



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi Bilim Dalı

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ŞEHİR İÇİ DİNAMİK ARAÇ ROTALAMA  
PROBLEMİ ÜZERİNE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ**

Hasan DÜNDAR

Doktora Tezi

Ankara, 2020



# **SÜRDÜRÜLEBİLİR ŞEHİR İÇİ DİNAMİK ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÜZERİNE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ**

Hasan DÜNDAR

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi Bilim Dalı

Doktora Tezi

Ankara, 2020

## 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. <sup>(1)</sup>
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir. <sup>(2)</sup>
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. <sup>(3)</sup>

30/06/2020

**Hasan DÜNDAR**

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

- (1) *Madde 6. 1. Lisansüstü teze 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 metotların 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 özgün olduğunu, **Doç. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN** danışmanlığında, **Doç. Dr. Mehmet SOYSAL** ortak danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

**Hasan DÜNDAR**

*Aileme ve ÷lkeme ithafen*

## TEŞEKKÜR

*Doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini sabırla bana aktaran, akademik hayatımda önemli yerleri olan danışmanlarım Doç. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN'e ve Doç. Dr. Mehmet SOYSAL'a saygı, şükran ve minnettarlığımı sunarım.*

*Tez jürimde bulunan sayın hocalarım Doç. Dr. Ayşegül TAŞ, Doç. Dr. Hatice ÇALIPINAR, Doç. Dr. Pelin SÜRÜCÜ ÖZGEN ve Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ'e değerli katkıları için teşekkürlerimi sunarım.*

*Beni her fırsatta destekleyen tüm hocalarım ile mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.*

*Hayatımın her aşamasında yanımda olan ve varlıkları ile bana güç veren aileme; kendilerini bensiz bırakan ama beni onlarsız bırakmayan sevgili eşim ve oğluma sonsuz teşekkür ederim.*

## ÖZET

DÜNDAR, Hasan, *Sürdürülebilir Şehir İçi Dinamik Araç Rotalama Problemi Üzerine Bir Karar Destek Sistemi Önerisi*, Doktora Tezi, Ankara, 2020.

Lojistik sektörü, sürdürülebilirlik çerçevesinde getirilen yasal düzenlemeler ve kısıtlamalar ile şekillendirilmektedir. Söz konusu düzenlemelerden bazıları, araç kullanımına bağlı sera gazları salınımı sorunu, bu gazların insan sağlığına zararlı etkileri, gürültü seviyesindeki artışı ve trafik kazaları gibi tüm olumsuz faktörleri azaltmak üzere alınmaktadır. Bu çalışmada, dinamik şehir içi dağıtım problemleri için sürdürülebilir lojistik yönetimi kapsamında kullanılacak bir karar destek sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için çalışmanın ilk kısmında, sürdürülebilir şehir içi araç rotalama probleminde temel lojistik amaçları ve performans göstergelerini tanımlamak, literatürde yer alan karar destek modelleri analiz edilmiştir. Literatür taraması sonucuna göre, yeşil veya sürdürülebilirlik göstergelerini dikkate alan çalışmalarda, sera gazı salınımının azalmasının yanı sıra, lojistik maliyetlerinin de önemli oranda azalabileceği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, sera gazlarını minimize etmek için kullanılan yakıt tüketimi hesaplamalarında, yolların gerçek eğimlerinin dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgudan yola çıkarak, çalışmanın ikinci kısmında, gezgin satıcı probleminde, kapsamlı yakıt tüketimi ve dinamik müşteri talebini dikkate almanın performans göstergelerine etkisi araştırılmıştır. Detaylı yakıt tüketimi hesaplamak için gerçek eğimler coğrafi bilgi sisteminden, gerçek mesafe ile hızlar ise, Google haritalardan elde edilmiştir. Detaylı yakıt tüketiminin hesaplanması ile oluşturulan rotalarda ne kadar fayda sağlandığını tespit etmek için; mesafe, seyahat süresi, eğim sıfır olarak kabul edilerek hesaplanan yakıt tüketimi, eğim ortalama olarak kabul edilerek hesaplanan yakıt tüketimi ve gerçekçi eğim dikkate alınarak hesaplanan yakıt tüketimi ile oluşturulan rotaların nümerik analizleri yapılmıştır. Ankara merkez ilçelerdeki 42 adet aile sağlığı merkezlerinden laboratuvar örneği toplama senaryosu için geliştirilen karar destek sistemi, araç yola çıktıktan sonra oluşan talep güncellemelerini (talep ekleme-çıkartma) dikkate alarak rota optimizasyonu yapabilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, gerçek eğim dikkate alınarak yakıt tüketiminin hesaplanması, statik senaryolarda %1,15'e kadar, dinamik senaryolarda %34,15'e kadar yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bu çalışmanın, şehir içi sürdürülebilir



araç rotalama problemi ve yakıt tüketimi hesaplama yöntemi konularındaki gelecek çalışmalara rehberlik etmesi açısından, literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

### **Anahtar Sözcükler**

Şehir içi sürdürülebilir araç rotalama problemi, yeşil lojistik, gezgin satıcı problemi, literatür taraması, karar destek sistemi, yakıt tüketimi

## ABSTRACT

DUNDAR, Hasan. *A Decision Support Tool for Sustainable Urban Dynamic Vehicle Routing Problem*, PhD Dissertation, Ankara, 2020.

The logistics industry is modified by legal regulations and restrictions introduced within the context of sustainability. These regulations are taken to reduce all negative factors such as greenhouse gas emission problems related to vehicle use, harmful effects of these gases on human health, an increase in noise level and traffic accidents. In this study, it is aimed to develop a decision support system that can be used within the scope of sustainable logistics management for dynamic urban distribution problems. To achieve this aim, in the first part of this study, the main logistic objectives and performance indicators in the sustainable urban vehicle routing problem and the decision support models in the literature were analyzed. According to the results of the literature review, it has been observed that in studies taking the green or sustainability indicators into account, logistics costs might be reduced significantly in addition to the decrease in greenhouse gas emissions. Also, it was found that the realistic slope of the roads was not considered in the fuel consumption functions employed. In the light of this finding, in the second part of the study, the effects of considering explicit fuel consumption calculation and dynamic customer demand on the performance indicators of the traveling salesman problem were investigated. Realistic road slopes were obtained from the geographic information system and actual distances, and speeds were obtained from Google maps, to calculate an explicit fuel consumption. In order to determine how much benefit was achieved in the routes created by calculating explicit fuel consumption, numerical analysis of the routes created with distance minimization, travel time minimization, fuel minimization by assuming the road slope as zero, fuel minimization by assuming the slope as average, and fuel minimization by assuming the slope as realistic, was made. The decision support system developed for the collection of laboratory samples from 42 family health clinics, in central districts of Ankara, can handle the dynamic requests. It can optimize the routes by taking into account the demand updates (demand addition-subtraction) occurring after the start of delivery operations. According to the results obtained, the calculation of fuel consumption by taking the realistic road slopes into account provides fuel savings of up to 1.15% in static scenarios and 34.15% in dynamic scenarios. It is seen that this study will

contribute to the literature in terms of guiding future studies on urban sustainable vehicle routing problem and fuel consumption calculation method.

**Key Words**

Sustainable Urban Vehicle Routing Problem, Green Logistics, Traveling Salesman Problem, Literature Review, Decision Support System, Fuel Consumption

## İÇİNDEKİLER

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ .....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
GİRİŞ .....	1
Çalışma Tasarımı .....	3
1. BÖLÜM .....	9
ŞEHİR İÇİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ LİTERATÜR TARAMASI.....	9
1.1 ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (ARP).....	10
1.1.1 ARP'nin Amacı .....	12
1.1.2 ARP Sınıflandırmaları .....	12
1.1.3 ARP'de kullanılan Çözüm Yöntemleri .....	13
1.2 ŞEHİR İÇİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ARP (SARP) .....	14
1.2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı .....	14
1.2.2 Literatür Taraması .....	18
1.2.3 SARP Alanında Literatür Taraması Yapan Çalışmaların İncelenmesi .	21
1.2.4 Sürdürülebilirliğin İktisadi Boyutunu Dikkate Alan Çalışmalar.....	24
1.2.5 İktisadi ve Çevre Odaklı Çalışmalar.....	29
1.2.6 İktisadi ve Sosyal Odaklı Çalışmalar .....	35

1.2.7	İktisadi, Çevresel ve Sosyal Odaklı Çalışmalar .....	41
1.2.8	Diğer Çalışmalar.....	49
1.3	BULGULAR .....	51
1.3.1	Sürdürülebilirliğin İktisadi Boyutuna Dair Bulgular.....	53
1.3.2	Sürdürülebilirliğin Çevresel Boyutuna Dair Bulgular.....	53
1.3.3	Sürdürülebilirliğin Sosyal Boyutuna Dair Bulgular .....	55
1.3.4	Yeşil ve Sürdürülebilir ARP'nin Kârlılığa Etkisi.....	56
1.3.5	Diğer Bulgular .....	56
1.4	LİTERATÜR TARAMASI SONUCU .....	60
2.	BÖLÜM .....	62
	COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI YEŞİL DİNAMİK GEZGİN SATICI PROBLEMİ KARAR DESTEK SİSTEMİ.....	62
2.1	Yeşil Dinamik Gezgin Satıcı Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	64
2.1.1	Yeşil Araç Rotalama Problemi.....	64
2.1.2	Araç Rotalama Probleminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı.....	65
2.1.3	Araç Rotalama Probleminde Yakıt Tüketimi .....	65
2.1.4	Dinamik Araç Rotalama Problemi .....	66
2.2	Problem Tanımı.....	70
2.2.1	Çalışmada Kullanılan Amaç Fonksiyonları .....	70
2.3	Yeşil Dinamik Gezgin Satıcı Problemi ve Çözüm Yöntemi .....	71
2.3.1	Gezgin Satıcı Problemi Matematiksel Modeli .....	71
2.3.2	Yakıt Tüketiminin Hesaplanması.....	73
2.3.3	Ortalama Eğim ve Değişken Hızlı Yakıt Tüketiminin Hesaplanması...75	
2.3.4	Gerçek Eğim ve Değişken Hızlı Yakıt Tüketiminin Hesaplanması.....	76
2.3.5	Dinamik Gezgin Satıcı Problemi Çözüm Yöntemi .....	78
2.3.6	Grafiksel Arayüzün Yapısı.....	79

2.4	Nümerik Analizler .....	86
2.4.1	Senaryolarda Kullanılan Veri Setlerinin Tanıtılması .....	86
2.4.2	Hesaplama Sonuçları .....	87
2.4.3	Geliştirilen Karar Destek Sisteminin Temel Performans Göstergelerine Faydası .....	102
2.5	UYGULAMA SONUCU .....	104
	SONUÇ VE TARTIŞMA .....	106
	KAYNAKÇA .....	112
	EKLER .....	129
	EK – 1. ASM İsimleri ve Numaraları .....	129
	EK – 2. Noktalar Arası Mesafe Verisi .....	131
	EK – 3. Noktalar Arası Seyahat Süresi Verisi .....	132
	EK – 4. Noktalar Arası Yakıt Tüketimi Verisi (YT1) .....	133
	EK – 5. Noktalar Arası Yakıt Tüketimi Verisi (YT2) .....	134
	EK – 6. Noktalar Arası Yakıt Tüketimi Verisi (YT3) .....	135
	EK – 7. Noktalar Arası Hız Verisi .....	136
	EK – 8. Geliştirilen KDS'nin Python Kodları .....	137
	EK – 9. Etik Kurul Muafiyet Formu .....	141
	EK – 10. Tez Orjinallik Raporu .....	143

## KISALTMALAR DİZİNİ

AB: Avrupa Birliği

SKA: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

ARP: Araç Rotalama Problemi

ÜBY: Üçlü Bilanço Yaklaşımı

SARP: Sürdürülebilir Araç Rotalama Problemi

ZBARP: Zamana Bağımlı ARP

TDARP: Toplama ve Dağıtım Araç Rotalama Problemi

ÇDARP: Çok Depolu Araç Rotalama Problemi

OARP: Olasılıksal Araç Rotalama Problemi

LRP: Lokasyon Rotalama Problemi

PARP: Periyodik Araç Rotalama Problemi

DARP: Dinamik Araç Rotalama Problemi

2A-ARP: 2 Aşamalı ARP

ARPZP: Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi

ERP: Envanter Rotalama Problemi

FÖKARP: Filo Ölçüsü ve Karışık Araç Rotalama Problemi

BARP: Bulanık Araç Rotalama Problemi

AARP: Açık Araç Rotalama Problemi

ÇAARP: Çok Aşamalı Araç Rotalama Problemi

ARPTL: Araç Rotalama Problemi Tersine Lojistik

EARP: Elektrikli Araç Rotalama Problemi

PARP Paylaşımli Araç Rotalama Problemi

WCED: Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu

AÇA: Avrupa Çevre Ajansı

DSÖ: Dünya Sağlık Örgütü

CO<sub>2</sub>: Karbondioksit

CO: Karbon monoksit

CH: Hidrokarbon

NO<sub>x</sub>: Azot Oksitler

SO<sub>2</sub>: Sülfür dioksit

KTP: Karışık Tam Sayılı Programlama

DKTP: Doğrusal Olmayan Karışık Tam Sayılı Programlama

YKA: Yerel Komşuluk Arama

AKA: Adaptif Komşuluk Arama

DKA: Değişken Komşuluk Arama

TA: Tabu Arama

GA: Genetik Algoritma

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

BT: Benzetimli Tavlama

DYM: Dijital Yükselti Modeli

TPG: Temel Performans Göstergeleri

KDS: Karar Destek Sistemi



## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1: ARP Türleri ve Çalışmalar .....	13
Tablo 2: SARP Alanında Literatür Taraması Yapan Çalışmalar .....	22
Tablo 3: Sürdürülebilirliğin İktisadi Göstergelerini Dikkate Alan Çalışmalar .....	25
Tablo 4: Sürdürülebilirliğin İktisadi ve Çevresel Göstergelerini Dikkate Alan Çalışmalar .....	32
Tablo 5: Sürdürülebilirliğin İktisadi ve Sosyal Göstergelerini Dikkate Alan Çalışmalar .....	38
Tablo 6: Sürdürülebilirliğin İktisadi, Çevresel ve Sosyal Göstergelerini Dikkate Alan Çalışmalar .....	43
Tablo 7: Çevresel Göstergeleri Dikkate Alan Çalışmalar .....	50
Tablo 8: Sosyal Göstergeleri Dikkate Alan Çalışmalar .....	50
Tablo 9: ARP’de CBS Kullanılan Çalışmalar .....	65
Tablo 10: GSP ve Yakıt Tüketimi Literatür Taraması .....	66
Tablo 11: DARP Literatür Taraması .....	67
Tablo 12: Amaç Fonksiyonları ve Dikkate Alınan Değişkenler .....	70
Tablo 13: Modelde Kullanılan Notasyonlar ve Açıklamaları .....	71
Tablo 14: Emisyon Parametreleri ve Araç Değerleri .....	73
Tablo 15: Örnek Seçilen Talep Noktaları .....	88
Tablo 16: Statik Senaryoların AF5’e Göre Karşılaştırmalı Sonuçları .....	89
Tablo 17: AF1’in Dinamik Senaryo Sonuçları .....	97
Tablo 18: AF2’nin Dinamik Senaryo Sonuçları .....	98
Tablo 19: AF3’ün Dinamik Senaryo Sonuçları .....	99
Tablo 20: AF4’ün Dinamik Senaryo Sonuçları .....	100
Tablo 21: AF5’in Dinamik Senaryo Sonuçları .....	102
Tablo 22: Dinamik ve Statik Modellerin Performans Göstergelerine Ortalama Etkisi	103

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: Lojistik Yönetimi ve Kısıtlamalar .....	3
Şekil 2: Çalışma Tasarımı .....	8
Şekil 3: Malların Karayolu ile Ortalama Nakliye Mesafesi .....	12
Şekil 4: ARP çözümünde Kullanılan Çözüm Yöntemleri .....	14
Şekil 5: Yıllara Göre Toplam Dünya Nüfusu .....	16
Şekil 6: Bazı Ülkelerde Kişi Başı Ortalama Elektrik Tüketimi (kW/S) .....	17
Şekil 7: Dünya Enerji İhtiyacının Fosil Yakıtlardan Karşılama Oranı .....	18
Şekil 8: Sürdürülebilirliğin Alt Boyutlarına Göre Yayınlanan Çalışma Sayıları.....	19
Şekil 9: Araştırma Yöntemi .....	20
Şekil 10: İktisadi Odaklı Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı.....	28
Şekil 11: İktisadi ve Çevresel Faktörleri Dikkate Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı .....	30
Şekil 12: İktisadi ve Çevresel Faktörleri Dikkate Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı .....	36
Şekil 13: İktisadi, Çevresel ve Sosyal Faktörleri Dikkate Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı .....	41
Şekil 14: Tedarik Zincirlerinde Sosyal Sürdürülebilirlik Göstergeleri .....	55
Şekil 15: Çalışmalarda Dikkate Alınan Sürdürülebilirlik Boyutları ve Veri Tipleri .....	57
Şekil 16: Şehir içi Lojistikte Kullanılan Sürdürülebilirlik Boyutları .....	58
Şekil 17: SARP Alanında Makaleler Arasındaki İlişki Haritası .....	59
Şekil 18: SARP Alanındaki Makalelerde Kullanılan Anahtar Kelimeler Arasındaki İlişki Haritası .....	60
Şekil 19: KDS'nin Yapısı .....	69
Şekil 20: Eğim ve Hıza göre Yakıt Tüketimi .....	75
Şekil 21: Yol Eğimi Hesaplama Yöntemi .....	77
Şekil 22: Eğim ve Hız Değerleri ile Yakıt Tüketimi Hesaplama Yöntemi .....	78
Şekil 23: Dinamik GSP Algoritması .....	79
Şekil 25: Arayüz Ekran Görüntüsü .....	81
Şekil 26: Arayüzün Çalıştırılması İşlemi .....	83
Şekil 27: Arayüzden Talep Çıkartma İşlemi .....	84

Şekil 28: Arayüzde Talep Ekleme İşlemi.....	85
Şekil 24: Noktaların Yol Ağı Gösterimi .....	87
Şekil 29: AF1'in 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota .....	90
Şekil 30: AF2'nin 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota .....	91
Şekil 31: AF3'ün 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota .....	92
Şekil 32: AF4'ün 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota .....	93
Şekil 33: AF5'in 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota .....	94
Şekil 34: Dinamik Senaryoda Yeni Eklenen Taleplerin Sıralaması .....	96

## GİRİŞ

Lojistik kelimesi, Antik Yunanca 'da *Logos* (*hesap yapma, doğru düşünme prensibi*) ve *icon* (*resim yapma*) kelimelerinden türetilmiş; lojistik faaliyetlerinin ise en az genç tunç çağından (M.Ö 3000-1200) bugüne kadar sürdürüldüğü, Türkiye'nin Kaş ilçesinde bulunan, Uluburun batığı keşiflerinden öğrenilmiştir (Tepić vd., 2011). Lojistik yönetimi, mal, hizmet, bilgi ve sermaye akışının ileri ve geri yönlü taşınması, stoklanması, depolanması, paketlenmesi, elleçlenmesi ve müşteriye sunulması faaliyetlerinin planlanması, organize edilmesi, kontrol ve koordine edilmesidir (Chopra ve Meindl, 2007). Tüm bu lojistik faaliyetlerinin yürütülmesi sürecinde, kullanılacak araçların rotaları, teslimat zamanı, kullanılacak araç tipi ve sayısı, teslimat önceliği, yasal kısıtlamalar ve işletme amaçları gibi unsurlar dikkate alınarak kararlar verilmektedir. Bu alınan kararlar, yasal sınırlamalar ve operasyonel hedefler çerçevesinde, işletmelerin rekabet üstünlüğü kazanmasına veya kaybetmesine neden olabilmektedir.

