuna ulaştığında, burada oluşan atığı toplayabilir ya da toplamayabilir. Aynı zamanda aracın enerji tüketiminin, aracın toplam yük miktarıyla birlikte artacağı varsayılmaktadır. Bataryada kalan enerji, aracın depoya dönüşünü sağlayabildiği sürece atık toplayabilecektir. Başka bir ifadeyle, aracın bataryasının rota üzerindeki tüketimi önlenecektir.

Problemde ön tanımlı rotalar kullanılacaktır ve $r \in R = \{1, 2, 3, \dots, r\}$ kümesinde tanımlanmıştır. Çalışma araç rotalama problemi olmadığı için olası tüm rotalar probleme dahil edilmemiştir. Ön tanımlı rotalar oluşturmak için, atık ortaya çıkarma hızı en yüksek üç çalışma istasyonu, atık ortaya çıkarma hızı en düşük 5 çalışma istasyonu gibi farklı kriterlere sahip çeşitli çalışma istasyonları kümeleri oluşturulmuştur. Çalışma istasyonlarının rota üzerindeki sırası belirli bir algoritmaya göredir. Tüm rotalardaki ilk $n \in N$ noktası depodur. Bir sonraki adımda, rota kümesindeki çalışma istasyonlarından depoya en yakın olan seçilmiştir. Bir sonraki nokta, son seçilen noktaya en yakın ve aynı kümede bulunan, henüz seçilmemiş çalışma istasyonudur. Bir rotada bulunan çalışma istasyonu sayısı, diğer rotalardaki çalışma istasyonları sayısından farklı olabilir. Rotada bulunan çalışma istasyonları $\zeta_{r,k}$ ile gösterilmektedir. r indisi rotayı, k indisi rotadaki çalışma istasyonunun sırasını belirtmektedir. Bir rota üzerindeki çalışma istasyonu başka bir rota üzerinde de bulunabilmektedir.

Aracın şarj olma kararının verildiği yapay bir rota oluşturulmuştur ($r \in R, r = 1$). Bu rota kullanıldığında araç, hiç bir çalışma istasyonuna uğramayacaktır. Şarj için belirlenen yapay rotada geçen süre şarj süresi kadardır (ch). Kalan pil gücü (SoC) bataryanın kalan enerji miktarını (kW) göstermektedir. Eğer araç için şarj kararı verilirse, araç batarya durumu (SoC) batarya kapasitesi kadar olacaktır. Araç atandığı rota üzerindeki çalışma istasyonları bittiğinde depoya dönecektir ve topladığı yükü bu noktada boşaltacaktır.

2.1.1 Yüke Bağlı Enerji Tüketimi

Elektrikli araçların enerji tüketimini doğru bir şekilde tahmin etmek, kısıtlı menzil ve uzun şarj edilme sürelerine sahip olan elektrikli araçlar için önem arz etmektedir. Şarj altyapılarının planlanması, yönetilmesi ve araç kullanımlarının planlanmasında bu tahminin etkisi olacaktır.

Bu çalışma, elektrikli araçların toplam ağırlığının batarya tüketimine olan etkisini çizeleme problemine dahil ederek, gerçek hayatta uygulanabilecek bir çözüm önermektedir. Enerji tüketiminin takibinin nasıl yapıldığına bu bölümde değinilecektir.

Mevcut çalışmada, gerekli enerjiyi tahmin etmek için Kapsamlı Yaygın Emisyon Modelinden faydalanılmıştır (Barth vd., 2004). Bu model; hız, ivme, yük ve eğim gibi önemli parametreleri de hesaba kattığı için seçilmiştir. Motor gücü (P_e) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$P_e = \frac{(Ma + Mg \sin\theta + MgC_r \cos\theta + 0.5C_d \rho A v^2)v}{1000\epsilon} \quad (2.1)$$

Formülün bileşenleri şu şekildedir; v hız (m/s), a ivme (m/s^2), M aracın ağırlığı (kg), g yer çekimi ivmesi (m/s^2), θ yolun eğimi, ρ hava yoğunluğu (kg/m^3 , genellikle 1.2041), A aracın ön yüzey alanı (m^2), C_d aerodinamik direnç, C_r yuvarlanma direnci, ϵ aracın yürüyen aksam verimliliği, P_e saniyede üretilen motor gücü (kW). Araçların düz zeminde ve sabit hızla gittiği varsayıldığında P_e formülü şu şekilde indirgenebilir;

$$P_e = \frac{(MgC_r + 0.5C_d \rho A v^2)v}{1000\epsilon} \quad (2.2)$$

(2.2) formülü (2.3)'te doğrusal olarak yeniden düzenlenmiştir;

$$P_e = \alpha + \beta M \quad (2.3)$$

Burada; $\alpha = \frac{0.5C_d \rho A v^3}{1000\epsilon}$ ağırlık sabiti, $\beta = \frac{gC_r v}{1000\epsilon}$ ağırlık katsayısıdır.

Gezinti sırasında harcanan toplam enerji formülü modelde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2.1.2 Sürekli Talep

Talep, işletmeler için süreçlerin yönetimini etkileyen en önemli faktördür. Talep, müşterinin satın almak istediği ürünleri, hizmetleri ve işletme içerisinde materyallere duyulan gereksinim olarak ifade edebilir. Talep, bir ürün ya da hizmetin tüketilmesine yönelik arzudur.

Talep, miktarının önceden tahmin edilebilme durumuna göre “stokastik talep” ve “deterministik talep” olarak ikiye ayrılmaktadır. Deterministik durum, bütün parametre ve değişkenlerin bilinebiliyor olduğu varsayımına dayanmaktadır. Miktarı tam olarak bilindiği varsayılan talep “deterministik talep” olarak adlandırılmaktadır.

Stokastik durum ise değişken veya rastlantısal durumdur. Bu durumda talep miktarı tam olarak bilinemez. Stokastik talep varsayımında, talep miktarı olasılıklara bağlı olarak belli bir aralıkta tanımlanabilir. Stokastik talep durumunda, talep tahmini için genellikle ürüne olan talebin geçmişte gösterdiği patern incelenmektedir.

Talebin oluşma süreci farklı biçimlerde gerçekleşebilir. Karar verici, probleme bağlı olarak talebi kesikli ya da sürekli olarak tanımlayabilir. Kesikli talep düzensiz olarak ortaya çıkar ve zaman diliminin tamamında talep miktarını göstermez (Syntetos & Boylan, 2005). Kesikli talep durumunda talep, zaman ekseninde süreklilik göstermeyip belirli zaman noktalarında gerçekleşmektedir. Talep, zaman doğrusunun tamamına yayılmış durumda değildir. “*Sürekli talep, dönem içerisinde tek bir noktada toplanmak yerine dönem içinde sürekli bir fonksiyonla temsil edilebilen talebi işaret eder*” (Çimen, 2009).

Tablo 2: Notasyon tablosu.

İndisler	
n, m	Depo veya çalışma istasyonu
r	Ön tanımlı rota
k	Rotadaki düğüm sırası
s	Sefer
Kümeler	
N	Fabrikadaki depo $\{0\}$ ve çalışma istasyonları kümesi, $N = \{0, 1, 2, \dots, |N|\}$
R	Ön tanımlı rotalar kümesi, $r \in R = \{1, 2, 3, \dots, |R|\}$
K	$r \in R$ rotasındaki düğüm sırası, $k \in K = \{0, 1, 2, \dots, |K|\}$
\vec{K}	$r \in R$ rotasındaki başlangıç noktası hariç düğüm sırası, $k \in \vec{K} = \{0, 1, 2, \dots, |\vec{K}|\}$
S	Sefer kümesi, $s \in S = \{1, 2, 3, \dots, |S|\}$
Parametreler	
$\zeta_{r,k}$	: $r \in R$ 'inci rotadaki $k \in K$ 'inci sırada bulunan düğüm
$\delta_{n,m}$	: Aracın düğüm $n \in N$ ve düğüm $m \in N$ arasındaki mesafeyi katettiği süre (saniye)
φ_n	: $n \in N$ çalışma istasyonunda birim zamanda oluşan atık miktarı (kg)
σ	: Aracın yük taşıma kapasitesi (kg)
ω_n	: $n \in N$ 'inci çalışma istasyonunun atık kapasitesi (kg)
d_n	: $n \in N$ 'inci çalışma istasyonunun günlük toplam atık miktarı (kg)
τ	: $r \in R$ 'inci rotada bulunan son düğüm, (depo)
ct	: Şarj süresi (saniye)
μ	: Yeterince büyük bir sayı
Enerji Tüketimi Parametreleri	
v	: Aracın hızı (m/s)
A	: Aracın ön yüz alanı (m^2)
C_d	: Aerodinamik sürtünme katsayısı
C_r	: Yuvarlanma direnci
ρ	: Hava yoğunluğu (kg/m^3)
g	: Yer çekimi sabiti
ϵ	: Aracın yürüten aksam verimliliği
α	: Ağırlık sabiti $\alpha = \frac{0.5C_d\rho Av^3}{1000\epsilon}$
β	: Ağırlık katsayısı $\beta = \frac{gC_r v}{1000\epsilon}$
W_oV	: Aracın ağırlığı (kg)
b	: Batarya kapasitesi (kW)

Tablo 3: Notasyon tablosu (devam).