Kıtalar arası, ülkeler arası, hatta şehirler arasında yapılan lojistik faaliyetleri, üzerinde düşünülen, olası faktörler dikkate alınan ve gerekirse profesyonel destek alınarak karar verilen sürece sahiptir. Ancak, şehir içi lojistik faaliyetleri anlık kararlar ile genelde etkin olmayan şekilde yönetilen operasyonel düzeyde kararlardır. Şehir içi dağıtım karar alma sürecinde, siparişlerin sayısı, siparişlerin sıralaması, trafik sıkışıklığı, coğrafi özellikler, kullanılan araç sayısı ve özellikleri, belirli bölgelere giriş-çıkış kısıtlamaları, vb. faktörler, karar verme sürecinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Diğer yandan, Dünya Bankası verilerine göre, şehir merkezlerinde yaşayan dünya nüfusunun %55'inin The World Bank (2018b), yeme, içme, ulaşım, hizmet, enerji, hastane, eğitim, vb. ihtiyaç ve isteklerinin karşılanabilmesi için genelde fosil yakıtlı araçlar kullanılarak hizmet verilmektedir. Fosil yakıtlı araçların neden olduğu sera gazı salınımı, ses kirliliği, trafik sıkışıklığı ve trafik kazası riski gibi olumsuz etkileri azaltmak için alınan yasal önlemler, şehir içi dağıtım planlamasını ilgi çekici bir konu haline getirmektedir.

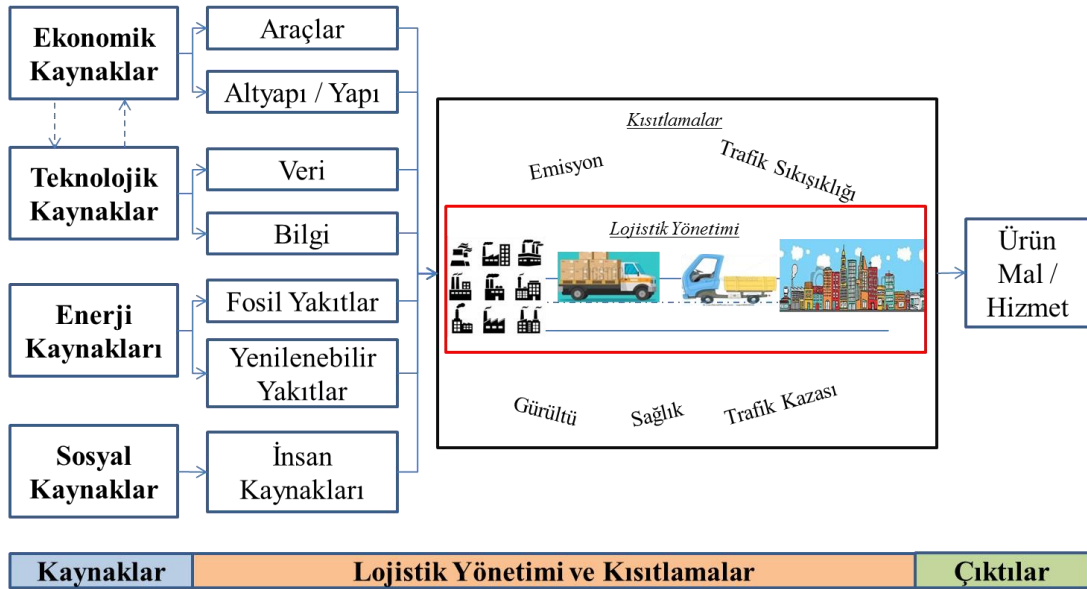
Lojistik faaliyetleri nedeniyle çevreyi, ekonomiyi ve sosyal hayatı olumsuz şekilde etkileyen faktörleri azaltmak için son yıllarda artan ilgi ile birlikte performans göstergelerinde de iyileştirmeler gözlemlenmiştir. Şehir içi sürdürülebilir araç rotalama

alanında yapılan çalışmalarda, yalnızca emisyon ve sosyal zararların etkileri minimize edilmemiş; aynı zamanda lojistik maliyetlerinin de azaldığı tespit edilmiştir (Ando ve Taniguchi, 2006). Bu olumlu gelişmeye bağlı olarak, son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte yalnızca lojistik firmalarının araç rotalarının iyileştirilmesine bağlı emisyon ve maliyet tasarrufları konularında değil, aynı zamanda yatay ve dikey işbirlikleri yaparak da performans göstergelerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır (Akyol ve De Koster, 2018). Örneğin, lojistik merkezleri, paylaşımlı araçlar, geçici toplama-dağıtım noktalarının oluşturulması, insansız hava araçları (drone) ile dağıtım, vb., iletişim teknolojilerinin gelişimi ile ortaya çıkan yenilikçi çözüm yöntemlerinden bazılarıdır.

Bilgi teknolojilerinin gelişmesi, daha önce hiç dikkate alınmayan verilerin dikkate alınabilmesine ve veri kalitesini artırarak daha gerçekçi sonuçların alınmasına olanak sağlamıştır. Google gibi veri sağlayıcılar tarafından noktalar arası ortalama hızların kullanıcılara sağlanması ile rotaların gerçekçi bir şekilde oluşturulması, daha önce yüzeysel olarak kullanılan hız verisinin kalitesinin artmasına örnek olarak tanımlanabilir (Van Der Aalst, 2016). Şehir içi lojistik şirketleri için önemli bir bilgi olan noktalar arasındaki ortalama hız verisi, hem yakıt tüketimini etkileyen önemli bir faktördür; hem de mal/hizmet teslimatına ilişkin performans göstergeleri için önemli bir veridir (Demir vd., 2013).

Rekabet avantajının sağlanması, hizmet seviyesinin ve maliyetlerin iyileştirilmesi için, değer zincirinin hemen her aşamasında kullanılan veri çeşitliliği ve derinliği artmaktadır. Teknolojik gelişmelerin sağladığı olanaklar, süreç içinde kullanılan nesnelere de birer veri kaynağı haline getirmiş, insan etkisi azaltılarak birbirleri ile haberleşen makineler geliştirilmiş ve nesnelere interneti (Internet of Things) kavramı ile Endüstri 4.0 kavramı ortaya çıkmıştır (Lu, 2017). Bu teknolojik gelişmelerin avantajları, diğer alanlarda olduğu gibi lojistik yönetimi alanında da kullanılmaktadır (Soysal, 2015). Yararlanılan teknolojik kaynakların da artık bir iktisadi kaynak gibi değer yaratıyor olması Şekil 1’de gösterilmektedir. Örneğin, Google haritalar kullanarak yol tarifi alan araçlar, konum bilgisi açık olduğu süre boyunca Google veri tabanlarına hız bilgisi göndermektedir (Maps, 2019). Oluşturulan veri tabanları, iki nokta arası yol tarifi isteyen kullanıcılara ortalama seyahat süresini sunmaktadır. Bu sayede, oluşturulan rota üzerinden daha önce geçen araçlardan elde edilen hız verileri, başka

kullanıcılar için bir bilgi olarak sunulmaktadır. Yalnızca iki nokta arası rota ve hız bilgisi, bireysel kullanıcıların günlük kullanımlarında büyük bir önem oluşturmasa da, lojistik firmaları için ticari anlamda önem arz etmektedir.



Şekil 1: Lojistik Yönetimi ve Kısıtlamalar

Şehir içi lojistiğinde alınan kararlar genelde operasyonel düzeyde, bazen de taktiksel düzeyde olması nedeni ile anlık değişimlere ve anlık problemlere çözüm üretilmesi gerekmektedir. İşletme stratejileri doğrultusunda talepleri en uygun şekilde karşılamak amacıyla, eldeki verileri hızlı bir şekilde işleyerek karar vermeyi kolaylaştırmak için Karar Destek Sistemleri (KDS) kullanılmaktadır (Soysal, 2015). Lojistik problemlerinin sonuçlarını etkileyecek en önemli faktörler, işletme amaçlarının, problem kapsamının, Temel Performans Göstergelerinin (TPG), çözüm yönteminin ve kullanılan verinin gerçekçiliğidir. Son yıllarda artan sürdürülebilir ARP'ye olan ilgi ile birlikte, çeşitli çalışmalar yapılmış ve başta yakıt tüketimi olmak üzere zaman, maliyetler ve emisyonun azaltılmasına katkı sağlanılmıştır (Flamini vd., 2018). Ancak, şehir içi lojistikte sürdürülebilirlik TPG'lerini dikkate alan çalışmaların sonuçları üzerinden genel bir değerlendirme ve çıkarımlar yapan çalışmaya rastlanılmamıştır.

### Çalışma Tasarımı

Sürdürülebilir lojistik yönetimi alanında dikkate alınan göstergeler ve bu göstergeler dikkate alınarak işletmelerin amaçları doğrultusunda optimizasyon yapılması için

geliştirilen KDS'lere, son yıllarda ilgi artmıştır (Charris vd., 2019). Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, şehir içi lojistikte dikkate alınan sürdürülebilirlik göstergelerinin analizi ve bu analiz sonucuna göre seçilen bazı göstergelerin bir KDS'de kullanılmasının lojistik performans göstergelerine etkisi incelenecektir.

Sürdürülebilir lojistik yönetimini desteklemek ve geliştirmek adına, enerji kullanımının, sera gazı salınımının ve kaynak kullanımının azaltılması için Avrupa Birliği (AB) delegasyonu tarafından büyük ölçekli bazı projelere fon aktarılmaktadır. Bu projelerden bazıları, tedarik zincirinin tamamında sürdürülebilir işbirliğinin sağlanması için NEXTRUST<sup>1</sup>, şehirlerde daha temiz ve daha iyi taşımacılık için CIVITAS<sup>2</sup> ve daha sürdürülebilir enerji kullanımını sağlamak için STEER<sup>3</sup> gibi projelerdir. Sürdürülebilir lojistik yönetimi alanındaki artan ilgi ile aynı doğrultuda, 2030 yılı sürdürülebilir kalkınma amaçları (SKA) arasında, lojistik sektörünün sebep olduğu negatif dışsallıkların azaltılması için de bazı tedbirler bulunmaktadır. Örneğin, SKA hedef 7, 2030 yılına kadar erişilebilir ve temiz enerjiye herkesin kavuşmasını sağlamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması gerekliliğini vurgulamaktadır. SKA hedef 11, sürdürülebilir şehir ve yaşam alanları için toplu taşımacılığa yatırım yapılmasına vurgu yapmaktadır (bkz. Desa (2016)). Buradan yola çıkarak, bu çalışma kapsamında belirlenen amaç şu şekildedir:

Dinamik şehir içi dağıtım problemleri için sürdürülebilir lojistik yönetimi kapsamında kullanılacak bir karar destek sistemi geliştirmek.

#### *Şehir içi Sürdürülebilir Lojistik Yönetiminde Dikkate Alınan Faktörler*

Lojistik faaliyetler nedeni ile sera gazı emisyonu, trafik kazaları, gürültü, vb. doğaya ve insan sağlığına zararlı etkiler meydana gelmektedir. Lojistik sürecinde yaratılan değerler ve zararlar için bilinen bir denge noktası olmasa da, zararlı etkilerin azaltılması amacıyla yeşil lojistik ve sürdürülebilir lojistik gibi bilinen olumsuz etkileri en aza indirmeyi amaçlayan çalışmalar yapılmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı şimdilik her ne kadar soyut bir kavram gibi düşünülse de, Choudhary'e (2015) göre önümüzdeki

<sup>1</sup> <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-transport/logistics/nextrust>, Online Erişim: Şubat 2020

<sup>2</sup> <https://civitas.eu/>, Online Erişim: Şubat 2020

<sup>3</sup> <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/sectors/transport-steer>, Online Erişim: Şubat 2020

dönemlerde karbon emisyonu fiyatlamaları uygulamaya alınca somut bir karşılığı olacağı için daha fazla dikkat çekici olacaktır. Daha somut bir analiz, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından raporlanarak, salınan zararlı gazların sebep olduğu sağlık problemleri ve akciğer kanserine bağlı ölümlerin %25'ine kirli havanın neden olduğu tespit edilmiştir (WHO, 2018). Avrupa Çevre Ajansının (AÇA) yayımladığı rapora göre ise salınan kirli havanın %20,6'sının karayolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır (EEA, 2018). Aynı zamanda, tedarik zincirinin en verimsiz safhasının şehir içi lojistiği olması nedeni ile bu aşamanın üzerinde durulması önem arz etmektedir (Gevaers vd., 2011).

Lojistik faaliyetleri sürecinde meydana gelen iktisadi, çevresel ve sosyal zararların ortaya çıkması veya zararların anlaşılmasıyla birlikte bazı şehir merkezlerine araç girişi, dizel araç kullanımı ve araçlardan çıkan gürültü seviyesi üst limiti gibi yasal kısıtlamalar getirilmiştir. Lojistik sürecinde kullanılan kaynaklar, yasal kısıtlamalar ve oluşan zararlar Şekil 1'de görselleştirilmiştir. Bu kısıtlamalardan doğrudan etkilenen lojistik firmaları, kârlılıklarının olumsuz etkilenmemesi için karar alma süreçlerini geliştirerek "Yeşil" veya "Sürdürülebilir" araç rotalama TPG'lerinin iyileştirilmesi için önlemler almaktadır. Bu kısıtlamalar, şehir içi lojistiği ile ilgili olması nedeniyle, alınan yasal önlemlerin şehir içi lojistik firmalarının iktisadi göstergelerine ve emisyon salınımları üzerine etkisi dikkat çekici bir araştırma konusu olmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıktığı raporun (Our Common Future), Brundtland vd. (1987) tarafından yayımlandığı günden bu güne kadar, sürdürülebilir olmak amacıyla, kaynakların verimli bir şekilde kullanılması için çeşitli önlemler alınmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda, gelecek nesillerin de en az bugünkü nicelikte ve nitelikte dünya kaynağına sahip olmalarını sağlamak adına, su kullanımından, çevreyi daha az kirletmeye, tarım arazisinin etkin bir şekilde kullanımından, üretilen ürünlerin etkin bir şekilde tüketicilere dağıtılmasına, etkin hammadde tedarikinden, üretim süreçleri optimizasyonuna kadar birçok alanda negatif dışsallıkları azaltıcı önlemler alınmıştır. AÇA'ya göre dünyadaki sera gazı salınımının %21,4'ünün nedeni olan fosil yakıtlı araçlar ile yürütülen lojistik faaliyetlerinin negatif dışsallıklarını azaltmak için çeşitli yasal kısıtlamalar ve önlemler alınmaktadır (EEA, 2018). Şehir içi lojistiğinde alınan önlemler, lojistik performans göstergelerini iyileştirmek üzere yapılan çalışmalar ve bu



çalışmalarda öne çıkan unsurları ortaya çıkartmak adına, bazı literatür taraması çalışmaları yapılmıştır (bkz. Lu vd. (2013); Han ve Ponce-Cueto (2015); Kim vd. (2015); Margaritis vd. (2016); Pelletier vd. (2016); Srinivas ve Gajanand (2017); Ben Ticha vd. (2018); Björklund ve Johansson (2018); Cattaruzza vd. (2018) ve Ranieri vd. (2018)). Bu literatür taraması çalışmalarından hiçbirisi, sürdürülebilirlik ile şehir içi ARP konularını birlikte ele almamıştır. Şehir içi ARP alanında sürdürülebilirlik ile ilgili hangi göstergelerin kullanıldığı ve bu göstergelerin kullanılmasının, lojistik performans göstergelerine etkisini ortaya koymak adına bir çalışma yapılmasının, literatüre katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

Bu çalışmanın genel amacına ulaşmak için belirlenen birinci araştırma problemi şu şekilde tanımlanmıştır: Sürdürülebilir şehir içi araç rotalama probleminde temel lojistik amaçları ve performans göstergelerini tanımlamak, literatürde yer alan karar destek modellerini analiz etmek. Birinci alt amaç için birinci bölümde, şehir içi sürdürülebilir araç rotalama alanında yayınlanan çalışmalarda dikkate alınan göstergelerin ve elde edilen sonuçların iktisadi, çevresel ve sosyal yönden analizinin yapıldığı bir literatür taraması sunulmaktadır. Detaylı olarak incelenen makalelere ilişkin bulgular birinci bölümde gösterilmektedir.

#### Kapsamlı Yakıt Tüketimi Hesaplaması ile Sürdürülebilir Dağıtım Planlama

Geleneksel lojistik yönetiminde, doğru malı veya hizmeti, doğru zamanda, doğru yere, minimum maliyet veya maksimum kâr ile teslim etmek, temel performans göstergeleridir (Bektaş vd., 2016). Yalnızca geleneksel lojistik yönetiminde kullanılan göstergeler dikkate alınarak maliyetlerin minimize edilmesinin, uzun dönemde sürdürülebilir olamayacağıının anlaşılması ile birlikte lojistik firmalarının karar alma sürecine etki edecek bazı unsurlar da eklenmiştir. Bu unsurlar, yasal zorunluluklar, değişen müşteri talepleri ve/veya sürdürülebilirliğe pozitif katkı sağlamak isteyen işletmelerin iş yapış şekillerini değiştirmesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Araçlar ile ilgili olan göstergelerden bazıları; fosil yakıtlı ve belirli büyüklük sınırının üzerindeki araçların (ambulans, itfaiye, polis aracı, vb. hariç) şehrin belirli bölgelerine giriş yapamaması veya yapması durumunda ücret ödemesi gerekliliği (congestion charge) gibidir. Bu kısıtlamalar ve düzenlemeler, hali hazırda dikkate alınan göstergeler ile birlikte sürdürülebilirlik göstergelerini de göz önünde bulundurarak lojistik

faaliyetleri ve lojistik faaliyetlerinden kaynaklanan negatif dışsallıklar arasındaki etkileşiminin optimize edilmesini gerektirmektedir.

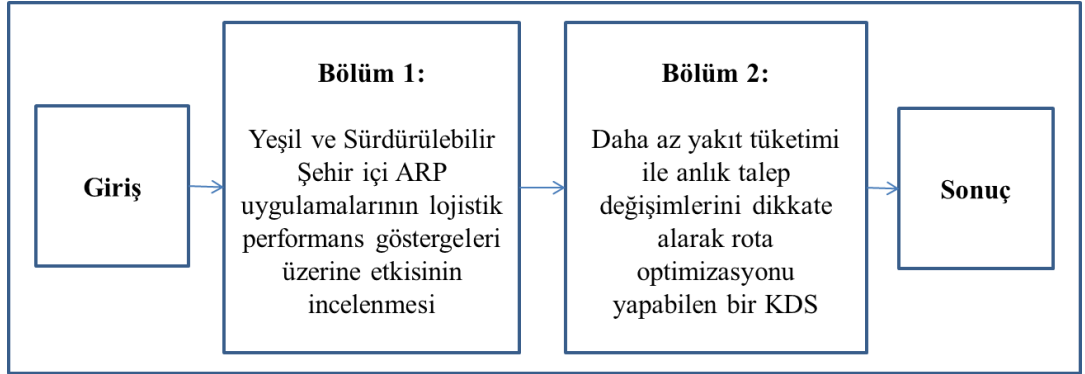
İşletmeler, ekonomik sürdürülebilirliklerini sağlarken, yasal kısıtlamaları da dikkate alacak şekilde dağıtım planlarını yapabilmek için KDS'lerden faydalanmaktadır (bkz. Bogh vd. (2014), Mat vd. (2018) ve Zissis vd. (2018)). Bu KDS'lerin önemli bir kısmı, işletmelerin iktisadi kaygılarını daha fazla önemseyerek maliyet minimizasyonu veya kâr maksimizasyonu yapmak amacıyla geliştirilmişken, çevresel ve sosyal göstergeleri dikkate alan çalışma sayısı sınırlı kalmıştır (Popovic vd., 2018). Son yıllarda ise, lojistik alanındaki gerek yasal kısıtlamalar nedeni ile, gerek çevresel ve sosyal bilincin artması nedeni ile sürdürülebilirlik göstergelerini dikkate alan çalışma sayısında önemli bir artış yaşanmaktadır.

Kaynakların verimli ve etkin bir şekilde kullanılarak, çevreye zararlı gazların azaltılması için, dolayısıyla yakıt tüketiminin azaltılması için, son yıllarda yeşil ARP ve sürdürülebilir ARP alanında yapılan çalışmaların sayısında büyük artış olmuştur (Lin vd., 2014a). Yeşil ARP alanında lojistik sürecinin yönetilmesine ilişkin (2 aşamalı ARP, yatay-dikey işbirliği, tersine lojistik, vb.) problemler geliştirilmişken, teknolojik kaynakların gelişmesine bağlı olarak (Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çevrimiçi trafik hızı için veri sağlayıcıları, mobil cihazlar, vb.) kullanılan veri ve bilginin derinliğinin artması ile de lojistik problemlerine çözüm üretilmektedir. Örneğin, klasik ARP'de tüm noktalar arası hız verileri ya sabit kabul edilmekte (yüzeysel), ya da geçmiş hız gözlemlerine dayalı hesaplanan hız verisi ile rota optimizasyonu yapılmaktadır. Bu şekilde derinliği olmayan veriler kullanılarak yapılan planlamaların sonuçları ile, gerçekleşen sonuçlar arasında önemli farklar olabilmektedir (Lv vd., 2014). Planlanan ve gerçekleşen TPG'ler arasındaki farkların minimuma indirilebilmesi için tutarlı veriler ile dinamik yapıda modeller kullanılmaktadır. Gelişen iletişim teknolojilerinden yararlanarak, işletme amaçları için kullanılacak, talep güncellemeleri, seyahat süresi verileri ve sipariş sayısı gibi verilerin anlık olarak dikkate alınması gerçekleşen TPG'ler açısından önemli iyileştirmelere sebep olmaktadır Ritzinger vd. (2016).

Çalışmanın genel amacına ulaşmak için belirlenen ikinci araştırma problemi şu şekilde tanımlanmıştır: Gezgin satıcı probleminde, kapsamlı yakıt tüketimi ve dinamik müşteri talebini dikkate almanın performans göstergelerine etkisini araştırmak. Bu çalışmanın

ikinci kısmında, talep güncellemelerinin anlık şekilde dikkate alınarak optimum rotanın oluşturulabilmesi için bir KDS geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS ile hem statik problem tipleri, hem de dinamik problem tipleri çözülebilmektedir. Geliştirilen amaç fonksiyonlarından birisi teknoloji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması ile hesaplanan yakıt tüketiminin minimize edilmesini sağlayabilmektedir. Böylece, yeşil ARP'nin en önemli amaçlarından birisi olan yakıt tüketiminin minimize edilmesi sağlanmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, şehir içi sürdürülebilir ARP alanında bir literatür taraması yapılarak bu alanda yayınlanan çalışmalar Elkington'un (2001) iktisadi, çevresel ve sosyal boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. İkinci bölümde, coğrafi bilgi sistemi ve çevrimiçi veri sağlayıcılardan araç rotalarına ilişkin hız verileri kullanılarak dinamik gezgin satıcı problemi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Birinci ve ikinci bölümü içeren tez tasarımı Şekil 2'deki gibi gösterilmiştir. Son bölümde ise genel tartışma, bulgular, sonuç ve çalışmanın kısıtları sunulmaktadır.



Şekil 2: Çalışma Tasarımı

## 1. BÖLÜM

### ŞEHİR İÇİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ LİTERATÜR TARAMASI

Kaynakların kıt, ihtiyaçların sonsuz olmasının yanı sıra doğal afetler, küresel ısınma, nüfus artışı gibi olaylar, “sürdürülebilirlik” kavramının önemini içinde bulunduğumuz yüzyılda daha da artırmaktadır. Elkington (2001) sürdürülebilirliği, kâr, gezegen ve insanlar (Profit, Planet, People) olarak, üç önemli unsura (triple bottom line) dayandırarak tanımlamıştır. Türkçe literatürde bu kavram, Üçlü Bilanço Yaklaşımı (bkz. Kiriş ve Börekçi (2018)), Üçlü Alt Çizgi Yaklaşımı (bkz. Çalık (2019)) ve Üçlü Kâr Hanesi Yaklaşımı (bkz. Gürül (2019)) gibi farklı kavramlar ile tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise, sürdürülebilirlik kavramı için Üçlü Bilanço Yaklaşımı (ÜBY) kavramı kullanılacaktır. Üretim ve İşlemler Yönetimini yakından ilgilendiren sürdürülebilirlik kavramı için Hassini vd. (2012), işletmenin uzun vadeli hedefleri arasında iktisadi, çevresel ve sosyal refahın korunması gerekliliğine vurgu yapmıştır. Diğer yandan, Dyllick ve Hockerts (2002) ise, bugünün kurumsal gereksinimlerini ve ortakların ihtiyaçlarını karşılarken, işletme stratejilerine gelecek nesillerin ve çevrenin ihtiyaç duyacağı kaynakların korunmasına yönelik adaptasyonun entegre edilmesine dikkat çekmiştir.

Hızlanarak artan dünya nüfusu, üreticilerin ve tüketicilerin dünyanın çeşitli yerlerine coğrafi olarak yayılması, küresel olarak artan ticaret hacmi, üretilen mal ve hizmetlerin dağıtılması sürecini her geçen gün daha da önemli bir hale getirmektedir (Buhrkal vd., 2012). Dağıtım süreçlerinde, araçların kullanılması ve bu araçların oluşturduğu çeşitli zararlar nedeni ile şehir merkezlerinin belirli bölgelerine belirlenen zaman dilimlerinde araç kullanımları sınırlandırılmıştır. Sınırlamalar yalnızca şehir içi girişleri ile kalmamış dizel yakıtlı araçların üretiminin tamamen durdurularak alternatif yakıtlı araçların üretilmesi gibi bazı yasal kısıtlamalar ve zorunluluklar da uygulanmaya başlanılmıştır. Yasal otoriteler ile otomobil üreticileri tarafından hayata geçirilen bu kısıtlamalar, sürdürülebilirliğin alt boyutları olan iktisadi, çevresel ve sosyal zararları önleyici faaliyetler olarak görülmektedir. Bu gelişmelere ek olarak, bir de iktisadi rekabetin

giderek artması nedeniyle, lojistik yönetimi alanında çalışan karar vericilerin dağıtım yönetimine ilgisi artarak devam etmiştir. İlk defa Dantzig ve Ramser (1959) tarafından tanımlanmış olan ARP’de amaç kat edilen mesafenin minimize edilmesi iken son yıllarda, özellikle sürdürülebilirlik sorumluluklarını/zorunluluklarını da dikkate alan şehir içi Sürdürülebilir ARP (SARP) alanında yapılan çalışmaların sayısında büyük bir artış olmuştur. Üretilen ürünlerin, insan nüfusunun yoğun olduğu şehir merkezlerindeki araçlara ve nihai tüketicilere dağıtılması, kullanılan ürünlerin artık/atıklarının nihai tüketicilerden tekrar toplanarak atık bertaraf merkezlerine ulaştırılması şehir içi ARP’yi sürdürülebilirlik bağlamında iktisadi, çevresel ve sosyal açıdan önemli kılmaktadır.

İnsanların, doğanın ve zorunlu gereksinimlerin karşılanması üzere sürdürülen mal ve hizmetlerin dağıtım faaliyetleri, bir ya da birden fazla ihtiyacı karşılayarak değer oluşturmaktadır. Ancak, bu faaliyetler sonucunda, ihtiyacı giderilen insan ve doğa için, çeşitli zararlar da ortaya çıkmaktadır. Lojistik yönetiminin önemli bir fonksiyonu olan fiziksel dağıtım, mal, hizmet ve insanların belirli merkezlerden başlayarak dağıtılması veya toplanması sürecinde değer ve zararlar oluşması nedeni ile üzerinde durulması gereken bir konudur. Örneğin, fosil yakıtlı araç kullanılarak yapılan dağıtım faaliyetlerinin bir sonucu olan, sera gazı salınımı, gürültü düzeyi artışı, araçların motorunda meydana gelen yanma olayı neticesinde oluşan ısı salınımı, trafik sıklığı ve trafik kazası riskinin oluşması gibi faktörler, iktisadi faktörler kadar kısa vadede etkisinin görülmemesi nedeni ile ihmal edilmektedir. Bu nedenle, dağıtım problemlerinin çözümünde, ilk ortaya çıkışı itibariyle mesafe, zaman ve kullanılan araç sayısı minimizasyonu gibi ölçülmesi görece daha kolay ve kısa vadede etkisi görülen ekonomik etkenler üzerine yoğunlaşmıştır (Jaehn, 2016).

Bu bölümün ilk kısmında, araç rotalama problemi hakkında genel bir bakış sunulmuştur. İkinci kısımda, şehir içi SARP kavramı ve ilgili literatür taraması sunulmuştur. Literatür taramasının bulguları üçüncü kısımda; tartışma, sonuç ve gelecekteki çalışmalar için öneriler de dördüncü kısımda sunulmaktadır.

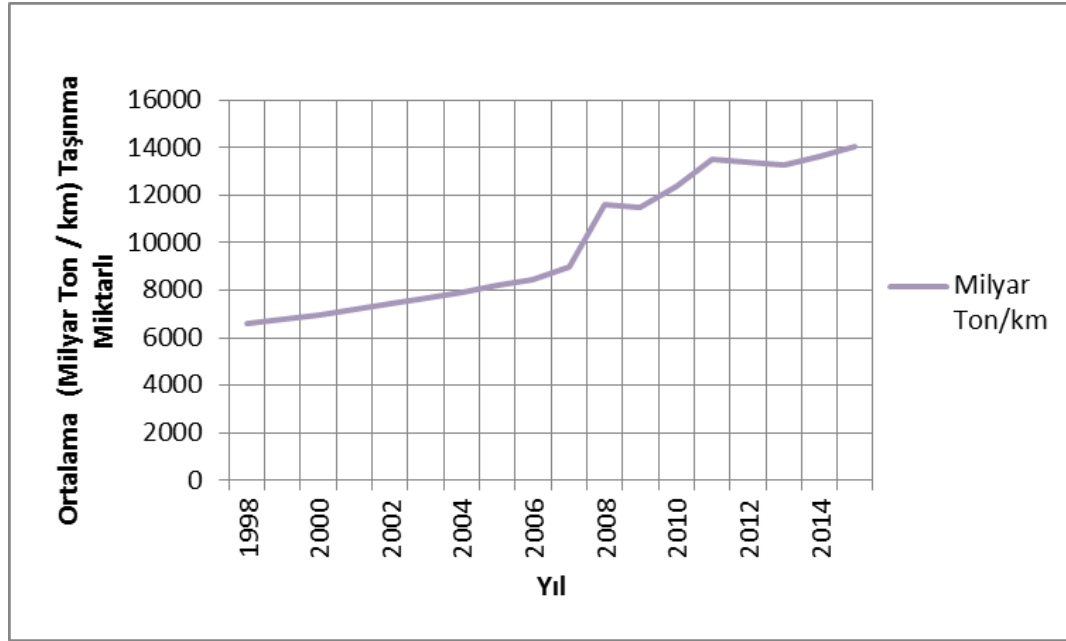
### **1.1 ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ (ARP)**

İşletmelerin değer yaratma sürecinde kullandıkları araçlardan (enstrümanlardan) birisi olan dağıtım, malların, hizmetlerin ve insanların zamana bağlı konum değiştirme gereksiniminin yerine gerilmesi olarak tanımlanabilir. Geliştirilmiş ilk araç rotalama

problemi (ARP) Dantzig ve Ramser (1959) tarafından tanımlanmış, modellenmiş ve çözümlenmiştir. Bu çalışmada amaç, elde bulunan araç filosu ile coğrafi olarak yayılmış halde bulunan akaryakıt istasyonlarına hizmet vermek üzere en kısa benzin dağıtım rotasını bulmaktır. Klasik ARP modelinin kısıtları, her aracın başlangıç ve bitiş noktalarının merkez depo olması, her aracın yalnızca bir defa bir istasyona uğraması, her istasyona yalnızca bir aracın hizmet vermesi ve karar değişkenlerinden hiçbirisinin değerinin negatif olmaması kısıtlarıdır. Dantzig ve Ramser (1959) ve daha sonra diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen geleneksel ARP modelleri, filodaki araçların kat ettikleri toplam mesafeyi minimize ederken, tüm tüketicilerin taleplerinin de karşılanmasını sağlamaktadır.

Problemi geliştiren Dantzig ve Ramser (1959), adı geçen çalışmayı “*The Truck Dispatching Problem*” yani “kamyon dağıtım problemi” olarak tanımlamışlardır. Güncel literatürde Dantzig ve Ramser (1959) tarafından sunulan modeli tanımlamak için kullanılan kavram “Araç Rotalama Problemi” olarak bilinse de, bu tanımlama yaygın kullanılmaya başlamadan önce benzer problemler için farklı tanımlamalar yapılmıştır. Örneğin; Levin (1971) “filo rotalama problemi”, Eilon ve Watson-Gandy (1971) “dağıtım yönetimi”, Marks ve Stricker (1971) “kamu hizmet araçlarının rotalanması” gibi adlandırmış olsalar da bugün kabul gören tanımlama ARP’dir. Diğer yandan, ARP yapı itibariyle NP- Zor (NP-Hard) olarak sınıflandırılmaktadır Toth ve Vigo (2002), yani uğrak noktası arttıkça olası çözüm rotasının üssel olarak arttığı zor bir problem tipidir (Lenstra ve Kan, 1981).

Dünya bankası verilerine göre, üretilen malların nihai kullanıcıya ulaşmaya kadar karayolunda kat edilen mesafe uzunluğu, son yıllarda önemli bir artış göstermektedir (bkz. Şekil 3). Toth ve Vigo’nun (2002) yaptıkları hesaplamalara göre, ARP alanında yapılacak iyileştirme çalışmalarının, yapılmama durumuna kıyasla, ulaşım maliyetlerini %5-20 arasında iyileştirebileceğini göstermektedir. Birim ürün başına düşen taşınma mesafelerinin artması ve ARP alanında yapılan iyileştirmelerin maliyetleri doğrudan olumlu etkilemesi nedeni ile ARP ilgi çekici bir konu haline gelmektedir.