Karar Değişkenleri	
$\Lambda_{s,r}$	: İkili değişken, $s \in S$ seferinde $r \in R$ rotası kullanıldıysa 1, aksi takdirde 0
$\chi_{s,r,k}$	: İkili değişken, araç $s \in S$ seferinde $r \in R$ rotasında $k \in K$ 'inci düğümde atık topladıysa 1, aksi takdirde 0
$\Delta_{s,k}$	: Aracın $s \in S$ seferinde $k \in \vec{K}$ 'inci düğüme geldiğinde geçmiş toplam süre
$\Omega_{s,n}$	: Araç $s \in S$ seferinde $n \in N$ düğüme geldiğinde n çalışma istasyonunda oluşmuş toplam atık
$\Phi_{s,k}$	: Araç $s \in S$ 'inci sefer $k \in \vec{K}$ 'inci düğüme geldiğinde taşıyor olduğu toplam yük
$EC_{s,k}$	: Aracın $s \in S$ 'inci sefer $k - 1 \in K$ 'inci düğümde $k \in K$ 'inci düğüme giderken tükettiği enerji
$CEC_{s,k}$	: Aracın son şarjdan $s \in S$ 'inci sefer $k \in K$ 'inci düğüme gelene kadar tükettiği toplam enerji
$SoC_{s,k}$	: $s \in S$ 'inci sefer $k \in \vec{K}$ 'inci düğümdeyken araç bataryasının durumu
IS_n	: $n \in N$ 'inci çalışma istasyonu başlangıç stoğu
IT_s	: $s \in S$ 'inci sefer öncesinde aracın boşta geçirdiği süre

Minimize (en küçükle)

$$Min Z = \sum_s^S \sum_k^K EC_{s,k} \quad (2.4)$$

Amaç fonksiyonu (2.4) araç tarafından harcanan enerjiyi minimize etmektedir. Harcanan enerji hesaplanırken Barth vd. (2004)'ün Kapsamlı Yaygın Emisyon modelinden faydalanılmıştır. Modelin içeriği 2.1.1 bölümünde açıklanmıştır.

subject to (kısıt seti altında)

$$\Lambda_{s,r} \geq \chi_{s,r,k} \quad \forall s \in S, r \in R, k \in K \quad (2.5)$$

$$\sum_r^R \Lambda_{s,r} \leq 1 \quad \forall s \in S \quad (2.6)$$

Kısıt (2.5) her rotanın rota kullanılma durumuyla ilgiliyken, kısıt (2.6) her bir seferde en fazla 1 rota kullanılacağını gösterir.

$$\Delta_{1,k} = \sum_{r:r>1}^R \Lambda_{1,r} * \left(\sum_{k':k'\leq k}^{\vec{K}} \delta_{\zeta_{r,k'-1},\zeta_{r,k'}} \right) + IT_1 + \Lambda_{1,1} * ct \quad \forall k \in \vec{K} \quad (2.7)$$

$$\Delta_{s,k} = \sum_{r:r>1}^R \Lambda_{s,r} * \sum_{k':k'\leq k}^{\vec{K}} \delta_{\zeta_{r,k'-1},\zeta_{r,k'}} + \Delta_{s-1,\tau} + IT_s + \Lambda_{s,1} * ct \quad \forall k \in \vec{K}, s \in S : s > 1 \quad (2.8)$$

Kısıt (2.7) ve (2.8) aracın rotada geçirdiği süre, sefer başında boşta geçirdiği süre, bir önceki seferin toplam süresi ve şarj süresi terimlerinden oluşur. Kısıt (2.7) ilk sefer için geçen süreyi hesaplamaktadır. (2.8) kısıtında bir önceki seferde geçen süre eklenerek her bir seferde geçen sürenin kümülatif olması sağlanmıştır.

$$\Omega_{1,\zeta_{r,k}} \leq \Delta_{1,k} * \varphi_{\zeta_{r,k}} + (1 - \Lambda_{1,r}) * \mu + IS_{\zeta_{r,k}} \quad \forall r \in R, k \in \vec{K} \quad (2.9)$$

$$\Omega_{1,\zeta_{r,k}} \geq \Delta_{1,k} * \varphi_{\zeta_{r,k}} + (\Lambda_{1,r} - 1) * \mu + IS_{\zeta_{r,k}} \quad \forall r \in R, k \in \vec{K} \quad (2.10)$$

$$\Omega_{s,\zeta_{r,k}} \leq \Delta_{s,k} * \varphi_{\zeta_{r,k}} + IS_{\zeta_{r,k}} + (1 - \chi_{s,r,k}) * \mu - \sum_{s':s'\leq s-1}^S \Omega_{s',\zeta_{r,k}} \quad (2.11)$$

$$\forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K} : s > 1$$

$$\Omega_{s,\zeta_{r,k}} \geq \Delta_{s,k} * \varphi_{\zeta_{r,k}} + IS_{\zeta_{r,k}} + (\chi_{s,r,k} - 1) * \mu - \sum_{s':s'\leq s-1}^S \Omega_{s',\zeta_{r,k}} \quad (2.12)$$

$$\forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K} : s > 1$$

$$\Omega_{s,n} \leq \sum_{r'}^R \sum_{k':\zeta_{r',k'}=n}^K \chi_{s,r',k'} * \mu \quad \forall s \in S, n \in N \quad (2.13)$$

(2.9-2.12) arası kısıtlar, eğer araç $\zeta_{r,c}$ noktasına uğradıysa o noktadan en son atık topladıktan sonra geçen sürede, $\zeta_{r,c}$ noktasında ne kadar atık oluştuğunu hesaplar. Ayrıca başlangıç stoğunu da içerir. $\zeta_{r,c}$ bir çalışma istasyonunu ifade eder (bkz. Tablo 2). Kısıt (2.13) eğer araç $\zeta_{r,c}$ noktasına uğramadıysa değer almamasını sağlar.

$$\Phi_{s,k} \geq (\Lambda_{s,r} - 1) * \mu + \sum_{k':k' \leq k}^{\vec{K}} \Omega_{s,\zeta_{r,k'}} \quad \forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K} \quad (2.14)$$

$$\Phi_{s,k} \leq \sigma \quad \forall s \in S, k \in \vec{K} \quad (2.15)$$

(2.14) ve (2.15) kısıtları sırasıyla, araç s seferi seyahatinde uğradığı her noktada üzerindeki yük miktarını hesaplar ve araç kapasitesini aşmamasını sağlar.

$$\Delta_{s,k} * \varphi_{\zeta_{r,k}} + IS_{\zeta_{r,k}} - \sum_{s':s' \leq s-1}^S \Omega_{s',\zeta_{r,k}} \leq \omega_{\zeta_{r,k}} \quad \forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K} \quad (2.16)$$

Kısıt (2.16) $\zeta_{r,c}$ çalışma istasyonundaki biriken yükü hesaplayarak, o noktanın atık kapasitesini aşmamayı sağlar. Kısıtın sol tarafındaki ilk terim başlangıçtan bu yana $\zeta_{r,c}$ çalışma istasyonunda oluşmuş talebi hesaplar, ikinci ve üçüncü terim başlangıçtan bu yana $\zeta_{r,c}$ çalışma istasyonundan toplanmış atığı hesaplamaktadır.

$$\Omega_{s,n} \leq \omega_n \quad \forall s \in S, n \in N \quad (2.17)$$

(2.17) numaralı kısıt, $n \in N$ çalışma istasyonunda oluşan talebi, istasyon kapasitesi ile kısıtlar.

$$\sum_s^S \Omega_{s,n} = d_n \quad \forall n \in N \quad (2.18)$$

(2.18) numaralı kısıt toplanan toplam atığın planlama ufku boyunca biriken atık üretimi kadar olmasını sağlar.

$$EC_{s,k} \geq (\alpha + \beta * (\Phi_{s,k-1} + WoV)) * \delta_{\zeta_{r,k-1}, \zeta_{r,k}} + (\Lambda_{s,r} - 1) * \mu \quad (2.19)$$

$$\forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K}$$

Kısıt (2.19) aracın harcadığı enerjiyi hesaplar. Bu kısıtla hesaplanan değerlerin toplamı amaç fonksiyonunu ifade eder.

$$CEC_{s,k} \geq (\alpha + \beta * (\Phi_{s,k-1} + WoV)) * \delta_{\zeta_{r,k-1}, \zeta_{r,k}} + (\Lambda_{s,r} - 1) * \mu + CEC_{s,k-1}$$

$$\forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K} \quad (2.20)$$

$$CEC_{s,k} \geq CEC_{s,k-1} \quad \forall s \in S, k \in \vec{K} \quad (2.21)$$

$$CEC_{s,0} \geq CEC_{s-1,\tau} - \Lambda_{s,1} * \mu \quad \forall s \in S : s > 1 \quad (2.22)$$

(2.20-2.22) kısıtlar ile aracın harcadığı enerji kümülatif olarak gösterilir. Bu değerler, sonraki kısıtlarda batarya durumunu hesaplamak için kullanılacaktır.

$$0 \leq SoC_{s,k} \leq b \quad \forall s \in S, k \in \vec{K} \quad (2.23)$$

$$SoC_{s,k} = b - CEC_{s,k} \quad \forall s \in S, k \in \vec{K} \quad (2.24)$$

(2.23)-(2.24) numaralı kısıtlar, batarya durumunu kontrol eder.

$$\Lambda_{s,r} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, r \in R \quad (2.25)$$

$$\chi_{s,r,k} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, r \in R, k \in K \quad (2.26)$$

$$\Delta_{s,k} \geq 0 \quad \forall s \in S, k \in \vec{K} \quad (2.27)$$

$$\Omega_{s,n} \geq 0 \quad \forall s \in S, n \in N \quad (2.28)$$

$$\Phi_{s,k} \geq 0 \quad \forall s \in S, k \in \vec{K} \quad (2.29)$$

$$EC_{s,k} \geq 0 \quad \forall s \in S, k \in K \quad (2.30)$$

$$CEC_{s,k} \geq 0 \quad \forall s \in S, k \in K \quad (2.31)$$

$$SoC_{s,k} \geq 0 \quad \forall s \in S, k \in \vec{K} \quad (2.32)$$

$$IS_n \geq 0 \quad \forall n \in N \quad (2.33)$$

$$IT_s \geq 0 \quad \forall s \in S \quad (2.34)$$

Son olarak kısıt setleri (2.25-2.34) modelde kullanılan karar değişkenlerinin türü ile ilişkilidir.

Tablo 4: Modelde kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değer	Kaynak
σ	1500kg	Transolt Website (n.d.)
b	90 kW	varsayım
ct	50	varsayım
W_oV	785 kg	Gebhardt Website (n.d.)
d_n	bkz. appendix	varsayım
ω_n	bkz. appendix	varsayım
ϵ	0.89	Kancharla ve Ramadurai (2020)
v	1.2(m/s)	Transolt Website (n.d.)
A	0.271(m^2)	Transolt Website (n.d.)
C_d	0.48	Kancharla ve Ramadurai (2020)
C_r	0.01	Kancharla ve Ramadurai (2020)
ρ	1.2041	Kancharla ve Ramadurai (2020)
g	9.81	Kancharla ve Ramadurai (2020)
M	999999999	varsayımsal

BÖLÜM 3

SAYISAL ANALİZ

Bu bölümde sayısal analizler detaylı olarak incelenecek ve ortaya çıkan sonuçlar yorumlanacaktır. Bu doğrultuda, bir üretim tesisindeki çalışma istasyonlarında oluşan atıkları toplayan elektrikli otomatik yönlendirmeli bir aracın (AGV) çizelgelenmesi üzerine önerilen modelin uygulanması sunulacaktır. Öncelikle, bu çalışmadaki gerçek hayatı temsil eden varsayımlarla ulaşılmış optimal çözüm verilecektir. Sonrasında, bu varsayımların bulunmadığı senaryolar ayrıca çözülecektir. Sonuç kısmında alınan çözümler karşılaştırılacaktır.

AGV'nin çizelgelenmesi, sürekli talep ve yüke bağlı enerji tüketimi varsayımlarıyla oluşturulmuştur. Ek olarak, bu varsayımların katkısı farklı modellerin çözümü ile kıyaslanarak gösterilmiştir. İlk olarak örnek olay ve veriler açıklanmıştır. Ardından çözüm yöntemi gösterilecektir. Sonrasında sonuçlar tartışılacaktır.

3.1 Açıklama ve Veriler

Elektrikli araç, depo ve çalışma istasyonları, tesis içi yapıyı oluşturmaktadır. Elektrikli araç, çalışma istasyonlarında oluşan atığı toplamakla sorumludur. Atık taşımakta kullanılan aracın 1500 kg taşıma kapasitesine sahip olduğu varsayılmaktadır. Enerji tüketiminin hesaplanmasında Kapsamlı Yaygın Emisyon Modeli (KYEM) kullanılmıştır. Harcanan enerjinin hesaplanmasında kullanılan parametreler, aracın diğer parametreleriyle birlikte Tablo 5'de verilmiştir. Tablodaki değerlerin açıklamaları için Tablo 2 incelenebilir.

Çalışma istasyonlarının konumları iki boyutlu analitik düzlemde oluşturulmuştur. Çalı-

ρ	C_d	A	v	ϵ	g	C_r	WoV	ct	b	σ
1.2041	0.48	0.271(m ²)	1.2(m/s)	0.89	9.80665	0.01	785(kg)	600	90	1500

Tablo 5: Aracın parametreleri

lışıma istasyonları arasındaki mesafe, iki boyutlu düzlemdeki en kısa mesafe olarak verilmiştir. Zaman tablosu 8 seferden oluşur. Birim zamanda ortaya çıkan atık miktarı rastsal oluşturulmuştur. Çalışma istasyonlarındaki başlangıç stoğu, IS karar değişkeniyle gösterilmektedir. Bir istasyonun planlama ufkunun başlangıcındaki ve sonundaki stok miktarı eşittir. Model bu yapısı sayesinde sürekliliği sağlamaktadır. Problemin amacı, atık taşıma için kullanılan elektrikli aracın harcadığı enerjiyi en aza indirecek şekilde çizelgelemektir.

İki temel varsayım, modelde dinamik olarak hesaplanmaktadır; (i) aracın enerji tüketimi, anlık toplam ağırlığına göre değişmektedir, (ii) çalışma istasyonlarında oluşan atık miktarı aracın kullandığı rotaların süresi, aracın seferlerin başında bekleme süresi ve şarj olma süresinin toplamına göre hesaplanmaktadır. Çalışma istasyonlarındaki oluşan atık ise şu şekilde hesaplanmaktadır;

Bir çalışma istasyonundan biriken atığın miktarı = [(planlama ufkunun başından bu yana geçen zaman(s)) x (istasyonda saniyede ortaya çıkan atık)] + (çalışma istasyonunun başlangıçtaki atık miktarı) - (çalışma istasyonundan daha önce toplanmış atık miktarı) kadardır. Bu miktar matematiksel modelde (2.9)-(2.12) kısıtları ile hesaplanmaktadır.

Çalışmada geliştirilen matematiksel modelin amacı, çözümde seçilen yaylar üzerinde harcanan toplam enerjiyi minimize etmektir. Amaç fonksiyonu, KYEM ile hesaplanan α ve β değerlerini içermektedir. KYEM, birim zamanda enerji tüketimi $\alpha + \beta * M(\text{aracın toplam kütlesi})$ 'dir. Çalışmada geliştirilen amaç fonksiyonu

$$EC_{s,k} \geq (\alpha + \beta * (\Phi_{s,k} + WoV)) * \delta_{\zeta_{r,k-1}, \zeta_{r,k}} + (\Lambda_{s,r} - 1) * \mu$$

$$\forall s \in S, k \in \vec{K}, r \in R$$

$(\alpha + \beta * (\text{taşınan yük} + \text{aracın kendi kütlesi})) \times (\text{taşıma süresi})$ ile hesaplanan enerji

tüketiminin toplamının en küçüklenmesidir.

3.2 Çözüm Metodu

Çalışmada incelenen problemin matematiksel modelinin formülasyonunda ve çözümlenmesinde IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.10.0.0 yazılımı kullanılmıştır. Oluşturulan model, 563 sürekli, 1560 ikili değişken ve 10090 kısıtlamaya sahiptir. Matematiksel modelin çözümü, Dell marka intel i5 7300hq 2.5GHz işlemcili 16GB ram belleğe sahip bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.

Matematiksel modelin çözümünde doğrusal programlama tekniğiyle optimal sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Modelin katkısını değerlendirmek adına, ana varsayımları sağlayan kısıtlar değiştirilip tekrar çözülmüştür. Ulaşılan optimal çözüm, ana varsayımlar olmadan alınan sonuçlarla kıyaslanacaktır.

3.3 Örnek Olay İncelenmesi

Bu bölümde çalışmada önerilen matematiksel modelin çözümlenmesinde kullanılan veri seti ve elde edilen bulgular detaylıca incelenecektir.

3.3.1 Veri Setinin Tanıtılması

Üretim tesisindeki çalışma istasyonlarının sayısının 10 adet olduğu varsayılmıştır. Bir tesisteki çalışma istasyonlarında ortaya çıkan atık miktarı oldukça farklılık gösterebilir. Çalışma istasyonlarında birim zamanda ortaya çıkan atık miktarı için 0.01 kg ile 0.21 kg arasında rastgele bir değer atanmıştır. Bu değerler, modelin çözümünden önce parametre olarak tanımlanmıştır. Problem kapsamında ortaya çıkan atık miktarı deterministiktir. Çalışma istasyonunda oluşmuş atık miktarı, modelin dinamik yapısı sayesinde geçen süreyle birlikte sürekli olarak hesaplanmaktadır. Birim zamanda ortaya çıkan atık miktarı Tablo 7’de yer almaktadır. Problemden birim zaman saniyedir. Toplam atık miktarı, planlama ufku boyunca ortaya çıkacak atık miktarıdır. Planlama ufku boyunca ortaya çıkacak olan atık miktarı Tablo 6’te gösterilmiştir.