Şekil 3: Malların Karayolu ile Ortalama Nakliye Mesafesi (The World Bank, 2018c)

### 1.1.1 ARP'nin Amacı

Klasik ARP'de amaç, toplam rota maliyetinin minimize edilmesi olarak tanımlanabilir. Dantzig ve Ramser (1959) geliştirdikleri modelde kat edilen yol ile maliyetin doğrusal olduğunu varsayarak, amaç fonksiyonunu kat edilen yolun minimize edilmesi olarak tek amaçlı bir şekilde tasarlamışlardır. Laporte (2009) ARP'nin amacını, asgari/minimum (least) maliyet ile depolardan müşterilere ürün ulaştırmak için dağıtım planının tasarlanması olarak tanımlamış olsa da, maliyet ya da kâr haricinde diğer tek ve çok amaçlı modeller de geliştirilmiştir. Örneğin; Laporte'nin (2009) iddia ettiği maliyet minimizasyonu amaç fonksiyonunun dışında, Yang vd. (2015) müşteri tatmini maksimizasyonu; Szczepanski vd. (2017) başarılı teslimat maksimizasyonu; Ansaripoor vd. (2014) risk minimizasyonu; Demir vd. (2013), Ehmke vd. (2016), Ene vd. (2016), Soysal ve Cimen (2017) karbon emisyonu minimizasyonu ve Zhang ve Pavone (2016) araç kullanım oranı maksimizasyonu gibi farklı amaç fonksiyonları olan modeller de geliştirilmiştir.

### 1.1.2 ARP Sınıflandırmaları

Temel ARP'nin geliştirildiği zamandan günümüze kadar uygulamada karşılan durumların daha iyi yansıtılması amacıyla birçok farklı türde ARP geliştirilmiştir. Örneğin, Cooke ve Halsey (1966) Zamana Bağımlı ARP (ZBARP), Wilson vd. (1976)

Toplama ve Dağıtım ARP (TDARP), Tillman (1969) Çok Depolu ARP (ÇDARP) ve Olasılıksal ARP (OARP) ve Watson-Gandy ve Dohrn (1973) Lokasyon Rotalama Problemi (LRP) gibi örnek problem türleri Tablo 1’de sunulmaktadır. Diğer ARP sınıflandırmaları Braekers vd. (2016), Lin vd. (2014a) ve Laporte (2009) tarafından detaylı olarak incelenmiştir.

Tablo 1: ARP Türleri ve Çalışmalar

ARP Türleri	Çalışmalar
Zamana Bağlı ARP (ZBARP)	örn. Cooke ve Halsey (1966)
Topla-Dağıt ARP (TDARP)	örn. Wilson vd. (1976)
Çok Depolu ARP (ÇDARP) ve Olasılıksal ARP (OARP)	örn. Tillman (1969)
Lokasyon Rotalama Problemi (LRP)	örn. Watson-Gandy ve Dohrn (1973)
Periyodik ARP (P-ARP)	örn. Beltrami ve Bodin (1974)
Dinamik ARP (DARP)	örn. Speidel (1976)
ARP Zaman Penceresi (ARPZP)	örn. Russell (1977)
Envanter Rotalama Problemi (ERP)	örn. Bell vd. (1983)
Filo Ölçüsü ve Karışık ARP (FÖKARP)	örn. Golden vd. (1984)
Bulanık ARP (BARP)	örn. Cheng vd. (1995)
Açık ARP (AARP)	örn. Sariklis ve Powell (2000)
Çok Aşamalı ARP (ÇAARP) ve ARP Tersine Lojistik (ARPTL)	örn. Min vd. (2006)
Elektrikli ARP (EARP)	örn. Artmeier vd. (2010)
Paylaşımli ARP (PARP)	örn. Fatnassi vd. (2015)

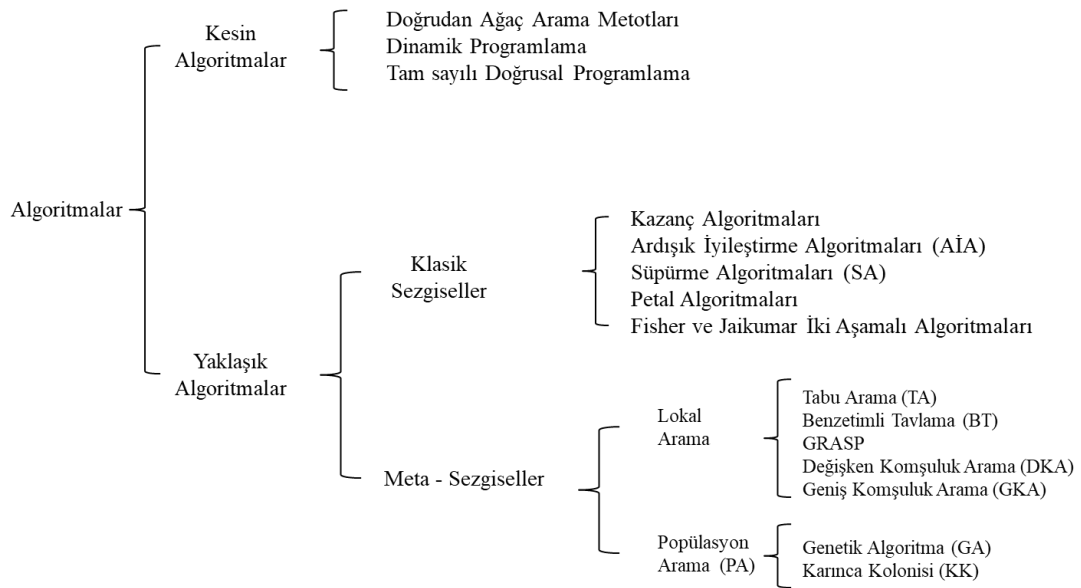
### 1.1.3 ARP’de kullanılan Çözüm Yöntemleri

ARP’de daha gerçekçi sonuçları elde etmek amacı ile geliştirilen farklı türlerdeki problem tipleri kadar, bu problemlerin çözülmesi aşamasında geçen süre ve elde edilen sonuçların kalitesi de bir o kadar önemlidir. Nitekim büyük ölçekli ARP’ler için uğrak noktaları arttıkça geliştirilen matematiksel modeller vasıtasıyla optimal çözümlerin elde edilmesi süresi de polinomsal olarak artmaktadır (Lenstra ve Kan, 1981). Çözüm süresinin uzaması ya da büyük ölçekli problemlerde uygun çözümün makul sürede bulunamaması, karar vericiler ve hizmet bekleyenler açısından istenilmeyen bir durumdur. Çözüm süresinin kısaltılması için elde edilen sonucun kalitesinden ödün verilmesinin tercih edilebileceği durumlarda sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır.

Büyük ölçekli problemlerin çözümü için hızlı ve iyi (optimum olması zorunlu olmayan) bir sonucu elde etmek için sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır (Winston ve Goldberg, 2004). Sezgisel yöntem, bir problemi deneme yanılma ile çözmek için kullanılan metot olarak tanımlanmıştır (Pearl, 1984). Amaç fonksiyonu değerinin birden fazla yerel optimum noktası olması durumunda sezgisel yöntemler genel optimum sonucu



veremeyebilir (Winston ve Goldberg, 2004). Yerel optimuma takılma probleminin üstesinden gelmek üzere ARP çözümlerinde bazı meta-sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Meta-sezgisel, yerel optimum noktalardan kaçınarak genel optimum noktayı bulmak için lokal iyileştirme prosedürlerini kullanıp çözüm üreten yöntem olarak tanımlanmıştır (Hillier vd., 2004). ARP'lerin çözüm yöntemleri Şekil 4'deki gibi özetlemiştir Lin vd. (2014a). Bu kadar farklı ve fazla çözüm yönteminin kullanılması, her problem türünün çözümünde farklı algoritmaların daha iyi sonuç üretebilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4: ARP çözümünde Kullanılan Çözüm Yöntemleri (Lin vd., 2014a)

## 1.2 ŞEHİR İÇİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ARP (SARP)

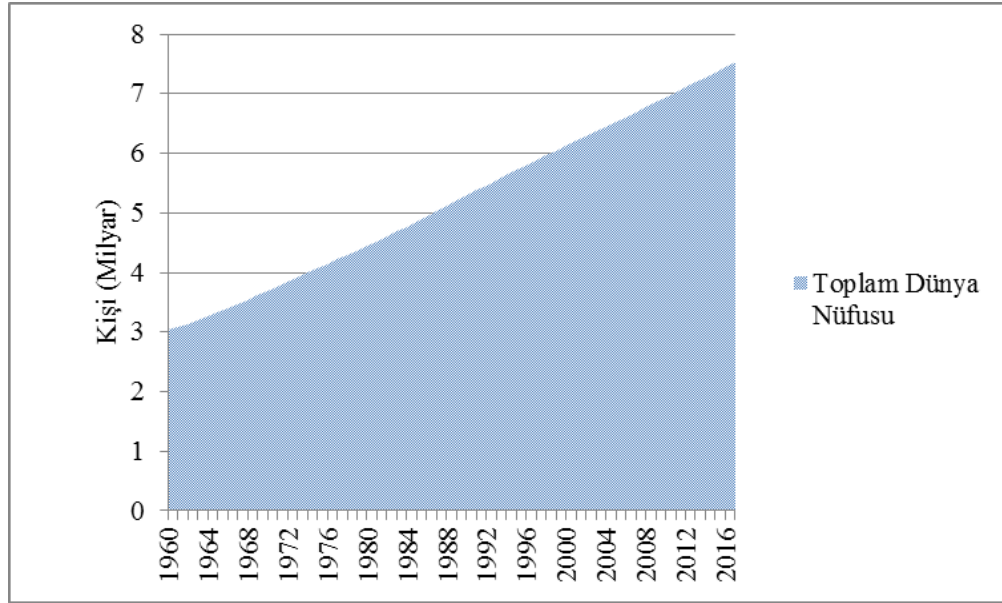
Bu başlık altında, sürdürülebilirlik kavramı ve SARP alanında Elkington'un (2001) ÜBY'ye göre sınıflandırılmış bir literatür taraması sunulmaktadır.

### 1.2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik kavramı için bugüne kadar farklı perspektiflerden çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. WCED (1987) tarafından, kapsamlı bir perspektiften yapılan tanımlamaya göre sürdürülebilirlik; bugünkü neslin ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kaynaklarını tüketmeden karşılamak olarak tanımlanmıştır. Elkington'un (2001) ÜBY'sine göre ise; "ihtiyaçlar karşılanırken amaçların arasında *iktisadi, çevresel ve sosyal* boyutların da dikkate alınmasıdır" olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilirliğin iktisadi boyutu, uzun dönemli kâr ve maliyetlerin dikkate alınması; çevresel boyutu, doğal sermayenin

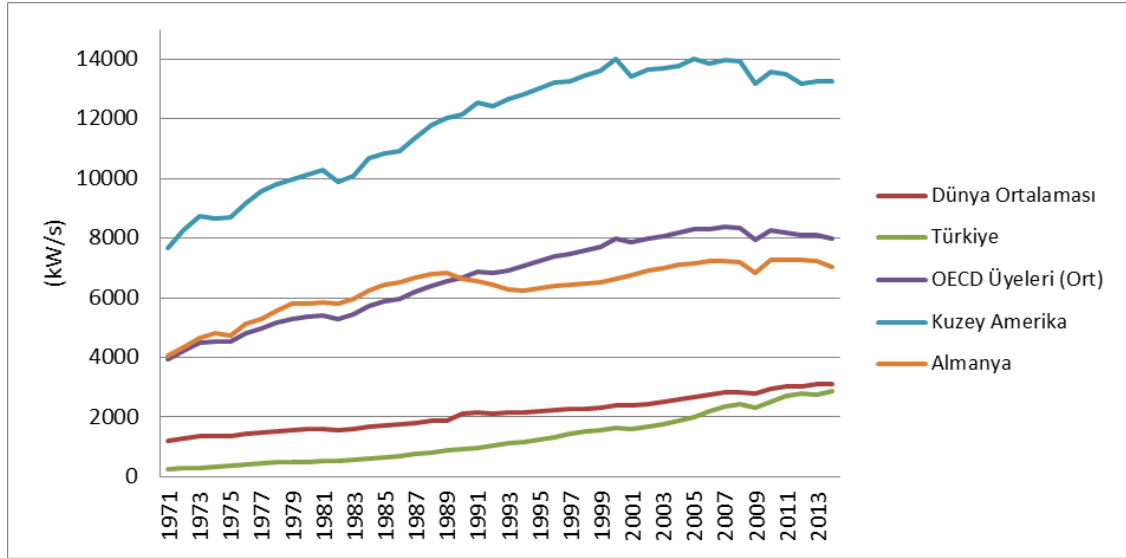
korunması ve sosyal boyutu, toplumların yaşam kalitesinin dikkate alınması olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, ticari işletmeler için vazgeçilmez bir hedef ya da amaç olan büyümenin gerçekleşmesi sürecinde, sürdürülebilirliği de göz önünde bulundurmaları gerekliliği için sürdürülebilir büyüme (sustainable development) kavramı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir büyüme; işletme stratejilerini ve faaliyetlerini, işletmenin ve paydaşların bugünkü ihtiyaçlarını karşılarken gelecekte ihtiyaç duyulacak insan ve doğal kaynakları koruyacak, sürdürecektir ve geliştirecek şekilde adapte etmek olarak tanımlanmaktadır (Dyllick ve Hockerts, 2002). Bu tanımlamalara ek olarak, işletmeler için sürdürülebilirlik, kıt kaynakları oluşabileceğinden daha hızlı tüketmeyerek, doğaya ve insanlara zararlı etki/artık madde bırakmadan ekonomik varlıklarını sağlamak olarak tanımlanabilir.

Kaynakların kıt ve dünya nüfusunun Şekil 5’de görüldüğü gibi, sürekli bir artış eğilimi içinde olması, sürdürülebilirlik kavramının önemini daha da ön plana çıkarmaktadır. Birleşmiş Milletlerin (BM) 2017 yılında yayınladığı rapora göre, dünya nüfusunun 2050 yılında 9,6 milyar kişinin olacağı tahmin edilmektedir (Nations, 2017). Yine aynı rapora göre, söz konusu artışın daha sonraki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir. Bu nüfus artışı öngörüsüne göre, önümüzdeki yıllarda insanların ihtiyaçlarını ve isteklerini karşılamak üzere daha fazla üretimin yapılması gerekeceğini de tahmin edilebilir. Dolaylı olarak, üretilecek ürünlerin hammaddelerinin üretim tesislerine, üretim tesislerinden son kullanıcıya, son kullanıcıdan atık bertaraf merkezine veya tekrar üretim tesisine kadar taşınması gerekeceği öngörülebilmektedir (Çimen vd., 2020). Nüfus artışı öngörüsü ve malların ortalama taşınma mesafesi verilerine göre değerlendirme yapılırken, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir büyümeyi idame ettirme kaygısı yalnızca bugünün değil, gelecek kuşakların da problemi olacaktır.



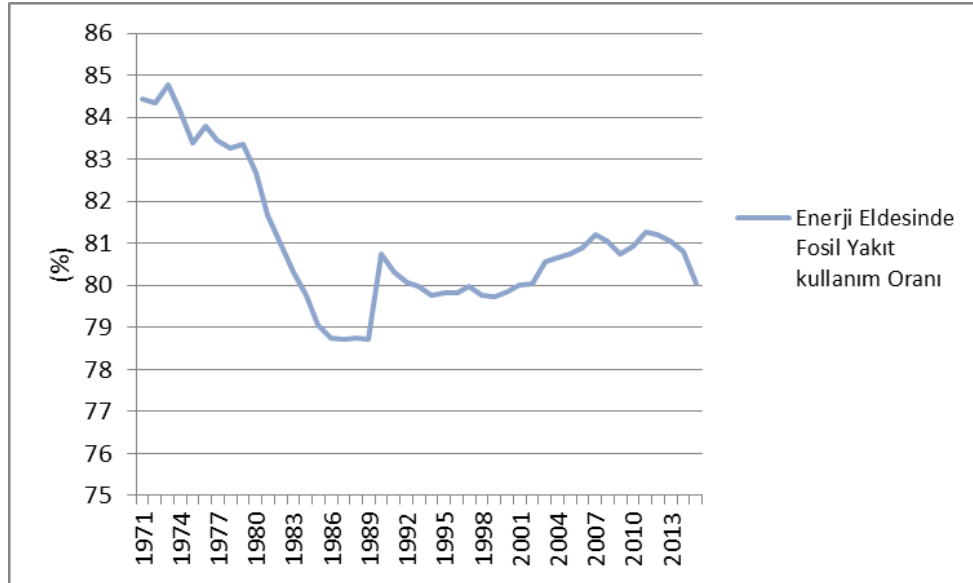
Şekil 5: Yıllara Göre Toplam Dünya Nüfusu (Nations, 2017)

Nüfus artışı, gelecek yıllarda insanların daha fazla yemek, su, enerji, sağlık gereksinimi, teknolojik ürün, vb. talep edileceği anlamına gelmektedir (Cinar vd., 2018). Nüfus artışı ve çeşitlenerek artan insan taleplerini karşılamak üzere harcanan kişi başına enerji miktarı, Şekil 6'da gösterildiği üzere artış göstermektedir. Enerji üretim kaynakları son yıllarda çeşitlenmiş olsa da Dünya Bankası (2014) raporlarına göre, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji oranı halen %20 seviyelerindedir. Enerji üretim kaynağı çeşitliliğine rağmen, üretilen enerjinin yaklaşık %80'i halen fosil yakıtlardan (kömür, doğalgaz ve akaryakıt) karşılanmaktadır (Bank, 2018a). Shafiee ve Topal (2009) dünyadaki fosil yakıt rezervinin 2042 - 2112 yılları arasında tükeneceğini öngörmektedir. Bu öngörü ile birlikte WCED (1987), Elkington (2001) ve Dyllick ve Hockerts (2002) tarafından yapılan sürdürülebilirlik tanımlamaları, bağımlı olduğumuz fosil yakıtların yerine koyulamayacak bir şekilde azalıp bitecek olması nedeni ile sürdürülebilir bir nüfus artışı, tüketim ve üretim dengesi içinde olmadığını göstermektedir.



Şekil 6: Bazı Ülkelerde Kişi Başı Ortalama Elektrik Tüketimi (kW/S) (Bank, 2018a)

Diğer yandan, AÇA'nın 2018 yılı raporuna göre, Avrupa'da toplam sera gazı salınımının %21,4'ü taşımacılık sektöründen kaynaklanmaktadır (EEA, 2018). Karayolu taşımacılığının neden olduğu sera gazı salınım oranının ise, aynı rapora göre %20,6 olduğu belirtilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), karayolu taşımacılığında yoğun olarak kullanılan fosil yakıtların yanma reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (CH), Azot oksitler (NO<sub>x</sub>), sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) ve diğer partiküllerin, canlılara olumsuz etkilerini incelemiş ve canlıları doğrudan etkileyen bazı bulgulara ulaşmıştır. Bu bulgulara göre, akciğer kanserine bağlı rahatsızlıkların ve ölümlerin %25'ini, akut alt solunum enfeksiyonlarına bağlı rahatsızlıkların ve ölümlerin %17'sinin, inmeye bağlı ölümlerin %16'sının, iskemik (bir bölgenin geçici kansız kalması) kalp hastalığına bağlı rahatsızlıkların ve ölümlerin %15'inin, kronik obstruktif akciğer hastalıklarına bağlı rahatsızlıkların ve ölümlerin %8'inin nedeni, hava kirliliği olarak tanımlanmıştır (WHO, 2018). Sağlık etkilerine ek olarak, ton başına CO<sub>2</sub> salınımının ekonomik zararı, gelecek yıllarda karşılaşılması ön görülen doğal afetlerin maliyeti ve bilinmeyen etkilerin de olacak olması nedeni ile 10-20 dolar olarak tahmin edilmiştir (Forkenbrock, 2001).



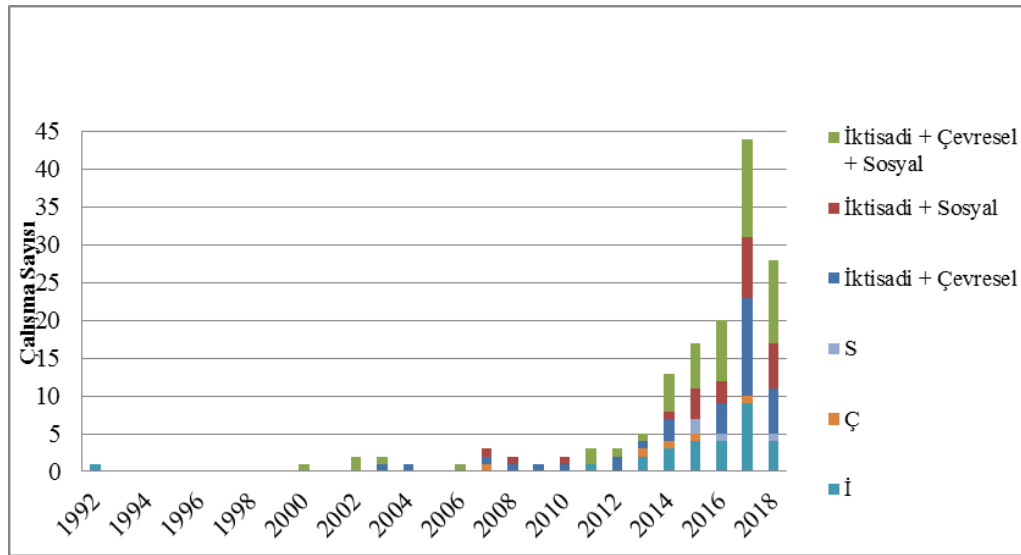
Şekil 7: Dünya Enerji İhtiyacının Fosil Yakıtlardan Karşılama Oranı (Bank, 2018a)

Buhrkal vd. (2012), dünya yüzey alanının yalnızca %2'sini şehir merkezlerinin oluşturduğunu hesaplamıştır. Bu kadar sınırlı yüzey alanına rağmen dünya nüfusunun yaklaşık %55'i şehir merkezlerinde ikamet etmektedir (Bank, 2018b). Hava kirliliğine bağlı zararlı etkilerin anlaşılmasından sonra şehir merkezlerindeki araç trafiğinin ve zararlı gazların emisyonunun azaltılması amacı ile otoriteler tarafından bazı yasal kısıtlamalar hayata geçirilmiştir. Bu kısıtlamalardan bazıları; Londra'da belirli bölgelere belirlenen zaman dilimlerinde giriş yapan araçlardan ücret alınması, Oslo'da 2019 yılından sonra belirlenen bölgelere motorlu araçların giremiyor olması ve Roma'da "ekolojik Pazar" günleri nedeni ile yılın dört Pazar günü tüm araçların şehre girişlerinin engellenmesidir. Bu kısıtlamalardan en fazla etkilenen sektörün lojistik sektörü olması nedeniyle, şehir merkezlerinde dağıtım planlama alanındaki yapılan çalışmaların sayısında önemli bir artış yaşandığı görülmektedir.

### 1.2.2 Literatür Taraması

Araçların hareketi nedeni ile meydana gelen olumsuz iktisadi, çevresel ve sosyal etkilerin, şehir içi SARP literatüründe hangi yönleri ile ele alındığının tespit edilmesi için öncelikle bir literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması, sürdürülebilirlik ile eş ya da benzer anlamı olan kelimeler, araç rotalama kavramı ve karayolu taşımacılığı için şehir içi lojistiğini tanımlayacak anahtar kelimeler kullanılarak "web of science" temel koleksiyon veritabanlarında yapılmıştır. Bu tarama sonucuna göre toplam 167 çalışma

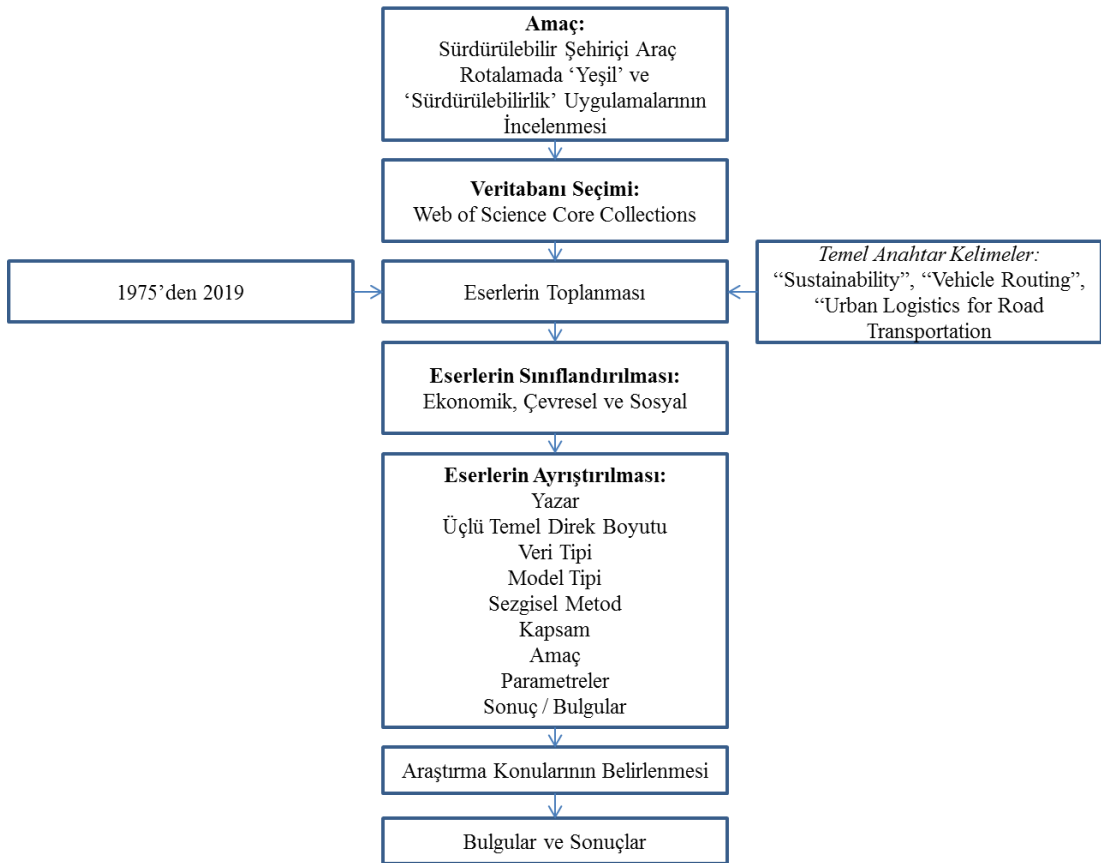
filtreye takılmış; ulaşılabilen 158 çalışmanın yıllara göre yayımlanma sayıları Şekil 8’de gösterildiği gibi 1992-2019 aralığını kapsamaktadır. Pissinou vd. (2001) tarafından yayınlanan çalışma video oyunları ile ilgili olduğu için kapsam dışı bırakılmıştır. ÜBY’nin iktisadi, çevresel ve sosyal boyutları oluşturan alt bileşenlere göre hangi boyut kapsamına girdiği tespit edilmiştir. Örneğin, iktisadi etki için maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu; çevresel boyut için emisyon, elektrikli araç ve atık toplama; sosyal boyut için ise zaman ve risk faktörleri dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmalarda kullanılan model tipi ve çözüm yöntemi olarak, matematiksel model, sezgisel modeller ve meta-sezgisel modeller dikkate alınarak incelenmiştir. Problemlerde kullanılan veri tipleri, gerçek, kurgusal ve gerçek zamanlı veri olarak incelenmiştir. Aynı zamanda, çalışmalarda dikkate alınan göstergeler de sınıflandırılarak sunulmaktadır.



Şekil 8: Sürdürülebilirliğin Alt Boyutlarına Göre Yayımlanan Çalışma Sayıları

Araştırma, web of science temel veri tabanları üzerinden TS=(("vehicle routing") AND (fuel or carbon or emission or energy or pollution or environmental or "environmental impact" or green or perishability or perishable or "shelf life" or waste or closed or return or sustainability or sustainable) AND (urban or "city logistics" or "public") not ("VANET" or UAV or vessel or drone or marine)) sorgusu yapılarak çalışmalara ulaşılmıştır. Sorgunun ilk kısmında, araç rotalama, ikinci kısmında sürdürülebilirlik kavramı ile benzer ya da eş anlamlı kelimeler, üçüncü kısımda şehir içi kavramı ile eş anlamlı ya da yakın anlamlı kelimeler ile son kısımda olmamasını istediğimiz deniz

taşımacılığı, hava taşımacılığını ifade eden kelimeler bulunmaktadır. Bu arama, “makale” (article) ve “inceleme” (review) olarak filtrelenmiş, çalışmaların yayımlanma aralığı “tüm yıllar” olarak belirlenmiş ve indeksler SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI olarak tanımlanmıştır. Makalelere ulaşmak için yalnızca İngilizce tarama yapıldığı için, literatür taramasının kısıtı olarak İngilizce dilinde yazılan çalışmaların incelenmesi olarak söylenebilir. Türkiye’de yapılan çalışmalara ulaşmak için, YÖK TEZ veri tabanları, şehir içi sürdürülebilir araç rotalama ile benzer anlamlara gelen kelimeler ile tarama yapılmış ancak, herhangi bir tez çalışmasına rastlanmamıştır. Makale çalışmalarına ulaşmak için Google akademik veri tabanları kullanılmış ve ulaşılan çalışmalar ilerleyen bölümlerde sunulmuştur. Web of science temel koleksiyonlarında yapılan araştırma süreci, Şekil 9’deki gibi görselleştirilmiştir.



Şekil 9: Araştırma Yöntemi

Bulunan çalışmalar, Elkington'un (2001) ÜBY'sine göre inceleneceği için öncelikle bu boyutların hangi çalışmalarda nasıl ele alındığı sunulmaktadır. Elde edilen bulgular sonucunda, çalışmaların büyük kısmı ÜBY'nin bir veya iki boyutunu birlikte dikkate

aldığı, yalnızca küçük bir kısmının üç boyutu da dikkate alarak çalışma yaptığı tespit edilmiştir. Bu yüzden, bulunan çalışmalar gruplandırılarak yalnızca iktisadi boyutu, iktisadi ve çevre boyutunu, iktisadi ve sosyal boyutu, her üç boyutu ve diğer sınıflandırmaları dikkate alan çalışmalar olmak üzere gruplandırılmıştır. Şekil 9’da açıklanan tarama sorgusu kapsamına giren literatür taraması çalışmaları, Tablo 2’deki gibi sınıflandırılarak yorumlanmıştır.

### **1.2.3 SARP Alanında Literatür Taraması Yapan Çalışmaların İncelenmesi**

Bu kısımda, web of science veri tabanlarından ulaşabilen literatür taraması çalışmalarının incelenmesi yapılacaktır. Filtreye takılan, SARP alanında daha önce yapılmış literatür taraması çalışmaları, Tablo 2’te gösterildiği üzere, toplam 10 tanedir. Bu çalışmaların incelenmesi yapılırken, kapsam, incelenen çalışmaların yayınlandığı yıl aralığı, incelenen çalışma sayısı, çalışmanın kısa açıklaması ve araştırmacıların yaptıkları literatür taraması neticesinde gelecek çalışmalar için önerilerinin ne olduğu belirtilmiştir.

İncelenen çalışmalardan Lu vd. (2013) ve Han ve Ponce-Cueto (2015) atık yönetimi alanında incelemelerde bulunmuşlardır. Lu vd. (2013) yaptığı literatür taraması sonucunda, incelediği çalışmaların emisyon salınımı azaltılması gibi diğer çevresel etkileri çok fazla dikkate almadığını tespit etmiştir. Han ve Ponce-Cueto (2015) ise, atık toplama işinin modern sensor teknolojileri ile zenginleştirilerek, istenilen amaçlara hizmet edilebileceği yönünde önerilerde bulunmuşlardır. Kim vd. (2015) şehir içi ARP alanında yaptığı 76 çalışma incelemesi neticesinde, gürültü ile ilgili çalışmanın olmadığını ve veri seti eksikliği nedeni ile geliştirilmiş modellerin karşılaştırılmadığını raporlamıştır. Pelletier vd. (2016) elektrikli araç kullanımı alanında yaptığı çalışma incelemeleri sonucunda, elektrikli araç kullanımının stratejik, taktik ve operasyonel düzeylerdeki farklı bakış açılarına göre araştırılması gerektiğini belirtmiştir. Ranieri vd. (2018) ARP inovasyonu alanında yaptığı araştırma neticesinde, akıllı şehirlerin oluşumu sürecinde ve akıllı şehirlerde kullanılacak araçlarda inovatif lojistik sistemlerinin oluşturulması gerekliliğine vurgu yapmıştır. İnovatif lojistik sisteminde kullanılacak yeni karar destek sistemlerinde, işbirlikçi, paylaşımlı, gerçek zamanlı veri kullanımı, sensor kullanımına dayalı trafik yönetim sistemi ve otonom araçların kullanımının sisteme dahil edilmesi yönünde çalışmalar yapılabileceği önerisinde bulunulmuştur.



Tablo 2: SARP Alanında Literatür Taraması Yapan Çalışmalar

Yazar/Yıl	Kapsam	Yıl Aralığı	İncelenen Çalışma Sayısı	Kapsam	Araştırma Önerileri
(Lu vd., 2013)	Katı Atık Yönetimi için çevresel bilişim sistemleri	1984 - 2011	222	Çalışmalar, CBS, KDS, veri tabanı sistemi, entegre çevre yönetim sistemi ve uzman sistem kullananlar olarak sınıflandırmıştır. Destekleyici teknolojiler, veri elde etme yöntemleri, veri iletimi, veri saklama, veri madenciliği ve veri-bilgi kullanımı olarak sınıflandırılarak incelenmiştir.	Radyo frekansı tanımlama sensörleri aracılığıyla çöp kutularına gerçek zamanlı veri gönderen yeni bir teknolojik sistem geliştirmek karar vericilere yardımcı olacaktır. Yeni güçlü (robust) algoritmalar en iyi sonuçları sağlaması beklenmektedir. Ekosistemler için veri madenciliği tekniklerinin kullanılması katı atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.
(Han ve Ponce-Cueto, 2015)	Atık Toplama	1974 - 2015	65	İncelenen çalışmaları ayırt - düğüm rotalama olarak sınıflandırmış; çalışmaların literatüre katkısı ile çözüm yöntemleri ele alınarak incelenmiştir.	Atık toplama sürecinde emisyon azaltılmasının çok az çalışmada dikkate alındığını, çoğu atık toplama problemi çalışmalarında operasyonel maliyetlerin azaltılmaya çalışıldığı tespitinde bulunulmuştur.
(Kim vd., 2015)	Şehir içi ARP	1980 - 2014	76	Amaç fonksiyonları çevresel maliyet, kat edilen mesafe, yolculuk süresi-maliyet vb. olarak incelenmiştir. Model tipleri KTP, stokastik ve dinamik, vb. olarak incelenmiştir. Çözüm yöntemleri meta-sezgisel, yeni sezgisel, kesin, tasarruf, kümeleme vb. olarak sınıflandırılmıştır.	Gürültü ile ilgili hiçbir çalışma yapılmadığı, çözüm yöntemi için ajan temelli, çevrimiçi optimizasyon ve benzetim kullanımının eksik olduğu, kıyaslama veri setinin kısıtlı olması nedeni ile karşılaştırma yapılamadığı tespitlerinde bulunulmuştur.
(Margaritis vd., 2016)	Elektrikli Ticari Araç	2010 - 2015	-	Elektrikli Ticari Araç kullanımının; Rekabet edebilirliği, araçların teknik özellikleri, uygulama alanları ve işletme şartlarına göre incelenmiştir.	Teşviklerin elektrikli araç kullanımının artmasına yardımcı olacağı ön görülerek; vergi kesintileri, şarj istasyonlarının geliştirilmesi, geleneksel araçlarda kısıtlamalar, pil kiralamanın kolaylaştırılması, elektrikli araç fonunun kurulması vb. sübvansiyon önerileri sunulmaktadır.
(Pelletier vd., 2016)	Elektrikli Araçlar ile Mal Dağıtım	2010 - 2015	-	Elektrikli araçlar akü tipleri, hibrit sistem ve yakıt hücresi kullanımı türlerine ve piller; Li-S, ZN-Air, Li-Air ve pil şarj özellikleri gibi teknoloji türlerine göre sınıflandırılmıştır.	Elektrikli araçların kullanımı maliyet, filo kompozisyonu, şarj süresi ve rekabet gücü açısından incelenebilir.
(Srinivas ve Gajanand, 2017)	Sürücü Davranışı ve Araç Rotalama	1959 - 2016	33	Amaç fonksiyonlarına göre, mesafe, maliyet, zaman ve yakıt tüketimi-emisyon minimizasyonu olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma depo sayısı, homojen-heterojen filo, esnek-katı (soft-hard) zaman pencereleri, zamana bağımlılık ve çözüm yöntemine göre yapılmıştır.	Sürücülerin dikkate aldıkları önemli faktörleri anlamak için bir araştırma yapılmasının, etkili bir araç rotalama yapılabilmesine yardımcı olabileceği önerisinde bulunulmuştur.
(Ben Ticha vd., 2018)	Yol Ağları ve Araç Rotalama Problemi	-	-	Araç rotalama problemleri yol parçası özellikleri, kompleks özellikler, kompleks yol ağları ve çözüm yöntemlerine göre sınıflandırılmıştır.	Karmaşık ARP için çoklu graf (multigraph) modellemenin izlenebilirliğinin araştırılması gerekmektedir. ARP alanında gerçek zamanlı veriler ile ve elektrikli araçların kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılabileceği vurgulanmıştır.