Tablo 6: Çalışma istasyonlarında planlama ufku boyunca ortaya çıkan toplam atık miktarı (kg)

Çalışma İstasyonu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Toplam Atık	597	354	450	549	141	126	594	381	483	411

Depo ve çalışma istasyonları iki boyutlu düzlemde oluşturulmuştur. Depo için ($x=0$, $y=0$) koordinatları belirlenmiştir. Düzlemin büyüklüğünün 70m x 70m olduğu varsayılmıştır. Çalışma istasyonlarının koordinasyonları bu düzlem içerisinde rastsal sayılarla oluşturulmuştur. Çalışma istasyonlarının saniyede ortaya çıkardıkları atık miktarı, istasyonların atık kapasitesi ve koordinatları Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7: Çalışma istasyonlarının oluşturduğu atık miktarı (s), kapasiteleri, koordinatları

N	Atık (s)	Kapasite (kg)	Koordinat	
			x	y
D	1	1	0	0
1	0.192	300	55	20
2	0.125	200	15	67
3	0.19	300	61	33
4	0.125	200	29	5
5	0.056	100	50	24
6	0.062	100	5	54
7	0.195	300	46	45
8	0.125	250	23	21
9	0.163	300	36	67
10	0.137	250	61	56

Depo ve çalışma istasyonları arasındaki mesafe, Tablo 7’te verilen koordinatlar arasındaki en kısa mesafe kadardır. Düşümler arası mesafe Tablo 8’te gösterilmiştir. Problem NP-zor kategorisinde olduğu için büyük bir veri setinde uygun zamanda optimal çözüm bulunamamaktadır. Bu sebeple, aracın atık toplama işlemi için çalışacağı süre, bir başka deyişle, uygun zamanda çözüm alınabilen süre 3000 birim zaman

olarak belirlenmiştir. Aracın hızı 1.2 m/s'dir. İki düğüm arasındaki ulaşım süresi (s), $\frac{\text{düğümler arasındaki mesafe (m)}}{1.2 (m/s)}$ kadardır. AGV parametrelerine Transolt internet sitesi üzerinden ulaşılmıştır. Oluşturulan ön tanımlı rotalar Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 8: Düğümler arası mesafe (m)

N	Depo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depo	0	58	68	69	29	55	54	64	31	76	82
1	58	0	61	14	30	6	60	26	32	50	36
2	68	61	0	57	63	55	16	38	46	21	47
3	69	14	57	0	42	14	59	19	39	42	23
4	29	30	63	42	0	28	54	43	17	62	60
5	55	6	55	14	28	0	54	21	27	45	33
6	54	60	16	59	54	54	0	41	37	33	56
7	64	26	38	19	43	21	41	0	33	24	18
8	31	32	46	39	17	27	37	33	0	47	51
9	76	50	21	42	62	45	33	24	47	0	27
10	82	36	47	23	60	33	56	18	51	27	0

3.3.2 Örnek Olay Çözümü ve Analizi

Bu bölümde, önceki bölümde tanımlanan örnek olay probleminin çözümüyle alınan sonuçlar incelenecektir. Optimal çözümün bulunması ortalama 8 saat sürmektedir.

Amaç, aracın tükettiği toplam enerjinin en küçüklenmesidir. Harcanan enerji; aracın hızı, aracın ön yüzey alanı, aerodinamik sürtünme katsayısı, yuvarlanma direnci, hava yoğunluğu, yer çekimi sabiti, aracın ağırlığı parametreleri ve taşınan yük karar değişkeni ile hesaplanmaktadır. Aracın 8 seferle olan çözümünün sonucunda tükettiği toplam enerji 288.263 kW olarak bulunmuştur. Çözümde her sefer için aracın atandığı rota ve rotadaki atık toplanmış çalışma istasyonları Tablo 10'da gösterilmiştir. Tabloda kırmızı renkte gösterilen çalışma istasyonlarından atık toplanmamıştır.

Problemin çözümüyle ulaşılan diğer bulgular Tablo 11'de yer almaktadır.

Tablo 11'te S sütunu seferi, R sütunu ise S seferinde aracın kullandığı rotayı göster-

Tablo 9: Ön tanımlı rotalar ve rotalardaki çalışma istasyonlarının sırası

		K											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	1	YAPAY ŞARJ KARARI ROTASI											
	2	D	4	1	7	9	D						
	3	D	4	1	9	D							
	4	D	8	5	10	2	6	D					
	5	D	8	5	6	2	D						
	6	D	6	2	5	D							
	7	D	4	8	5	1	7	6	3	2	9	10	D
	8	D	8	4	5	1	3	7	6	10	9	D	
	9	D	6	2	9	7	8	10	D				
	10	D	1	5	3	7	8	4	D				
	11	D	7	10	3	9	5	1	2	8	6	4	D
	12	D	2	6	9	8	7	5	1	10	3	D	
	13	D	3	5	1	7	8	4	10	D			
	14	D	9	2	6	7	8	10	D				
	15	D	10	7	3	5	9	1	8	2	D		

Tablo 10: Rota, şarj ve yük alma kararları

		K												
S	R	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	IT
1	7	D	4	8	5	1	7	6	3	2	9	10	D	
2	1	Ş A R J												
3	7	D	4	8	5	1	7	6	3	2	9	10	D	
4	1	Ş A R J												
5	11	D	7	10	3	9	5	1	2	8	6	4	D	
6	1	Ş A R J												
7	12	D	2	6	9	8	7	5	1	10	3	D		
8	10	D	1	5	3	7	8	4	D					

<i>S</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	↑	<i>N</i>	<i>EC</i>	<i>CEC</i>	Δ	Φ	<i>S</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	↑	<i>N</i>	<i>EC</i>	<i>CEC</i>	Δ	Φ					
1	7	0	1	D	0	0	728.2	0	5	11	3	1	3	2.81	10.31	2981.7	510.58					
		1	1	4	2.51	2.51	752.4	94.05			4	1	9	6	16.32	3016.7	666.69					
		2	1	8	1.65	4.16	766.5	191.63			5	1	5	7.2	23.52	3054.2	732.23					
		3	1	5	2.91	7.07	789	239.69			6	1	1	1	24.52	3059.2	956.91					
		4	1	1	0.68	7.75	794	406.38			7	1	2	11.72	36.24	3110	1090.49					
		5	1	7	3.42	11.16	815.7	573.57			8	1	8	9.51	45.75	3148.3	1251.35					
		6	1	6	6.14	17.31	849.9	665			9	1	6	8.31	54.06	3179.2	1327.89					
		7	1	3	9.43	26.74	899	846.74			10	1	4	12.58	66.64	3224.2	1500					
		8	1	2	10.26	37	946.5	1044.83			11	1	D	7.31	73.94	3248.3	1500					
		9	1	9	4.24	41.23	964	1299.33			6				1			D	Ş A R J			
		10	1	10	6.2	47.44	986.5	1500			7	12	0	1	D	0	0	3805.1	0			
11	1	D	20.66	68.09	1054.9	1500	1	1	2	5.89			5.89	4161.8	131.48							
2				1		D	Ş A R J						2	1	6	1.62	7.51	4175.1	193.23			
3	7	0	1	D	0	0	1523.1	0	3	1			9	3.56	11.07	4202.6	386.54					
		1	1	4	2.51	2.51	1847.3	136.86	4	0			8	6.07	17.14	4241.8	386.54					
		2	1	8	1.73	4.24	1861.4	273.72	5	1			7	4.26	21.41	4269.3	644.3					
		3	1	5	3.15	7.39	1883.9	335.04	6	0			5	3.31	24.72	4286.8	644.3					
		4	1	1	0.74	8.14	1888.9	545.26	7	1			1	0.95	25.66	4291.8	880.97					
		5	1	7	3.81	11.95	1910.6	758.76	8	1			10	6.61	32.28	4321.8	1067.19					
		6	1	6	6.98	18.93	1944.8	826.64	9	1			3	4.7	36.97	4341	1325.46					
		7	1	3	10.48	29.41	1993.9	1034.67	10	1			D	16.05	53.03	4398.5	1325.46					
		8	1	2	11.44	40.85	2041.4	1171.53	8	10	0	1	D	0	53.03	4677.5	0					
		9	1	9	4.53	45.38	2058.9	1350			1	1	1	5.02	58.05	4725.8	83.33					
		10	1	10	6.36	51.74	2081.4	1500			2	1	5	0.57	58.63	4730.8	177.22					
11	1	D	20.66	72.39	2149.8	1500	3	1			3	1.49	60.11	4742.5	253.51							
4				1		D	Ş A R J				4	1	7	2.18	62.29	4758.3	348.87					
5	11	0	1	D	0	0	2594.2	0			5	1	8	4.13	66.42	4785.8	553.56					
		1	1	7	5.54	5.54	2947.5	202.2			6	1	4	2.51	68.92	4800	750.54					
		2	1	10	1.96	7.5	2962.5	322.91			7	1	D	4.91	73.84	4824.2	750.54					

Tablo 11: Sonuç tablosu

mektedir. K rotadaki düğüm sırasındadır. N sütunu ise R rotası K sırasındaki düğümü ifade etmektedir. \uparrow , N düğümüne yapılan ziyarette atık toplanmışsa 1, toplanmamışsa 0 değerini almıştır. EC aracın bir önceki düğümünden o satırdaki düğüme gelene kadar harcadığı enerji miktarıdır. Bu değerlerin toplamı, matematiksel modelde en küçülenmek istenen amaç fonksiyonudur. CEC harcanan kümülatif enerjiyi göstermektedir. CEC değeri her şarj kararından sonra sıfırlanmaktadır. Δ ise satırda gösterilen düğümünden sonraki düğüme geçiş süresini göstermektedir. Φ , aracın satırda gösterilen düğümünden ayrılırken taşıdığı toplam yükü göstermektedir.