Yazar/Yıl	Kapsam	Yıl Aralığı	İncelenen Çalışma Sayısı	Kapsam	Araştırma Önerileri
(Björklund ve Johansson, 2018)	Şehir içi Konsolidasyon Merkezi	2000 - 2017	56	Şehir içi konsolidasyon merkezi çalışmalarını paydaşlara, dağıtım yapısına, ulaşım kaynaklarına ve çevresel, sosyal ve iktisadi faktörlere göre sınıflandırılmıştır.	Çevresel ve sosyal faktörler dikkate alınmamış veya ARP operasyonlarından olumsuz etkilenmeyeceği varsayılmıştır. Çevresel ve sosyal faktörlerin daha açık bir şekilde belirlenmesi gerekliliği vurgulanmıştır.
(Cattaruzza vd., 2018)	Çok Turlu ARP	1987 – 2016	-	Çok Turlu ARP (ÇTARP) çalışmaları matematiksel formülasyonlar, kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olarak sınıflandırılmıştır. ÇTARP türleri akademik uzantılar, üretim-envanter rotalama problemi, çok turlu deniz taşımacılığı, çoklu yolculuklarla çok seviyeli dağıtım, vb. olarak sınıflandırılmıştır.	ÇTARP için dinamik bağlamda yalnızca bir çalışmanın olduğunu, zamana bağımlı ÇTARP çalışmasının hiç olmadığını, teorik çalışmaların, çok yüzlü (polyhedral) çalışma, alt sınır şemaları ve performans garantili algoritmaların neredeyse hiç olmadığını vurgulanmıştır.
(Ranieri vd., 2018)	Lojistik inovasyonları ve maliyet iyileştirme	2012 - 2017	24	Çalışmalar, İnovatif araçlar, istasyon yakınlığı, işbirlikçi - müşterek lojistik, taşıma - rotalama yönetimi optimizasyonu ile kamu politikaları - altyapıları olarak sınıflandırılmış ve yöntemlerin mesafeye, emisyonu ve hızı etkileri bakımından incelenmiştir.	Akıllı şehirler oluşumunda akıllı ve yenilikçi lojistik sistemlerinin oluşturulması yönünde işbirlikçi, paylaşımlı, gerçek zamanlı veri kullanımı, sensor kullanımına dayalı trafik yönetim sistemi ve otonom araçların kullanımı için yeni karar destek sistemlerinin geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılabileceği önerisinde bulunulmuş.
Bu Çalışma	Şehir içi Sürdürülebilir Araç Rotalama Problemi	1992- 2019	148	Çalışmalar Elkington'un (2001) ÜBY'sine göre sınıflandırılmıştır. Makalelerin kapsamları, hedefleri, model tipleri, sezgisel yöntemler, veri tipleri, dikkate alınan faktörler ve elde edilen sonuçlar sürdürülebilirlik çerçevesi içerisinde incelenmiştir.	Sosyal boyutun, ÜBY boyutları arasında en az dikkate alınan boyut olduğu ve iktisadi boyutun ise en fazla dikkate alınan boyut olduğu tespit edilmiştir. Yeşil veya sürdürülebilirlik faktörlerinin dikkate alınması durumunda, sera gazı emisyonunun azalmasının yanı sıra, lojistik maliyetlerinin de olumsuz etkilenmediği tespit edilmiştir. Kapsamlı yakıt tüketimi hesaplanarak lojistik faaliyetlerinin sürdürülmesi, sera gazı salınımını azaltacaktır.

Srinivas ve Gajanand (2017) araç rotalamada sürücülerin dikkate aldıkları önemli faktörleri anlamak için araştırma yapılmasının, etkili bir araç rotalama yapılabilmesine olanak sağlayacağını öne sürmüştür. Son yıllarda teknolojik gelişmeler ile birlikte görece kolaylaşan merkezi dağıtım veya konsolidasyon merkezleri alanında yapılan çalışmaların incelenmesi için yapılan literatür taraması çalışması, Björklund ve Johansson (2018) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmada ulaşılan sonuç, incelenen çalışmaların çevresel ve sosyal etmenleri ya hiç dikkate almadıkları ya da pozitif etkilenecekleri varsayımı yapmaları olmuştur.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında ise, daha önce yayınlanan 10 çalışmadan farklı olarak; çalışmaların iktisadi, çevresel ve sosyal etkileri hangi yönleri ile ele aldıkları; çalışmalarda kullanılan veri tiplerinin gerçek, kurgusal ve gerçek zamanlı olarak nasıl kullanıldıkları; çalışmalarda ele alınan problemlerin model tipleri ve çözümünde kullanılan çözüm teknikleri incelenmiştir. Ayrıca, incelenen her çalışmanın kapsamı, amacı, çalışmada amaç fonksiyonunda kullanılan parametreleri ve çalışmada elde edilen bulgular ile sonuçları özetlenmiştir.

#### **1.2.4 Sürdürülebilirliğin İktisadi Boyutunu Dikkate Alan Çalışmalar**

Bu kısımda, ÜBY'nin iktisadi faktörlerini dikkate alıp, çevresel ve sosyal faktörlerini dikkate almayan çalışmalar incelenmiştir. Literatür taramasına göre, 148 çalışmanın 28'sinin (%19) yalnızca iktisadi faktörleri dikkate aldığı tespit edilmiştir. İktisadi faktörler, maliyet minimizasyonu veya kâr maksimizasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Maliyeti oluşturan unsurlar, taşıma maliyetleri, sabit maliyetler, değişken maliyetler, stok bulundurma maliyeti, sürücü maliyeti, depo açma maliyeti, vb. iken kâr unsurları malların/hizmetlerin müşterilere istenilen niteliklerde ulaştırılması sonucunda elde edilmesi ön görülen parasal değerdir.

Bir çalışmanın iktisadi odaklı olduğunun tespiti yapılırken, hesaplamalarda kullanılan ve amaç fonksiyonunu etkileyen parametrelerin iktisadi olup olmamasına bakılmıştır. Tablo 3'te gösterildiği üzere, bu sınıflandırmaya göre değerlendirilmiş olan 28 çalışmadan 27 tanesi maliyetleri dikkate alarak model geliştirmişken, yalnızca Ma vd. (2017) kâr maksimizasyonunu amaçlamıştır.

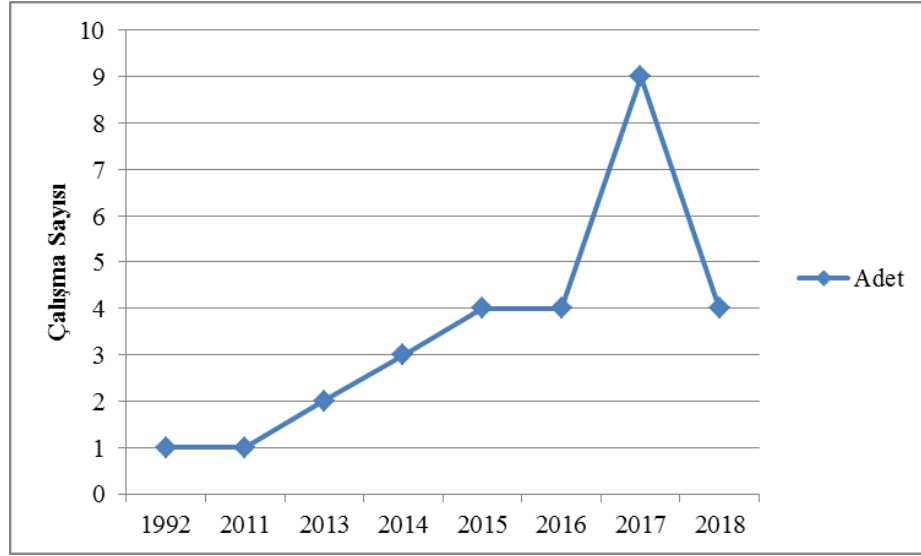
Tablo 3: Sürdürülebilirliğin İktisadi Göstergelerini Dikkate Alan Çalışmalar

Yazar / Yıl	Kapsam	Amaç	Eko		MT	SY	DT			İndikatörler											Sonuçlar		
			C	P			r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j				
(Raghavendra vd., 1992)	ARP	Min: Mesafe	√			√	√	√															Önerilen model mesafede %10 iyileşme sağlamıştır.
(Kuscu ve Kucuksille, 2011)	ARP	Min: Mesafe	√		GH	KK-GA		√	√														İnternet tabanlı bir KDS geliştirilmiştir.
(Sicilia-Montalvo vd., 2013)	Şehirçi ARP	Min: Mesafe-Araç Sayısı	√			TA-DKA		√	√	√													Geliştirilen model ile mesafe %16'ya kadar ve kullanılan araç sayısı %20'ye kadar iyileştirilebilmektedir.
(Munuzuri vd., 2013)	ARPZP	Min: Mesafe-Araç Sayısı	√			GA	√		√	√													Müşteri sayısı arttıkça, kısıtlı alanın (restricted zone) büyüklüğü ve zaman penceresinin uzunluğu maliyeti çok fazla etkilememektedir.
(Dell'Amico vd., 2014)	Bisiklet Paylaşımı	Min: Maliyet	√		KTP	Dal ve Kesme	√		√														Gerçek verilere göre sezgisel model kesin sonuçlara göre %2.24 fark (gap) vermektedir.
(Hu ve Sheng, 2014)	Şehirçi ARP	Min: Boş Kapasite(%)	√		KTP	√	√	√		√	√												Önerilen model %5 maliyet iyileştirmesi sağlamaktadır.
(Ivanovic ve Bauk, 2014)	Yeni Lojistik Modeli	Min: Mesafe	√		Sim			√	√	√													Önerilen model, mesafeyi, kullanılan araç sayısını ve trafik yoğunluğunu azaltmaktadır.
(Boschetti ve Maniezzo, 2015)	ARPZP	Min: Mesafe	√		KTP	GRASP-Lagranj	√		√														12 senaryonun karşılaştırma sonuçlarına göre, geliştirilen modelin %0.56-7.06 arasında fark ile problemleri çözdüğü tespit edilmiştir.
(de Grancy, 2015)	Şehirçi ARP	Min: Maliyet	√			KK		√	√		√	√											3 senaryonun karşılaştırma sonuçlarına göre, geliştirilen modelin %8.14-13.76 arasında fark ile problemleri çözdüğü tespit edilmiştir.
(Wen ve Eglese, 2015)	ARPZP	Min: Maliyet	√			LANCOST	√		√			√	√	~									40-45 noktalı senaryoların karşılaştırılma sonuçlarına göre, yüksek trafik sıkışıklığı ücretinin (congestion charge) daha fazla mesafeye, zamana ve CO <sub>2</sub> emisyonuna sebep olduğu tespit edilmiştir.
(Yao vd., 2015)	TD-ARPZP	Min: Yakıt	√		KTP	KK	√		√														Geliştirilen model yakıt tüketimini ortalama %13.8 oranında azaltabilmektedir.
(Dell'Amico vd., 2016)	ARP-Karışık	Min: Yakıt	√			TYA-AGKA		√	√														Geliştirilen modellerin sonuçları, bilinen 5 veri seti için karşılaştırılmış; 226 örneğin 216'sında optimal sonuç, 67 örneğin 64'ünde mükemmel sonuçlar alınmıştır.

Yazar / Yıl	Kapsam	Amaç	Eko		MT	SY	DT			İndikatörler											Sonuçlar		
			C	P			r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j				
(Lodi vd., 2016)	Toplu Taşıma	Mak: Hizmet Seviyesi	√		KTP	Cimri-YKA			√	√					√				√				Hizmet seviyesi %90'dan %99'a çıkmış; denetleme gideri %1 azalmış ve toplam gelirin %30'u ceza bedeli olduğunda şirketin iflas edeceği tespit edilmiştir.
(Sicilia vd., 2016)	Zengin ARP	Min: Maliyet	√		KTP	TA-DKA			√	√	√												8-20 araç ve 20-500 noktalı senaryolar için sezgisel algoritmanın %13-16 arasında daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.
(Xia vd., 2016)	Steiner GSP	Min: Maliyet	√			Dal Dekom			√	√													Önerilen model, kesin çözüme göre %6.6 fark ile sonuç üretmiştir.
(Correia vd., 2017)	ARP Kablosuz	Min: Araç Kalabalığı	√		KTP	√			√	√													Önerilen model, lojistik maliyetlerini 50 noktalı üç senaryoda %30'a kadar iyileştirmiştir.
(Feng vd., 2017)	Stokastik ARP	Min: Maliyet	√		KTP	BT	√				√								$\bar{x}$	√			Hızı ortalama sabit olarak dikkate almak, yakıt tüketiminin daha az olmasına sebep olurken, stokastik olarak dikkate almak daha fazla yakıt tüketimine sebep olmaktadır.
(Garzon-Garnica vd., 2017)	Personel ARP	Min: Mesafe	√		KTP	TA-GA	√				√												532 noktalı örnekte karışık tam sayılı programlama çözüm üretememiştir. Sezgisel yöntem ise, gerçek duruma göre %2 maliyet azalması sağlayan rota oluşturmuştur.
(Lee ve Savelsbergh, 2017)	Toplu Taşıma	Min: Maliyet	√		KTP	√			√		√										√		Senaryolara göre önerilen model yoğun saatlerde %4.37-5.33 arasında maliyet tasarrufu sağlamaktadır.
(Ma vd., 2017)	TDARPZP	Mak: Kâr		√	KTP	KK-YKA			√	√										~			Bozulabilir ürün dağıtım senaryosunda sezgisel model ortalama %1.75-3.42 fark vererek çözüm üretmiştir.
(Masson vd., 2017)	Şehir içi Taşımacılığı	Min: Maliyet-Araç Sayısı	√		KTP	AYKA	√				√												Hem yolcu hem de malların otobüsler ile taşınması modelinin uygulanabilir olduğu iddia edilmiştir.
(Reyes vd., 2017)	ARP Dağıtım Noktalı	Min: Mesafe	√		KTP	YKA			√	√													Kargoların yalnızca dağıtım noktalarından teslim edilmesinin, yalnızca evlere teslim edilmesine kıyasla toplam dağıtım maliyetlerini %20-50 arasında azaltabileceği iddia edilmiştir.
(Sert vd., 2017)	Toplu Taşıma	Min: Mesafe	√		CBS		√			√													300 metre yürüme mesafesi dikkate alınarak yeni toplu taşıma rotaları oluşturulmuştur.
(Tu vd., 2017)	Büyük Ölçekli ARP	Min: Maliyet	√		VKA	YA	√				√	√											Yunanistan ve Çin (Guanchou ve Pekin eyaletleri) karşılaştırmasına göre önerilen model, lojistik maliyetini %0.31-0.56 arasında azaltmaktadır.
(Akeb vd., 2018)	Kargo Dağıtım	Min: Maliyet	√		Sim		√				√										√		Yedek toplama noktasının kurulması, kargo teslim edememe oranının azalmasına ve dağıtım maliyetinin düşmesini sağlayacaktır.



Çalışmalarda hangi faktörlerin ve hangi veri tiplerinin kullanıldığı, model tiplerinin ve çözüm için kullanılan yöntemlerin ne olduğu, çalışmaların kapsamının, amaçlarının, kullanılan parametrelerin ve çalışmalardan elde edilen bulgu ve sonuçların neler olduğu, Tablo 3’de gösterilmektedir. Bu başlık altında incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı, Şekil 10’da gösterildiği üzere, 2017 yılında sadece iktisadi faktörleri dikkate alan çalışmaların sayısında büyük bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 10: İktisadi Odaklı Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

#### 1.2.4.1 İktisadi Faktörlere Odaklı Çalışmalarda Kullanılan Veri Tipleri

Literatür taraması sonucunda, problemlerin çözümü için kullanılan veri tipleri gerçek, kurgusal ve gerçek zamanlı veri olarak incelenmiştir. Gerçek (real) veri, geliştirilen modellerin çözümü için kullanılan verinin birincil olduğunu ve ilgili kurum-kuruluştan doğrudan elde edilerek kullanıldığını ifade eder. Kurgusal (hypothetical) veri, geliştirilen modellerin çözümü için gerçeği yansıtacak özellikler içerdiğini ancak herhangi bir kurum - kuruluştan elde edilmediğini ifade eder. Gerçek zamanlı (real-time) veri, geliştirilen bir modelde ihtiyaç duyulan verinin bir kısmını veya tamamını gerçek zamanlı olarak elde edilerek modelde kullanıldığını ifade etmektedir. İncelenen 28 çalışmanın 13 tanesinde gerçek veri kullanılmış; 14 tanesinde kurgusal veri kullanılmış ve 1 tanesinde gerçek zamanlı veri kullanıldığı tespit edilmiştir.

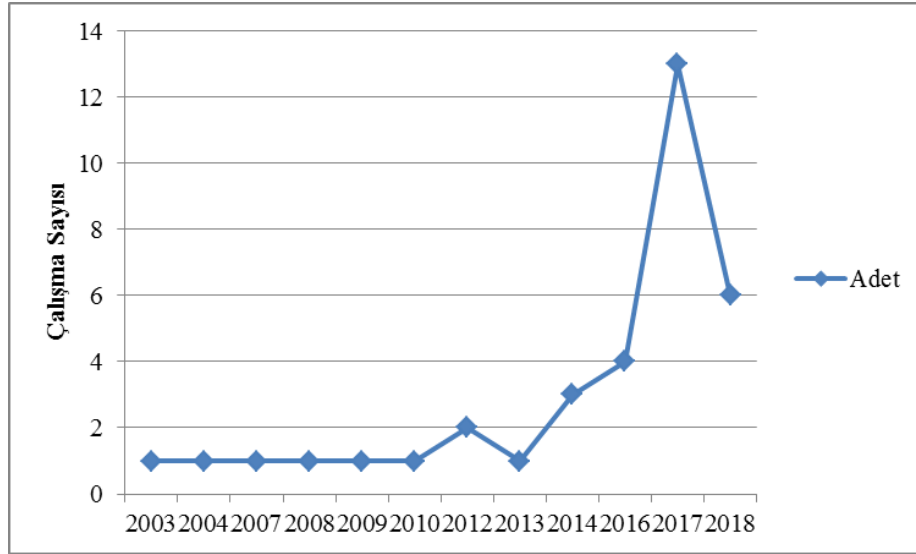
#### **1.2.4.2 İktisadi Faktörlere Odaklı Çalışmalarda Kullanılan Model Türü ve Çözüm Yöntemleri**

Araştırmacılar, geliştirdikleri problem tipleri için kesin yöntemler, sezgisel yöntemler ve meta sezgisel yöntemler kullanarak problemleri çözmüşlerdir. Çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri her çalışma için bir veya birden fazla olabilmektedir. Nitekim, yöntem karşılaştırma makalelerinde genelde iki ve daha fazla çözüm yönteminin kullanıldığını veya hibrit yöntemlerde iki ve daha fazla yöntemin birleştirilerek kullanıldığını Tablo 3’de görmek mümkündür. Çözümde kullanılan model tipleri ve yöntemleri itibariyle; 12 çalışmada Karışık Tam sayılı Programlama (KTP), 7 tanesinde yerel arama; ((Yerel Komşuluk Arama (YKA), Adaptif komşuluk Arama (AGKA), Değişken Komşuluk Arama (DKA)), 5 tanesinde Tabu Arama (TA), 3 tanesinde Genetik Algoritma (GA), 2 tanesinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), 2 tanesinde Benzetimli Tavlama (BT) ve diğer çalışmalarda da bazı farklı yöntemler kullanılmıştır.

#### **1.2.5 İktisadi ve Çevre Odaklı Çalışmalar**

Literatür taraması sonucunda bulunan 148 çalışmanın 36 tanesi iktisadi ve çevresel faktörleri dikkate almaktadır. Çevresel faktörleri değerlendirirken en fazla karşılan göstergeler, atık toplama (elektronik atık, evsel atık, tıbbi atık, atık yağ, geri dönüşüm), elektrikli araçlar (Şehir içi yolcu taşımacılığı, yük taşımacılığı, otonom sürücüsüz araç) ve emisyon (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM) salınımını dikkate alan çalışmalar olmuştur. Bir çalışmanın çevresel faktör kapsamında değerlendirilebilmesi için, o çalışmanın amaç fonksiyonunda çevreye olan zararı azaltabilecek bir parametrenin olmasına veya çevreyi olumsuz etkileyen herhangi bir etkenin olup olmamasına bakmak gerekmektedir. Çalışmalarda hangi faktörlerin ve veri tiplerinin kullanıldığı, model tiplerinin ne olduğu, çözüm için kullanılan yöntemin ne olduğu, çalışmaların kapsamının, amaçlarının, kullanılan parametrelerin ve çalışmalarda elde edilen bulgu ve sonuçların neler olduğunun özeti, Tablo 4’te gösterilmektedir. Bu başlık altında yayınlanan çalışmaların yıllara göre dağılımı, Şekil 11’de gösterilmektedir. Buna göre, 2017 yılında yayınlanan eser sayısı 2016 yılında yayınlanan eser sayısının üç katıdır.





Şekil 11: İktisadi ve Çevresel Faktörleri Dikkate Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

Şehirlerde atık toplama organizasyonu, hayat kalitesine, şehrin çekiciliğine, trafik akışına, çevresel kirliliğe ve atıktan elde edilen gelire doğrudan etki etmektedir (Gruler vd., 2017a). Artan şehir nüfusları doğrultusunda, artan atık miktarları da gün geçtikçe önem kazanmış ve yerel belediyeler için daha önemli bir görev haline gelmiştir (Lu vd., 2017). İncelenen 35 çalışmadan 10 tanesi, atık toplama problemini ele almıştır. Bu çalışmalardan Nowakowski (2017) elektronik atık toplama probleminin çözümüne, Araujo vd. (2010) atık yağların toplanarak biyodizele dönüştürülüp yakıt olarak kullanılmasına, Teixeira vd. (2004) geri dönüştürülebilir katı atık toplama probleminin çözümüne ve Fernandez vd. (2014) ve Gomes vd. (2015) gibi yazarlar da çalışmalarında evsel atık toplama probleminin çözümüne odaklanmışlardır.

İlk elektrikli araç 1890 yılında William Morrison tarafından üretilmiştir. Daha sonra otomotiv üreticileri de bir süre elektrikli araç üretimine devam etmişler; ancak ilerleyen süreçte üretimi durdurmuşlardır (Matulka, 2018). Elektrikli araçları diğer fosil yakıtlı araçlara ikame hale getirme ya da günlük hayatta elektrikli araçları da kullanma isteği ile ilgili çalışmalar, Şekil 8’te de görüldüğü gibi, elektrikli araç teknolojisine yapılan yatırımlar nedeni ve sıfır emisyon yayması nedeni ile son yıllarda artış göstermektedir. Elektrikli araç kullanımı Li (2014) ve Simoni vd. (2018) gibi yazarlar tarafından, iktisadi açıdan değerlendirilmiştir. Menzil sınırları içerisinde diğer yakıt kullanan araçlar ile karşılaştırılması Koc ve Karaoglan (2016) tarafından ele alınmış; şarj

süresinin ve şarj istasyonlarının yerleri Barco vd. (2017), Shao vd. (2017) tarafından incelenmiştir. Yasal kısıtlamalara çözüm olarak elektrik araç kullanımı, Cirovic vd. (2014), Mirhedayatian ve Yan (2018) tarafından analiz edilmiştir.

Ulaştırma endüstrisinde çevre konusu yalnızca bugün değil, geçmiş yüzyılın da farklı açıdan gündeminde olmuştur. On dokuzuncu yüzyıl başlarında atlar ile taşımacılık yapıldığı dönemde, şehir içinde atların dışkılarının oluşmasına karşın fosil yakıtlı araçların kullanılması “çevreci” bir çözüm olarak önerilmiştir (Tarr, 1971). Bugün ise, fosil yakıtlı araçların çevreci olmaması sebebi ile ya alternatif yakıtlı araçlar önerilmekte ya da kullanılan fosil yakıtlı araçların emisyon değerlerinin azaltılması üzere çalışmalar yapılmaktadır. Literatür taraması neticesinde, hava kirliliğini dikkate alarak ARP’ye çözüm üreten 17 çalışmaya rastlanılmıştır. Saberi ve Verbas (2012) ve Kazemian vd. (2018) gibi yazarlar, fosil yakıtların yanması sürecinde ideal yanma tepkimesi oluştuğunu varsayarak, yalnızca CO<sub>2</sub>’nin artık madde olarak açığa çıktığı hesaplamışlardır. Quak ve de Koster (2009), Cirovic vd. (2014), Li (2014) CO<sub>2</sub> haricindeki NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> gibi maddeleri de dikkate almışlardır. Diğer yandan, Wasiak vd. (2017) yalnızca CO salınımını dikkate alırken Simoni vd. (2018) emisyonu maliyet olarak dikkate almıştır.

Hava kirliliği hidrokarbonların yani fosil yakıtların, enerji dönüşümü için yanma tepkimesi neticesinde meydana gelen artık maddeler nedeni ile oluşmaktadır. Ulaşımında en fazla kullanılan hidrokarbonlardan olan geleneksel benzinin kimyasal yapısı C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> iken motorinin kimyasal yapısı C<sub>14</sub>H<sub>30</sub>’dur. Benzin ve motorinin O<sub>2</sub> ile ideal yanma tepkimesinde artık madde yalnızca CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O olarak görünmektedir. Kullanılan araçlarda atmosferde bulunan oksijen haricindeki diğer gazların da tepkimeye girmesiyle karbon monoksit, azot monoksit, azot dioksit ve sülfür dioksit de artık madde olarak meydana gelmektedir. Bu artık maddelerin çevreye ve insanlara olan zararları 1.2.5.2 numaralı bölümde detaylı olarak verilmiştir.

#### **1.2.5.1 İktisadi ve Çevre Odaklı Çalışmalarda Kullanılan Veri Tipleri**

Literatür taraması sonucunda, 35 çalışmanın 17 tanesinde gerçek veri, 18 tanesinde kurgusal veri ve 1 tanesinde gerçek zamanlı veri kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaların bazılarında gerçek, kurgusal ve gerçek zamanlı verilerin birlikte kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 4: Sürdürülebilirliğin İktisadi ve Çevresel Göstergelerini Dikkate Alan Çalışmalar

Yazar / Yıl	Kapsam	Amaç	İkt		Çev			MT	SY	VT			İndikatörler											Sonuçlar												
			C	P	E	G	W			r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k		l											
(Lacomme vd., 2003)	KARP	Min: Maliyet-CPU Zamanı	√				√		BSGAI-GA		√	√																								Önerilen model, büyük ölçekli problemleri kabul edilebilir süre içinde çözmektedir.
(Teixeira vd., 2004)	DAT	Min: Maliyet	√				√	CBS	√			√																							Geçmiş veriler ile karşılaştırma yapıldığında önerilen model, cam ve kâğıt toplama örneğinde %29'a kadar iyileştirme sağlamaktadır.	
(Quak ve de Koster, 2007)	ARPZP	SP	√				√		Tanımlayıcı İstatistik	√			√	√	√																				33 belediye ile görüşmeler yapılarak zaman penceresinin zararlı gaz salınımını azalttığı sonucuna varılmıştır.	
(Santos vd., 2008)	AT	Min: Maliyet-Araç Sayısı	√				√	CBS	Dijkstra			√	√																						6.5, 7.5 ve 8 saatlik vardiya uzunlukları kat edilen mesafe açısından karşılaştırılmış; 8 saatlik vardiyanın daha az esnek ve daha az maliyetli olduğu tespit edilmiştir.	
(Quak ve de Koster, 2009)	ARPZP	SP	√				√	DS-Reg		√			√	√																					Zaman penceresi uygulamasının işletmenin haftalık maliyetlerini 1800Euro artırdığı, mesafeyi %6 artırdığı ve büyük araçlar kullanılırsa sera gazı salınımını azaltabilmektedir.	
(Araujo vd., 2010)	Biyodizel Üretimi	Ekonomik Analiz	√				√	KTP				√	√																						Biyodizel üretim maliyeti farklı faktörler ile hesaplanarak, 0.47-1.03\$/lt ve ortalama 0.73\$/lt olarak bulunmuştur.	
(Teo vd., 2012)	ARPZP	Yol Fiyatlama Analizi	√				√	ÇAS	Q-Öğrenme	√			√																						Geçmiş veriler ile uygun rotalama yapılırsa hem yol fiyatlama, hem de NO <sub>x</sub> emisyonunda iyileştirme olacağı tespit edilmiştir.	
(Saber ve Verbas, 2012)	ZBARP	Min: Maliyet-CO <sub>2</sub>	√				√		√			√	√																						Günün farklı zaman dilimleri karşılaştırılmış, CO <sub>2</sub> maliyetindeki artışların CO <sub>2</sub> salınımını %12'ye kadar iyileşebilmektedir.	
(Davis ve Figliozzi, 2013)	Şehir içi VRP	EA-KA karşılaştırma	√				√	KTP		√			√																						Mevcut batarya teknolojileri ile elektrikli araç kullanımının ekonomik olarak avantajlı olmadığı tespit edilmiştir.	
(Cirovic vd., 2014)	Şehir içi VRP	Min: CO <sub>2</sub> Maliyet-Ses	√				√		BT-C&W-BSA	√		√	√																						Önerilen model taşıma maliyetlerini ve çevreye zarar veren dışsalıkları azaltabilmektedir.	
(Fernandez vd., 2014)	AT	Min: Maliyet-Dışsalık	√				√	CIP	YZ	√			√																						Vakum sistemi ile atık toplama yönteminin enerji tüketimini ve geleneksel yöntemlerin uygunsuzluklarını (ses, pis koku, vs.) azaltacağı tespit edilmiştir.	
(Li, 2014)	Otobüs Çizelgeleme	EA-KA karşılaştırma	√				√		DSA-SÜA-DFA	√			√																						Elektrikli otobüs kullanımı ekstra satın alma maliyetine sebep olduğu için CNG, dizel ve hibrit araçlara göre iyi bir seçim olmadığı tespit edilmiştir.	





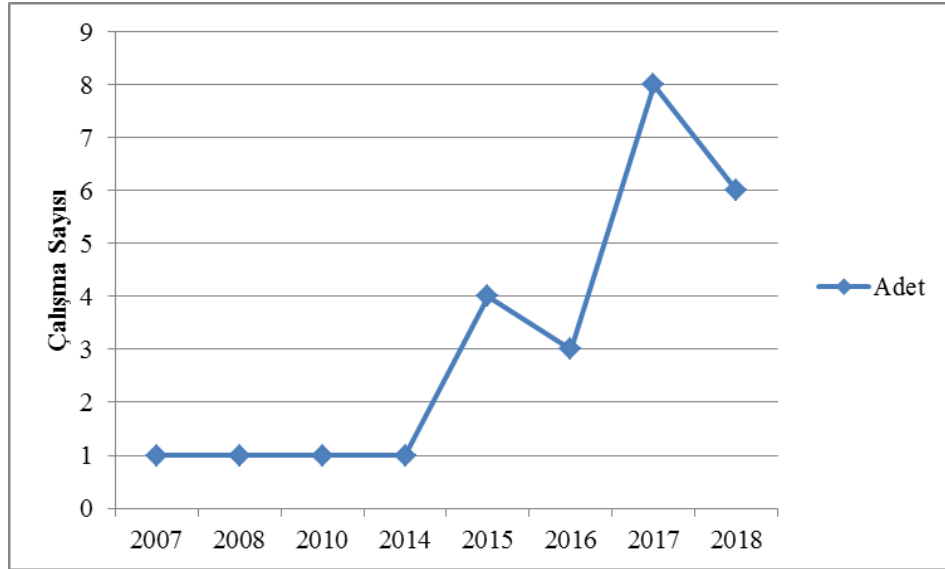
### **1.2.5.2 İktisadi ve Çevre Odaklı Çalışmalarda Kullanılan Model Türü ve Çözüm Yöntemleri**

Araştırmacılar bu kısımda incelenen 35 çalışma için kesin, sezgisel ve meta sezgisel çözüm yöntemleri ile ilgilendikleri problemleri çözmüşlerdir. İncelenen 14 çalışmada KTP, 7 çalışmada GA, 3 çalışmada Dijkstra, 3 çalışmada TA, 3 çalışmada BT, 4 çalışmada C&W, 3 çalışmada CBS ve 2 çalışmada benzetim ve diğer bazı yöntemlerin kullanıldığı Tablo 4’te gösterilmiştir.

### **1.2.6 İktisadi ve Sosyal Odaklı Çalışmalar**

İktisadi ve sosyal boyutları birlikte dikkate alan çalışma sayısı 25 adettir. İktisadi ve sosyal boyutları birlikte ele alan ilk çalışma 2007 yılında (Hsu vd.) tarafından yayınlanmıştır. Literatür taraması sonucunda, sosyal etkileri dikkate alan çalışmalarda insanı, ürünü ve zamanı gözeterek çalışmalar yapıldığı tespit edilmiştir. İncelenen çalışmalar, Popovic vd. (2018) ile Bloemhof ve Soysal’ın (2017) çalışmalarında geliştirdikleri sosyal boyut göstergelerine göre sınıflandırılmıştır. Zamanı, kaza riskini, sağlık etkilerini, iş tatminini, müşteri memnuniyetini, zamanında teslimatı, yeni istihdama katkıyı dikkate alan çalışmalar Popovic vd.’nin (2018) çalışmasından uyarlanmıştır. Ürün kalitesinin korunmasına ilişkin etkilerin dikkate alınması ise, Bloemhof ve Soysal’ın (2017) çalışmasından uyarlanmıştır. Ayrıca, bu başlık altında yayınlanan çalışmaların yıllara göre dağılımı, Şekil 12’de gösterilmiştir. Buna göre, iktisadi ve sosyal boyutları dikkate alan çalışma sayısı 2017 yılında en yüksek seviyeye çıkmıştır.

İnsanı temel alan çalışmalarda Zhang vd. (2017) paylaşımlı bisiklet kullanıcısı olan müşterilerin memnuniyetsizliğini minimize etmeyi amaçlamıştır. Yolcu olarak insanı dikkate alan çalışmalarda (bkz. Gomes vd. (2015), Jung vd. (2016), Wang ve Odoni (2016), Zhang ve Pavone (2016), Alonso-Mora vd. (2017)) bekleme sürelerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 12: İktisadi ve Çevresel Faktörleri Dikkate Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

Ürünü gözeterek yapılan çalışmalarda, Hsu vd. (2007), Tu vd. (2015), Flamini vd. (2018) geç teslimatı ve Pan vd. (2017) başarısız teslimatı dikkate almış; Osvald ve Stirn (2008), Hu vd. (2017) ise, tazeliği ve ürün kalitesini dikkate almıştır.

Zamanı gözeterek yapılan çalışmalarda, hızın zaman içinde değişip değişmemesine bağlı olarak iki farklı şekilde ele alındığı tespit edilmiştir. Birincisi, mesafe ile sürüş süresinin doğrusal olduğu, bir başka deyişle, hızın zaman içinde hiç değişmediği kabul edilerek yapılan çalışmalardır. Hızın sabit olarak kabul edildiği çalışmalar, Liu vd. (2014a), Anderluh vd. (2017), Ben Mohamed vd. (2017), Grosso vd. (2018) tarafından geliştirilmiştir. Hızın zaman içinde değişkenlik gösterdiğini kabul eden çalışmalar ise, Wang vd. (2015), Androutopoulos ve Zografos (2017), Norouzi vd. (2017) tarafından geliştirilmiştir.