Tablo 11’te görüldüğü üzere aracın 2., 4. ve 6. seferinin ardından şarj kararı verilmiştir. Optimal çözümde ulaşılan sonuçlara göre planlama ufku boyunca;

- 4 kez uğranan çalışma istasyonları: 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10
- 5 kez uğranan çalışma istasyonları: 1, 3, 7

şeklinde. Bu ziyaretler sırasında 5. ve 8. çalışma istasyonlarından birer kez atık toplamama kararı verilmiştir.

Şekil 2, çalışma istasyonlarının zaman içerisindeki atık durumunu göstermektedir. Y eksenini çalışma istasyonunun atık kapasitesi doluluk oranını, x eksenini ise geçen süreyi göstermektedir. Doğruların üzerinde bulunan **x** işareti o anda istasyonun ziyaret edildiğini, ancak atık alınmadığını ifade etmektedir.

Grafik incelendiğinde, aracın çalışma istasyonlarına yaptığı ziyaretlerin eşit zaman aralığında olmadığı görülmüştür. Çalışma istasyonlarına yapılan ziyaret sayıları birbirinden farklıdır. Sürekli talep varsayımının olmadığı durumda, karar verici bu ziyaretlerin sayılarını kendisi belirleyecektir. Böyle bir durumda, aracın enerji tüketiminin optimal çözümle ulaşılan sonuçtan fazla olması beklenmektedir. İstasyonların birbirine olan uzaklığı, ortaya çıkardıkları atık miktarı ve rotalarda bulunan çalışma istasyonlarının farklı olmasından dolayı çalışma istasyonlarına eşit aralıklarla ve eşit ziyaret sayısı ile uğranılmasının etkili olmayacağı düşünülmektedir.

Grafikte görüldüğü üzere her çalışma istasyonunun başlangıçtaki atık miktarı, süre sonundaki atık miktarına eşittir. Bu sonuç çizelgelemenin sürekliliğini sağlamaktadır. Günlük bir çizelgeleme oluşturulduğunda diğer günlerde aynı çizelge ardışık olarak

kullanılabilecektir.

3.4 Örnek Olay Üzerinde Senaryo Analizleri

3.4.1 Sürekli Talep Varsayımının Olmadığı Senaryo Analizleri

Sürekli talep varsayımı olmadığına, geçen süreye bağlı oluşan atık hesaplanmayacaktır. Bu bağlamda geçen sürenin takip edildiği karar değişkeni kaldırılmıştır. Bu karar değişkeniyle alakalı olan 2.7 ve 2.8 matematiksel modelde kullanılmayacaktır. Toplanan yükü gösteren (Ω) karar değişkeni, parametreye dönüşecektir. Bu parametre, çalışma istasyonuna uğrandığında aracın o istasyondan toplayacağı yük miktarını göstermektedir. Bir çalışma istasyonundan her ziyarette toplanacak atık miktarı, planlama ufku boyunca oluşacak toplam atığın, o istasyona ziyaret sayısına bölümü kadardır. Örneğin 3. çalışma istasyonundan planlama ufku boyunca toplanacak yük miktarı 450 kg'dir. Araç 3. çalışma istasyonuna 3 kez uğrayacaksa, her bir ziyarette $450 / 3 = 150$ kg atık toplayacaktır. Sürekli talep varsayımının bulunmadığı senaryoda aracın her bir çalışma istasyonuna aynı sayıda uğramasına karar verilmiştir. Aracın her bir çalışma istasyonuna 5 kez uğraması durumunda olurlu bir çözüm bulunamamıştır. 8 sefer varsayımı ile çözüm alınmak istendiğinde, her istasyona 5 kez ziyareti sağlayan rota ve şarj kararları bulunamamaktadır. İstasyonların 1, 2 ve 3 kez ziyaret edileceği durumda, istasyonlardan her ziyarette alınacak atık miktarı, istasyonların atık kapasitesinden fazladır. Bu sebeple 1, 2 ve 3 ziyaret durumunda olurlu bir çözüm bulunamamaktadır. Aracın her çalışma istasyonuna 4 kez uğradığı sürekli talep varsayımının olmadığı model çözülmüştür. 4 ziyaret varsayımıyla çözülen modelin 259.04 kW enerji tüketimi sonucu verdiği görülmüştür.

Aracın çalışma istasyonlarına ziyaretini sağlayan yeni bir kısıt eklenecektir. Bu kısıtın sağ tarafı için çalışma istasyonlarına ziyaret sayısını gösteren yeni bir parametre tanımlanmıştır. Bu parametre;

$$ZS_n = nov \quad \forall n \in N - \{0\} \quad (3.1)$$

şeklinde. nov çalışma istasyonlarına yapılacak ziyaret sayısıdır. Ziyaret sayısını

sağlayacak olan kısıt ise;

$$\sum_s^S \sum_r^R \sum_{k:q_{r,k}=n}^K X_{s,r,k} = ZS_n \quad \forall n \in N - \{0\} \quad (3.2)$$

şeklindedir.

Sürekli talep varsayımının olmadığı durumda geçen sürenin hesaplandığı Δ , başlangıç stoğu IS karar değişkeni ve boşta geçirilen süre IT karar değişkeni matematiksel modele dahil edilmemiştir. Bu karar değişkenleriyle hesaplanan Ω karar değişkeni parametreye dönüşmüştür. Ω karar değişkeniyle ilgili olan 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 ve 2.13 numaralı kısıtlar matematiksel modele dahil edilmemiştir. Çalışma istasyonlarına ziyaret sayısının ön tanımlı olarak verildiği bu senaryoda, çalışma istasyonlarından her ziyarette alınacak atık miktarı bellidir. Bu atık miktarı, çalışma istasyonu atık kapasitesinden fazla olmamalıdır. Çalışma istasyonu atık kapasitesiyle alakalı olan 2.16 kısıtı matematiksel modele dahil edilmemiştir. Diğer bir çalışma istasyonu atık kapasitesi ile ilgili olan kısıt 2.17 yeniden düzenlenmiştir. Bu kısıt şu şekildedir;

$$\Omega_n \leq \omega_n \quad \forall n \in N \quad (3.3)$$

Planlama ufku boyunca toplanacak atık miktarı 3.2 kısıtı ile sağlandığı için 2.18 kısıtı kaldırılmıştır. Ω parametresinin değerleri şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\Omega_n = \frac{d_n}{ZS_n} \quad \forall n \in N \quad (3.4)$$

Aracın düğümler arası taşıdığı toplam atık miktarının hesaplandığı 2.14 kısıtı şu şekilde yeniden yazılmıştır;

$$\Phi_{s,k} = \sum_{k':k' \leq k}^{\vec{K}} X_{s,r,k'} * \Omega_{\zeta_{r,k'}} \quad \forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K} \quad (3.5)$$

<i>S</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	↑	<i>N</i>	<i>EC</i>	Ω	Φ	<i>S</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	↑	<i>N</i>	<i>EC</i>	Ω	Φ
1	7	0	1	D	0	0	0	5	7	0	1	D	0	0	0
		1	1	4	2.51	150	150			1	1	4	2.51	150	150
		2	0	8	1.75	0	150			2	0	8	1.75	0	150
		3	1	5	2.78	67.2	217.2			3	1	5	2.78	67.2	217.2
		4	1	1	0.66	230.4	447.6			4	1	1	0.66	230.4	447.6
		5	0	7	3.53	0	447.6			5	0	7	3.53	0	447.6
		6	1	6	5.57	74.4	522			6	1	6	5.57	74.4	522
		7	1	3	8.5	228	750			7	1	3	8.5	228	750
		8	1	2	9.65	150	900			8	1	2	9.65	150	900
		9	1	9	3.9	195.6	1095.6			9	1	9	3.9	195.6	1095.6
		10	1	10	5.6	164.4	1260			10	1	10	5.6	164.4	1260
		11	1	D	18.49	0	1260	11	1	D	18.49	0	1260		
2	10	0	1	D	0	0	0	7	9	0	1	Ş A R J			
		1	1	1	5.02	230.4	230.4			0	1	D	0	0	0
		2	1	5	0.67	67.2	297.6			1	1	6	4.68	74.4	74.4
		3	1	3	1.67	228	525.6			2	1	2	1.52	150	224.4
		4	1	7	2.75	234	759.6			3	1	9	2.34	195.6	420
		5	1	8	5.62	150	909.6			4	1	7	3.19	234	654
		6	1	4	3.18	150	1059.6			5	1	8	5.24	150	804
7	1	D	5.9	0	1059.6	6	1	10	8.94	164.4	968.4				
3	1	0	1	Ş A R J				7	1	D	15.85	0	968.4		
4	10	0	1	D	0	0	0	8	9	0	1	D	0	0	0
		1	1	1	5.02	230.4	230.4			1	1	6	4.68	74.4	74.4
		2	1	5	0.67	67.2	297.6			2	1	2	1.52	150	224.4
		3	1	3	1.67	228	525.6			3	1	9	2.34	195.6	420
		4	1	7	2.75	234	759.6			4	1	7	3.19	234	654
		5	1	8	5.62	150	909.6			5	1	8	5.24	150	804
		6	1	4	3.18	150	1059.6			6	1	10	8.94	164.4	968.4
7	1	D	5.9	0	1059.6	7	1	D	15.85	0	968.4				

Tablo 12: Sürekli talep varsayımı olmadan alınan sonuçlar

3.4.1.1 Sonuçlar

Sürekli talep varsayımının dahil edilmediği matematiksel modelin optimal sonuçları Tablo 12’da gösterilmektedir.

Sürekli talep varsayımının dahil edilmediği ve çalışma istasyonlarına 4’er kez uğranacağı varsayımıyla çözüm alınmıştır. Bu çalışmada ortaya konulan matematiksel modelin çözümünde ulaşılan toplam enerji tüketimi 288.263 kW olarak bulunmuştur. Bu bölümde tanımlanan matematiksel modelin optimal çözümüyle ulaşılan toplam enerji tüketimi 259.040 kW’dır. 8 seferli çözümde 5 kez rota seçimi yapılmıştır. Aracın her ziyarette alacağı yük miktarı, planlama ufku boyunca toplanacak yük miktarının 4’te 1’i kadardır. Bu ziyaretlerde toplanacak yük miktarının oluşması 1200 saniye sürmektedir. Bu sebeple her rota kararı için 1200 saniye geçtiği anlaşılmaktadır. Planlama ufku boyunca toplanan atık miktarının oluşması 4800 saniye sürmektedir. 5 rota kararıyla geçen süre 6000 saniyedir. Diğer bir deyişle; toplanan atık miktarı, geçen sürede oluşan atık miktarından daha azdır. Model, 4 rota kararı için kısıtlanarak tekrar özölmüştür. Bunu sağlamak adına, batarya kapasitesi, büyük bir sayıya dönüştürölmüştür. 4 seferli özölen problem için olurlu bir sonuç ortaya çıkmamıştır. Bu bağlamda, bu çalışmada geliştirilen matematiksel modelin daha doğru sonuçlar ortaya koyduğu söylenebilir.

Bir tesiste üretim süreçlerinden kaynaklanan atığın oluşması genellikle süreklidir. Sabit sayıda ziyaret ile oluşturulan modelde, sabit miktarda atık toplanacağı varsayımı gerçeği yansıtmayabilir. Aracın rota üzerinde geçirdiği süre, şarj süresi ve bekleme süreleri sürekli talep takibini gerekli kılmaktadır.

3.4.2 Yüke Bağlı Enerji Tüketiminin Olmadığı Senaryo Analizi

Yüke bağlı enerji tüketimi varsayımının olmadığı senaryoda taşınan yük sabit kabul edilecektir. Böyle bir durumda problem en kısa mesafe problemine dönüşmektedir.

Bu senaryoda ana varsayımlarla oluşturulan matematiksel modeldeki (2.19) numaralı harcanan enerji kısıtında bulunan, taşınan yükü gösteren karar değişkeni terimi sabit kabul edilecektir. Bu değerin, aracın taşıma kapasitesinin yarısı kadar olduğu

varsayılmıştır. 2.19 kısıtının yeniden düzenlenmiş hali şu şekildedir;

$$EC_{s,k} \geq (\alpha + \beta * (\frac{\sigma}{2} + WoV)) * \delta_{\zeta_{r,k-1}, \zeta_{r,k}} + (\Lambda_{s,r} - 1) * \mu \quad (3.6)$$

$$\forall s \in S, r \in R, k \in \vec{K}$$

σ parametresi aracın taşıma kapasitesidir.

Yüke bağlı enerji tüketimi varsayımının dahil edilmediği matematiksel modelin optimal sonuçları Tablo 13’de gösterilmektedir. Problemin çözümüyle ulaşılan enerji tüketimi 294.06 kW olarak saptanmıştır. Çalışmada geliştirilen matematiksel modelin çözümünde ulaşılan toplam enerji tüketimi ise 288.263 kW olarak bulunmuştur.

Taşımada kullanılan araçların toplam ağırlığı, kullandıkları süreçte oldukça değişkendir. Elektrikli araçlar sınırlı menzile sahip olduğu için enerji tüketiminin doğru hesaplanması önemlidir. Harcanan enerjinin eksik saptanması uygulanamayacak sonuçlar elde edilmesine sebep olabilir. Harcanan enerjinin gerçek tüketimden fazla bulunmuş olması ise araçtan alınacak verimin düşmesine sebep olabilir. Taşınan yük miktarı, harcanan enerjiyi etkilemektedir. Kısıtlı menzile sahip elektrikli araçlar için, taşınan yükün, tüketilen enerji hesaplanmasına dahil edilmesi gerekmektedir.

<i>S</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	↑	<i>N</i>	<i>EC</i>	Ω	Δ	<i>S</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	↑	<i>N</i>	<i>EC</i>	Ω	Δ
1	7	0	1	D	4.91	0	836.56	5	12	3	1	9	7.96	0	3380.16
1	7	1	1	4	2.88	136.86	860.72	5	12	4	0	8	5.59	0	3419.33
1	7	2	1	8	4.57	136.86	874.89	5	12	5	1	7	3.55	0	3446.83
1	7	3	1	5	1.02	61.31	897.39	5	12	6	0	5	1.02	0	3464.33
1	7	4	1	1	4.4	210.22	902.39	5	12	7	1	1	6.09	268.16	3469.33
1	7	5	1	7	6.94	213.5	924.06	5	12	8	1	10	3.89	208.7	3499.33
1	7	6	1	6	9.99	67.88	958.22	5	12	9	1	3	11.68	0	3518.5
1	7	7	1	3	9.65	208.03	1007.39	5	12	10	1	D	0	0	3576
1	7	8	1	2	3.55	136.86	1054.89	6	10	0	1	D	9.82	0	3690.97
1	7	9	1	9	4.57	178.47	1072.39	6	10	1	1	1	1.02	51.84	3739.31
1	7	10	1	10	13.88	150	1094.89	6	10	2	1	5	2.37	0	3744.31
1	7	11	1	D	0	0	1163.22	6	10	3	0	3	3.22	0	3755.97
2	1	0	1	D	0	0	1307.64	6	10	4	1	7	5.59	353.11	3771.81
3	11	0	1	D	10.83	0	1307.64	6	10	5	1	8	2.88	204.69	3799.31
3	11	1	1	7	3.05	202.2	1960.97	6	10	6	1	4	4.91	0	3813.47
3	11	2	1	10	3.89	120.71	1975.97	6	10	7	1	D	0	0	3837.64
3	11	3	1	3	7.11	187.67	1995.14	7	1	0	1	D	0	0	3941.67
3	11	4	1	9	7.62	156.11	2030.14	8	7	0	1	D	4.91	0	3941.67
3	11	5	1	5	1.02	65.53	2067.64	8	7	1	1	4	2.88	291.02	4565.83
3	11	6	1	1	10.32	224.69	2072.64	8	7	2	1	8	4.57	97.59	4580
3	11	7	1	2	7.79	133.57	2123.47	8	7	3	1	5	1.02	141.95	4602.5
3	11	8	1	8	6.26	160.86	2161.81	8	7	4	1	1	4.4	166.69	4607.5
3	11	9	1	6	9.14	76.53	2192.64	8	7	5	1	7	6.94	167.19	4629.17
3	11	10	1	4	4.91	172.11	2237.64	8	7	6	1	6	9.99	81.26	4663.33
3	11	11	1	D	0	0	2261.81	8	7	7	1	3	9.65	516.3	4712.5
4	1	0	1	D	0	0	2682.66	8	7	8	1	2	3.55	177.58	4760
5	12	0	1	D	11.51	0	2682.66	8	7	9	1	9	4.57	447.82	4777.5
5	12	1	1	2	2.71	151.98	3339.33	8	7	10	1	10	13.88	178.19	4800
5	12	2	1	6	5.59	71.92	3352.66	8	7	11	1	D	0	0	4868.33

Tablo 13: Yüke bağlı enerji tüketimi varsayımı olmadan alınan sonuçlar

BÖLÜM 4

SONUÇ

İşletmeler karar verme süreçleriyle operasyonlarını daha etkili yönetmeyi amaçlamaktadır. Bir organizasyonun vereceği kararların sayısı çok büyük miktarda olabilir. Verilen kararlar işletmelerin maliyetlerini, kârını ve hizmet kalitesini tamamen etkilemektedir. Otomasyon sistemlerinin etkin ve verimli şekilde kullanımı, işletmeler adına daha verimli sonuçlar alınmasını destekleyecektir. Bu sebeple etkin yönetimleri oldukça önemlidir.

Endüstrinin dördüncü devrimi ile birlikte otomasyon sistemler tesis ve depolarda yaygınlaşmıştır. Otomasyon sistemlere dahil olan otomatik yönlendirmeli araçlar her geçen gün daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Aynı zamanda, bu araçlarla ilgili yapılan araştırmaların sayısında artış gözlemlenmektedir.

Elektrikli araçların kullanım süreçlerinin planlanmasında, çizelgeleme önemli yer tutmaktadır. Firmaların bu araçların kullanımını planlarken araçların ortaya çıkardığı maliyetler doğru analiz edilmelidir. Araç çizelgeleme probleminin tanımının doğru yapılması için aracın etkilendiği koşullar dikkate alınmalıdır. Araçların parametrelerinin ve kısıtlarının iyi anlaşılması gerçek hayatta yapılan analizleri değersiz kılabilir. Nihayetinde, araştırmacılar gerçek hayatta planlama oluştururken faydalı olacak farklı matematiksel modeller oluşturmaktadır. Bir matematiksel modelin oluşturulmasında gerçek hayatın birebir modele dönüştürülmesi çoğu zaman mümkün olmayabilir. Gerçek hayatta çok sayıda değişken ve parametre bulunmaktadır. Ayrıca gerçek hayatta beklenmedik durumlarla karşılaşılabilir. Problemin gerçek hayattaki verilerle ya da buna yakın büyüklükteki verilerle uygulanabilir bir çözüm bulmak çok uzun bir süreç olabilir. Bu sebeple yapılan çalışmalarda uygun zamanda çözüm alınabilir verilerle ve varsayımlarla modeller oluşturulmaktadır.

Bu tez çalışmasında oluşturulan iki ana varsayım yüke bağlı enerji tüketimi ve sürekli talep varsayımlarıdır. Bu varsayımların dahil olmasıyla gerçek hayatın modellenmesine önceki çalışmalardan daha fazla yaklaşılmıştır. Zira, yapılan literatür araştırmasına göre bu varsayımlar araç çizelgeleme problemlerine dahil edilmemiştir. Dolayısıyla, çalışmada geliştirilen matematiksel modelin ve ortaya çıkan sonuçların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Gerekli analizlerin yapılması için oluşturulan problemde, 8 farklı sefer, 1 depo, 10 çalışma istasyonu ve 15 ön tanımlı rota kullanılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde problemdeki ana varsayımlardan biri olan sürekli talep varsayımı probleme dahil edilmediğinde gerçekçi sonuçlar ortaya koymadığı görülmektedir. Sürekli talep varsayımının olmadığı senaryoda alınan sonuç, çalışmada ortaya konulmuş olan matematiksel modelin çözümüyle alınan sonuçtan %16,5 daha az enerji tüketiminin olduğunu göstermektedir. Ancak, sürekli talep varsayımının dahil edilmediği modelin çözümüyle alınan sonuçlarda, aracın atık toplama kararı verdiği çalışma istasyonlarında oluşan atık miktarı, geçen sürede oluşacak atık miktarıyla uyumsuzdur. Atık toplama kararları ve geçen süre göz önünde bulundurularak Kapsamlı Yaygın Emisyon Modeli ile hesaplanan harcanan enerji miktarının da asıl problemde alınan sonuçtan %8.6 daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Problemin ana varsayımlarından olan yüke bağlı enerji tüketimi varsayımının dahil edilmediği senaryo, aracın taşıdığı yük sabit kabul edilerek ana problemin diğer varsayımlarıyla yeniden çözülmüştür. Taşınan yük miktarının aracın yük taşıma kapasitesinin yarısı kadar olduğu varsayılmıştır. Bu senaryoda alınan sonuç %3.8 daha fazla enerji tüketiminin olacağı sonucunu vermiştir. Çalışmada geliştirilen modelde alınan sonuçlara göre 2 kez atık toplama kararı verilmiştir. Daha uzun seferli yapılacak çözümlerde problemin esnek verileri sayesinde bu sayının daha fazla olacağı ön görülmektedir. Bu durumda ise iki çözüm arasındaki farkın daha fazla olacağı söylenebilir.

Bu çalışma sayesinde, yüke bağlı enerji tüketimi ve sürekli talep varsayımları dahil edildiğinde araç çizelgeleme probleminin çözümünde alınan sonuçlarda değişim gözlenmiştir. Bu varsayımların dahil edilmediği senaryoda yanlış ya da gerçek hayatta uygulanamaz sonuçlar elde edilebileceği ortaya konmuştur. Bu bağlamda bu varsayımların

yımların elektrikli araç çizelgeleme problemine dahil edilmesi önemli görülmüştür. İlerleyen çalışmalarda bu yöntem, sezgisel yaklaşımlarla daha büyük problemler için geliştirilerek uygulanabilir. Ayrıca çok araçlı çözüm oluşturulabilir. Bu sayede uzun şarj sürelerine sahip olabilen elektrikli araçların hangi sırayla şarj edileceği probleme dahil edilebilir.

KAYNAKÇA

- Alnahhal, M., & Noche, B. (2013). Efficient material flow in mixed model assembly lines. *SpringerPlus*, 2(1), 1–12.
- Alnahhal, M., & Noche, B. (2015). A genetic algorithm for supermarket location problem. *Assembly Automation*.
- Ammer, C. (1989). *Fighting Words: From War, Rebellion, and Other Combative Capers*. Paragon House. <https://books.google.com.tr/books?id=Y74gAQAAIAAJ>
- Arlı, E. (2009). Uluslararası Fiziksel Dağıtımda Antrepo Sahipliğinin İhracat Yapan İşletmelerin Performansına Etkileri. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Barth, M., Scora, G., & Younglove, T. (2004). Modal emissions model for heavy-duty diesel vehicles. *Transportation Research Record*, 1880(1), 10–20.
- Baskak, M., Durmusoglu, M., & Kilic, H. (2012). Classification and modeling for in-plant milk-run distribution systems.
- Basnet, C. (2013). The measurement of internal supply chain integration. *Management Research Review*.
- Baudin, M. (2005). *Lean logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods*. CRC press.
- Bocewicz, G., Nielsen, I., & Zbigniew, B. (2019). A decision support model for prototyping in-plant milk-run traffic systems. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 814–819.
- Bostelman, R., Teizer, J., Ray, S. J., Agronin, M., & Albanese, D. (2014). Methods for improving visibility measurement standards of powered industrial vehicles. *Safety science*, 62, 257–270.
- Boysen, N., Briskorn, D., & Emde, S. (2018). Scheduling electric vehicles and locating charging stations on a path. *Journal of Scheduling*, 21(1), 111–126.
- Brundtland, G. H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., & Chidzero, B. (1987). Our common future. *New York*, 8.

- Bunte, S., & Kliewer, N. (2009). An overview on vehicle scheduling models. *Public Transport, 1*(4), 299–317.
- Chao, Z., & Xiaohong, C. (2013). Optimizing battery electric bus transit vehicle scheduling with battery exchanging: Model and case study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 96*, 2725–2736.
- Chen, Z., & Sarker, B. R. (2014). An integrated optimal inventory lot-sizing and vehicle-routing model for a multisupplier single-assembler system with JIT delivery. *International journal of production research, 52*(17), 5086–5114.
- Christofides, N., & Eilon, S. (1969). An algorithm for the vehicle-dispatching problem. *Journal of the Operational Research Society, 20*(3), 309–318.
- Council of Logistics Management. (1998). Logistics Excellence: Vision, Processes, and People. *Council of Logistics Management 1998 Annual Conference*.
- Crow, M. L. Vd. (2017). Electric vehicle scheduling considering co-optimized customer and system objectives. *IEEE Transactions on Sustainable Energy, 9*(1), 410–419.
- Çimen, M. (2009). *Statik deterministik talepli envanter yönetiminde en iyileme ve bir planlama faktörü olarak paranın zaman değeri* (Master's thesis). Hacettepe Üniversitesi.
- Dablanc, L. (2007). Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41*(3), 280–285.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science, 6*(1), 80–91.
- Dantzig, G. B., & Thapa, M. N. (1997). The Linear Programming Problem. *Linear Programming: 1: Introduction, 1–33*.
- Diaz-Madronero, M., Mula, J., & Peidro, D. (2017). A mathematical programming model for integrating production and procurement transport decisions. *Applied Mathematical Modelling, 52*, 527–543.
- Dündar, H., Ömürgönülşen, M., & Soysal, M. (2020). A review on sustainable urban vehicle routing. *Journal of Cleaner Production, 125444*.
- Ellinger, A. E., Daugherty, P. J., & Gustin, C. M. (1997). The relationship between integrated logistics and customer service. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 33*(2), 129–138.

- Emde, S., Abedinnia, H., & Glock, C. H. (2018). Scheduling electric vehicles making milk-runs for just-in-time delivery. *IISE Transactions*, 50(11), 1013–1025.
- Engardio, P., Capell, K., Carey, J., & Hall, K. (2007). Beyond the green corporation. *Business week*, 29, 50–64.
- Gebhardt Website. (n.d.). AGV-860.01. <https://www.gebhardt-foerdertechnik.de/en/products/automated-guided-vehicle/agv-86001/#:~:text=The%5C%20AGV%5C%2D860.01%5C%20is%5C%20stabilized,speed%5C%20of%5C%201.5%5C%20m%5C%2Fs>. accessed: 21.11.2020
- Ghee, R., & King, T. (2014). Iberia becomes first airline to launch home-printed bag tags globally. <https://www.futuretravelexperience.com/2013/07/iberia-becomes-first-airline-to-launch-home-printed-bag-tags-globally/> accessed: 05.02.2021
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to logistics systems management*. John Wiley & Sons.
- Häll, C. H., Ceder, A., Ekström, J., & Quttineh, N.-H. (2019). Adjustments of public transit operations planning process for the use of electric buses. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 23(3), 216–230.
- Hannappel, R. (2017). The impact of global warming on the automotive industry, In *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC.
- Harland, C. M. (1996). Supply Chain Management: Relationships, Chains and Networks. *British Journal of Management*, 7, 63–80.
- Jonsson, P., & Mattsson, S.-A. (2013). The value of sharing planning information in supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(4), 282–299.
- Jóźwicka, M. (2018). Electric vehicles: moving towards a sustainable mobility system. <https://www.eea.europa.eu/articles/electric-vehicles-moving-towards-a> accessed: 20.02.2021
- Kancharla, S. R., & Ramadurai, G. (2018). An adaptive large neighborhood search approach for electric vehicle routing with load-dependent energy consumption. *Transportation in Developing Economies*, 4(2), 10.
- Kancharla, S. R., & Ramadurai, G. (2020). Electric vehicle routing problem with non-linear charging and load-dependent discharging. *Expert Systems with Applications*, 160, 113714.

- Kilic, H. S., & Durmusoglu, M. B. (2013). A mathematical model and a heuristic approach for periodic material delivery in lean production environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5-8), 977–992.
- Küçükoğlu, İ., Yağmahan, B., Çağlıyan, M. S., Yildiz, A., & Aktokluk, D. (2018). İç Lojistik Sisteminde Malzeme Tedariği İçin Geliştirilmiş Matematiksel Modelleme Yaklaşımı: Bir Uygulama. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4), 159–176.
- Lambert, D. M., & Stock, J. R. (1982). *Strategic physical distribution management*. RD Irwin.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6, 239–242.
- Li, C., Cao, Y., Zhang, M., Wang, J., Liu, J., Shi, H., & Geng, Y. (2015). Hidden benefits of electric vehicles for addressing climate change. *Scientific reports*, 5(1), 1–4.
- Li, J. Q. (2014). Transit bus scheduling with limited energy. *Transportation Science*, 48(4), 521–539.
- Li, L., Lo, H., & Xiao, F. (2019). Mixed bus fleet scheduling under range and refueling constraints. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 104, 443–462.
- Ma, H., Balthasar, F., Tait, N., Riera-Palou, X., & Harrison, A. (2012). A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. *Energy policy*, 44, 160–173.
- Muller, T. (1983). Automated guided vehicles.
- Nagy, V., & Horváth, B. (2020). The effects of autonomous buses to vehicle scheduling system. *Procedia Computer Science*, 170, 235–240.
- Niekerk, M. E., van Kooten, van den Akker, J., & Hoogeveen, J. (2017). Scheduling electric vehicles. *Public Transport*, 9(1), 155–176.
- Parashkevova, L. (2007). Logistics outsourcing—A means of assuring the competitive advantage for an organization. *Vadyba/management*, 2(15), 29–38.
- Peterson, S. B., & Michalek, J. J. (2013). Cost-effectiveness of plug-in hybrid electric vehicle battery capacity and charging infrastructure investment for reducing US gasoline consumption. *Energy policy*, 52, 429–438.

- Qiu, Q., Li, J., & Yu, H. (2013). Operational Planning of Electric Bus Considering Battery State of Charge, In *LTLGB 2012*. Springer.
- Rigas, E. S., Ramchurn, S. D., & Bassiliades, N. (2018). Algorithms for electric vehicle scheduling in large-scale mobility-on-demand schemes. *Artificial Intelligence*, 262, 248–278.
- Rivard-Royer, H., Landry, S., & Beaulieu, M. (2002). Hybrid stockless: a case study. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Rogge, M., van der Hurk, E., Larsen, A., & Sauer, D. U. (2018). Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure. *Applied Energy*, 211, 282–295.
- Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M., & Khreis, H. (2017). Autonomous vehicles and public health: literature review. *Journal of Transport & Health*, 5, S13.
- Sassi, O., & Oulamara, A. (2017). Electric vehicle scheduling and optimal charging problem: complexity, exact and heuristic approaches. *International Journal of Production Research*, 55(2), 519–535.
- Satoğlu, Ş. I., & Sipahioğlu, A. (2018). An Assignment Based Modelling Approach For The Inventory Routing Problem of Material Supply System Of The Assembly Lines. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 36(1).
- Sipahioğlu, A., & Altın, İ. (2019). A mathematical model for in-plant Milk-Run routing. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(9), 1050–1055.
- Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of forecasting*, 21(2), 303–314.
- Şengül, Ü. (2011). Tersine Lojistik Kavramı ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (n.d.). Transportation. <https://www.britannica.com/technology/transportation-technology> accessed: 21.11.2020
- Transolt Website. (n.d.). OUR SOLUTIONS | TRANSOLT. <https://transolt.com/models> accessed: 21.11.2020
- Trappey, A. J., Trappey, C. V., & Wu, C.-R. (2010). Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. *Expert Systems with Applications*, 37(11), 7329–7335.

- Vis, I. F. (2006). Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 677–709.
- Wang, H., & Shen, J. (2007). Heuristic approaches for solving transit vehicle scheduling problem with route and fueling time constraints. *Applied Mathematics and Computation*, 190(2), 1237–1249.
- Wegner, A. C. (1917). *Electric Railway Journal*. McGraw Hill Publishing Company. <https://books.google.com.tr/books?id=z45NAAAAYAAJ>
- Wen, M., Linde, E., Ropke, S., Mirchandani, P., & Larsen, A. (2016). An adaptive large neighborhood search heuristic for the electric vehicle scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 76, 73–83.
- Xu, T., Shi, F., & Liu, W. (2019). Research on Open-pit Mine Vehicle Scheduling Problem with Approximate Dynamic Programming, In *2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS)*. IEEE.
- Yao, E., Liu, T., Lu, T., & Yang, Y. (2020). Optimization of electric vehicle scheduling with multiple vehicle types in public transport. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101862.
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 546–556.
- Zhang, R., Rossi, F., & Pavone, M. (2016). Model predictive control of autonomous mobility-on-demand systems, In *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE.
- Zhou, B.-h., & Tan, F. (2018). Electric vehicle handling routing and battery swap station location optimisation for automotive assembly lines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(10), 978–991.
- Zuo, X., Chen, C., Tan, W., & Zhou, M. (2014). Vehicle scheduling of an urban bus line via an improved multiobjective genetic algorithm. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 16(2), 1030–1041.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 17/06/2021

Tez Başlığı: Elektrikli Araçlar İçin Bir Fabrika İçi Çizelgeleme Problemi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 55 sayfalık kısmına ilişkin, 17/06/2021 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %2 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- 2- Kaynakça hariç
- 3- Alıntılar hariç
- 4- Alıntılar dâhil
- 5- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler 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: Nizameddin ALYAPRAK

Öğrenci No: N18137456

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üye. Mustafa Çimen



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 04/07/2021

Tez Başlığı: Sürekli Talep ve Yüke Bağlı Enerji Tüketimi Varsayımları ile Tesis İçi Elektrikli Araç Çizelgeleme Problemi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır,
2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir.
4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi 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: Nizameddin Alyaprak

Öğrenci No: N18137456

Anabilim Dalı: İşletme Anabilim Dalı

Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

Statüsü: Yüksek Lisans Doktora Bütünleşik Doktora

DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Çimen

Detaylı Bilgi: <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr>

Telefon: 0-312-2976860

Faks: 0-3122992147

E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr



**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
ETHICS COMMISSION FORM FOR THESIS**

**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
BUSINESS ADMINISTRATION DEPARTMENT**

Date: 04/07/2021

Thesis Title: In-plant Electric Vehicle Scheduling Problem with Continuous Demand and Load-Dependent Energy Consumption Assumptions

My thesis work related to the title above:

1. Does not perform experimentation on animals or people.
2. Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.).
3. Does not involve any interference of the body's integrity.
4. Is not based on observational and descriptive research (survey, interview, measures/scales, data scanning, system-model development).

I declare, I have carefully read Hacettepe University's Ethics Regulations and the Commission's Guidelines, and in order to proceed with my thesis according to these regulations I do not have to get permission from the Ethics Board/Commission for anything; in any infringement of the regulations I accept all legal responsibility and I declare that all the information I have provided is true.

I respectfully submit this for approval.

Date and Signature

Name Surname: Nizameddin Alyaprak
Student No: N18137456
Department: Business Administration
Program: Production Management and Quantitative Methods
Status: MA Ph.D. Combined MA/ Ph.D.

ADVISER COMMENTS AND APPROVAL

Asstn. Prof. Dr. Mustafa Çimen