Sosyal boyutlar ile birlikte iktisadi boyutları da dikkate alan çalışmalar maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu yapmak üzere modellerini kurguladıkları tespit edilmiştir. Maliyeti minimize etmek üzere geliştirilen modeller, Hsu vd. (2007), Liu vd. (2014a), Gomes vd. (2015), Sun vd. (2015), Tu vd. (2015), Wang vd. (2015), Wang ve Odoni (2016), Zhang ve Pavone (2016), Alonso-Mora vd. (2017), Anderluh vd. (2017), Androutopoulos ve Zografos (2017), Norouzi vd. (2017), Zhang vd. (2017), Flamini vd. (2018), Grosso vd. (2018) tarafından geliştirilmiştir. Diğer yandan, Pan vd. (2017)

başarısız teslimat oranını minimize eden bir model geliştirmişken, Ben Mohamed vd. (2017) merkezi bir konsolidasyon merkezi kurarak toplam dağıtım maliyetini minimize edecek model geliştirmiştir. Kâr amaçlı kurulan modeller Osvald ve Stirn (2008) tarafından bozulabilir ürünleri tazeliğini koruyabildiği sürede teslimatını gerçekleştirerek ürünün değerini kaybetmemesini ve böylelikle kâr maksimizasyonu yapılması üzere bir model geliştirmiştir. Jung vd. (2016) ise, paylaşımlı taksi kullanımı ile daha az mesafe kat ederek daha fazla yolcu taşımayı ve taşınan yolculardan elde edilen kârı maksimize eden bir model geliştirmiştir.

#### **1.2.6.1 İktisadi ve Sosyal Odaklı Çalışmalarda Kullanılan Veri Tipleri**

İncelenen 25 çalışmanın 7 tanesinde gerçek veri, 15 tanesinde kurgusal veri ve 6 tanesinde gerçek zamanlı veri kullanıldığı tespit edilmiştir.

#### **1.2.6.2 İktisadi ve Sosyal Odaklı Çalışmaların Model Türleri ve Çözüm Yöntemleri**

Araştırmacılar bu kısımda incelenen 25 çalışma için kesin, sezgisel ve meta sezgisel çözüm yöntemleri ile problemleri çözmüşlerdir. İncelenen 13 çalışmada KTP, 5 çalışmada TA, 2 çalışmada BT, 3 çalışmada C&W, 2 çalışmada GRASP, 3 çalışmada benzetim, 2 çalışmada KK ve 2 çalışmada GA kullanılmıştır (bkz. Tablo 5).





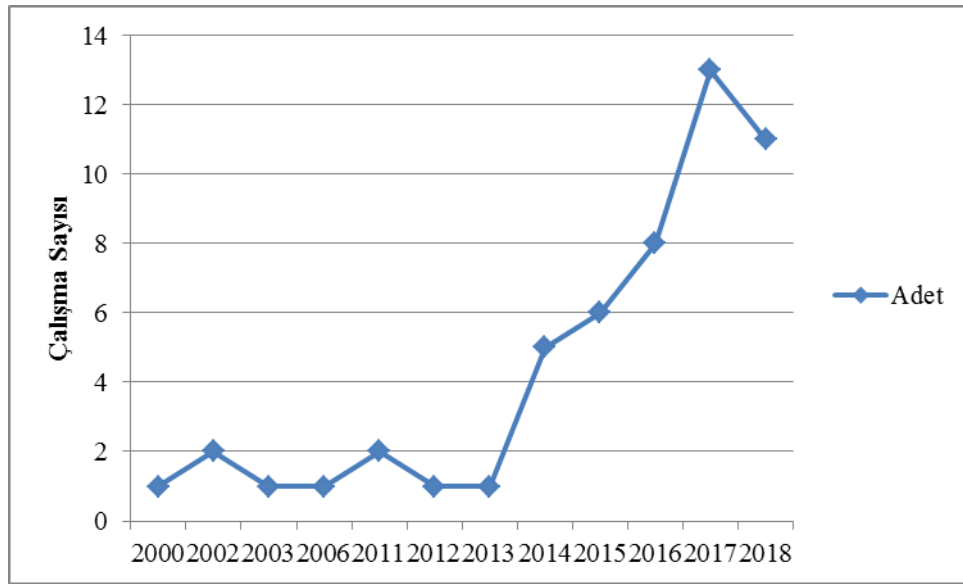
Yazar/Yıl	Kapsam	Amaç	İkt		Sosyal			MT	SY	DT			İndikatörler													Sonuçlar										
			C	P	T	R	O			r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l												
(Alonso-Mora vd., 2017)	Paylaşımlı Araç	Min: Araç Sayısı-Zaman	√	√					TA-BT-Lin Karningham	√	√	√	√	√																						1-2-4-10 kişilik yolcu taşıma kapasitesindeki araçların karşılaştırılma senaryosunda, önerilen modelin, araç sayısını %15-30 arasında azaltacağı belirlenmiştir.
(Anderluh vd., 2017)	Son Kilometre Lojistiği	Min: Maliyet-Zaman	√	√				KTP	GRASP	√		√	√														√	√						Senkronize şekilde çalışma ile klasik yöntemin karşılaştırılmasına göre, senkronize olmak emisyonunu azaltırken toplam lojistik maliyetlerini de %0.46-5.96 arasında azaltacağı tespit edilmiştir.		
(Androutopoulos ve Zografos, 2017)	ARPZP	Min: Yakıt-Zaman	√	√				KTP	KK			√	√	√							~													Önerilen modelin yakıt tüketimini ve seyahat süresini %10'a kadar azaltacağı tespit edilmiştir.		
(Cagliano vd., 2017)	Lojistik Şirketleri	Etkililik Analizi	√				√	Reg		√		√	√												√									Çalışma süresi, seyahat süresi, mesafe, rota verimliliği, toplam hizmet sayısı, gelir ve nüfus yoğunluğu, lojistik firmalarının üretkenlik faktörleri olarak değerlendirilmiştir.		
(Hu vd., 2017)	Bozulabilir ARPZP	Min: Maliyet-Bozulma	√	√				KTP	PSO-DKA			√	√				√									√	√							Önerilen model senaryodaki problemleri %1.1 boşluk ile Kabul edilebilir süre içinde çözmüştür.		
(Norouzi vd., 2017)	ZBARP	Min: Yakıt-Zaman	√	√				KTP	PSO			√	√								~	√												Zamana bağlı hızın dikkate alınması alınmamasına göre amaç fonksiyonu değerini %6 azaltırken çözüm süresini %30 artırmaktadır.		
(Pan vd., 2017)	E-Ticaret	Maks: Başarılı Teslimat	√				√	KTP		√	√	√																						Hane halkının elektrik tüketimi periyotları dikkate alınarak rotalama yapılırsa başarılı teslimat oranının %37'den %63'e çıkacağı belirlenmiştir.		
(Zhang vd., 2017)	Paylaşımlı Bisiklet	Min: Maliyet-Tatminsizlik	√				√	KTP-D				√	√	√																				Dinamik model, statik modele göre müşteri memnuniyetsizliğini %21.4 oranında azaltmış ancak ekstra maliyete sebep olmuştur.		
(Akyol ve De Koster, 2018)	ARPZP	Min: Maliyet-Zaman	√	√				KTP-Reg	Oyun Teorisi			√	√	√	√						-													Önerilen model, maliyette, seyahat süresinde ve müşteri memnuniyetinde iyileştirmelere neden olmuştur.		
(Flamini vd., 2018)	Bozulabilir ARP	Ekonomik Analiz	√	√				GIS	TA		√	√	√																					Gerçek zamanlı veri kullanımı farklı büyüklüklerdeki müşteri sayıları için karşılaştırılmış ve %25-34 arasında iyileştirme sağlamıştır.		
(Grosso vd., 2018)	ARPZP	Min: Araç Sayısı-Zaman	√	√				KTP	C&W-TA-GA			√	√	√	√													√						10-150 nokta sayılı senaryolar için çözüm yöntemleri karşılaştırılmış; GA diğer sezgisel yöntemlerden daha iyi sonuçları daha uzun çözüm süresinde vermiştir.		
(Hu vd., 2018)	Şehir içi VRP	Min: Yakıt-Zaman	√	√					A* Algoritması		√	√									~	√												Önerilen model ile yakıt tüketimi %10, seyahat süresi %21 azalırken kat edilen mesafe %9 kadar artmıştır.		

Yazar/Yıl	Kapsam	Amaç	İkt		Sosyal			MT	SY	DT			İndikatörler											Sonuçlar			
			C	P	T	R	O			r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k		l		
(Rossi vd., 2018)	Otonom Araç	Min: Maliyet-Zaman	√		√				EKA	√																	Gerçek zamanlı trafik verisinin kullanılması yolcuların seyahat süresini büyük oranda azalttığı tespit edilmiştir.
(Zissis vd., 2018)	E-Ticaret	Min: Maliyet-Zaman	√		√			KTP		√			√														Mikro dağıtım merkezinin açılması ve işbirliğinin yapılması maliyetleri %18, teslimat süresini %21 ve mesafeyi %10 azaltacağı tespit edilmiş.

Kapsam (ARPZP: Araç Rotalama Problemi Zaman Pencereli, ARP: Araç Rotalama Problemi, ZBARP: Zaman Bağlı ARP, S-ZBARP: Stokastik ZBARP). Amaç (HS: Hizmet Seviyesi) İkt: İktisadi (M: Maliyet, K: Kâr). Sosyal (T: Zaman, R: Risk, O: Diğer). MT: Model Tipi (KTP: Karışık Tamsayılı Programlama, Sim: Simülasyon. KTP-D: Doğrusal Olmayan Karışık Tamsayılı Programlama, Reg: Regresyon, CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi). SY: Sezgisel Yöntem (EKA: En Yakın Komşuluk Arama, TA: Tabu Arama, BT: Benzetimli Tavlama, MVD: Mekânsal- Voronoi Diyagram, KK: Karınca Kolonisi, C&W: Clark ve Wright, PSO: Parçacık Sürü Optimizasyonu, GA: Genetik Algoritma, VNS: Değişken Komşuluk Arama). VT: Veri Tipi (r: Gerçek Veri, t: Gerçek Zamanlı Veri, v: Kurgusal Veri). Göstergeler (a: mesafe, b: araç sayısı c: seyahat süresi, d: araç tipi, e: çalışan ücretleri, f: trafik sıkışıklık ücreti, g: hız (-: sabit,  $\bar{x}$ : ortalama, ~: zamana bağlı), h: yakıt tüketim fonksiyonu i: hizmet seviyesi j: bakım maliyeti, k: Sera Gazı Hesaplama, l: araç operasyon maliyeti (satın alma, kiralama, amortisman, vb.)).

### 1.2.7 İktisadi, Çevresel ve Sosyal Odaklı Çalışmalar

Faaliyetlerin sürdürülebilir olabilmesi için Elkington'un (2001) ÜBY'de ifade ettiği üzere iktisadi, çevresel ve sosyal unsurların olumsuz yönde ya çok az etkilenmesi ya da hiç etkilenmemesi gerekmektedir. Literatür taramasına göre Elkington'un modeli uyarınca iktisadi, çevresel ve sosyal boyutların üçünü de dikkate alan çalışma sayısı Tablo 6'da sunulduğu üzere 52 adettir. Sürdürülebilirliğin her üç boyutunu da dikkate alan çalışmaların sayısında son yıllarda önemli bir artışın olduğu gözlemlenmektedir (bkz. Şekil 13).



Şekil 13: İktisadi, Çevresel ve Sosyal Faktörleri Dikkate Alan Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

İncelenen 52 çalışmada 44 tanesi iktisadi boyut özelinde maliyeti dikkate aldıkları ve yalnızca Nowakowski vd. (2018) çalışmasında hem maliyeti, hem de kârı dikkate aldığı tespit edilmiştir. Maliyeti oluşturan unsurlar itibarıyla Santos vd. (2011), Hachicha vd. (2014), Fatnassi vd. (2015), Montoya-Torres vd. (2016b), Carrabs vd. (2017), Esmaili ve Sahraeian (2017), Melo vd. (2017), Nguyen-Trong vd. (2017) kat edilen mesafe ile maliyetin doğrusal olduğu varsaymışlardır. Maliyeti oluşturan bir diğer unsur olan yakıt tüketimi için Franceschetti vd. (2013), Liu vd. (2014b), Jabbarpour vd. (2015), Soysal vd. (2015), Xiao ve Konak (2015), Franceschetti vd. (2017) tarafından daha önce geliştirilmiş yakıt tüketim fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan araçların sayısı, amortisman maliyeti ve yıpranma maliyeti gibi unsurlar ise, Chang ve Wei (2002),

Taniguchi ve Thompson (2002), Santos vd. (2011), Franceschetti vd. (2013), Fatnassi vd. (2015), Gupta vd. (2017) tarafından dikkate alınmıştır.

Çevre boyutu yönünden incelenen çalışmalardan 7 tanesinin atık toplama ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmalardan Chang ve Wei (2002), Santos vd. (2011), Gomez vd. (2015), Abbatecola vd. (2016), Son ve Louati (2016), Nguyen-Trong vd. (2017) evsel katı atık toplama problemi çözümü için model geliştirmişken, Hachicha vd. (2014) bulaşıcı tıbbi atık probleminin çözümü için model geliştirmiştir.

Ekolojik yönden katkı sağlayan çalışmalardan olan Fatnassi vd. (2015), şehir içi yolcu otobüslerinin hem yolcu, hem de mal taşınması ile şehir içi trafiğinin olumlu etkileneceğini; bu sayede toplam emisyonun azalacağını ve elektrikli araç kullanımı nedeni ile CO<sub>2</sub> salınımı olmayacağını ileri sürmüştür. Diğer yandan, hidrokarbon temelli fosil yakıtların ideal yanma tepkimesi ile yandıkları varsayılarak salınan kirli gazların yalnızca karbondioksit olarak hesaplama yapılan çalışmalar olmuştur. Bu çalışmalardan bazıları sırasıyla Taniguchi ve van der Heijden (2000), Figliozzi (2011), Jabali vd. (2012), Liu vd. (2014b), Jabbarpour vd. (2015), Ehmke vd. (2016), Carrabs vd. (2017), Soysal vd. (2018) tarafından geliştirilmiştir. Yanma tepkimesi sonucunda ozon tabakasına uzun vadede en fazla zarar verdiği gerekçesiyle Gupta vd. (2017) tarafından yalnızca karbon monoksit salınımı dikkate alınmıştır. Karbon dioksit salınımının zararlarının yanı sıra, azot monoksit, azot dioksit, sülfür dioksit, vb. salınımının zararlarını da dikkate alan çalışmalar, Ando ve Taniguchi (2006), Pamucar vd. (2016), Melo vd. (2017) tarafından yayınlanmıştır. Diğer yandan Franceschetti vd. (2017) tüm zararlı gazların salınımı yakıt tüketiminin bir oranı olduğunu varsaymıştır. Huang vd. (2017) ise, yalnızca yakıt tüketimini minimize etmenin zararlı gazların salınımını da azaltacağını iddia etmektedir.

İncelenen çalışmaların sosyal boyuta etkisi; zamanı, kaza riskini, sağlık etkilerini, ürün kalitesi etkilerini, iş tatminini, müşteri memnuniyetini, geç teslimatı ve yaratılan ek istihdamı gözetip gözetmediklerine bakılarak göre sınıflandırılmıştır. Zaman faktörü en fazla dikkate alınan faktör olmakla birlikte, Taniguchi ve van der Heijden (2000), Taniguchi vd. (2002), Taniguchi ve Yamada (2003), Figliozzi (2011), Jabbarpour vd. (2015), Xiao ve Konak (2015), Soysal vd. (2018) tarafında geç teslimat dikkate alınmış ve Gomez vd. (2015) hizmet seviyesini dikkate almıştır.

Tablo 6: Sürdürülebilirliğin İktisadi, Çevresel ve Sosyal Göstergelerini Dikkate Alan Çalışmalar

Yazar /Yıl	Kapsam	Amaç	İkt			Çev			Sosyal			MT	SY	VT			İndikatörler											Sonuçlar			
			C	P		E	G	W	T	R	O			r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k		l		
(Taniguchi ve van der Heijden, 2000)	İşbirlikçi ARPZP	Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√			√			√			SKM-KTP			√		√		√						~				√	√	Lojistik firmalarının işbirliği yapmasının CO <sub>2</sub> emisyonu %51.2, seyahat süresini %7.1 ve toplam maliyeti %26.5 azaltacağı tespit edilmiştir.
(Chang ve Wei, 2002)	AT	Model Karşılaştırma	√					√	√			KTP	MYA			√	√	√	√					√						Sezgisel yöntem optimizasyon tekniğine göre daha kısa çözüm süresinde %14.6 daha iyi sonuç vermiştir.	
(Taniguchi vd., 2002)	Stokastik-ARPZP	Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√					√	√			SKM-KTP			√	√	√	√							~			√	√	Stokastik model toplam maliyette %13.9, CO <sub>2</sub> emisyonunda %2 iyileştirme sağlarken, seyahat süresini %1.2 ve kullanılan araç sayısını %5.5 artırmıştır.	
(Taniguchi ve Yamada, 2003)	İşbirlikçi Stokastik-ARPZP	Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√					√	√			SKM			√	√	√											√		İşbirlikçi lojistik sistemi %11-17 arasında daha az lojistik maliyeti ve %6 daha az CO <sub>2</sub> emisyonuna sebep olmaktadır.	
(Ando ve Taniguchi, 2006)	P-ARPZP	Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√					√	√				GA		√	√	√	√										√		Önerilen model lojistik maliyetinde %4, CO <sub>2</sub> emisyonunda %6.8, NO <sub>x</sub> emisyonunda ve partikül emisyonunda %8 iyileştirme sağlamıştır.	
(Figliozzi, 2011)	ZBARP	Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√					√	√			KTP	√		√		√	√							~	√		√		Trafiğin sıkışık olduğu zaman diliminde, trafiğin sıkışık olmadığı zaman dilimine göre, %21 CO <sub>2</sub> emisyonu ve %11 seyahat süresi artışı olduğu tespit edilmiştir.	
(Santos vd., 2011)	AT	Min: Araç Sayısı- Mesafe	√					√	√			GH	KK		√		√											√		6-7-8-9 saatlik mesai dilimleri için karşılaştırma yapılmış, 6 saatlik mesai olursa toplam maliyette değişme olmazken kat edilen mesafe %22 artmaktadır.	
(Jabali vd., 2012)	ZBARP	Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√					√	√				EKA-TA		√	√	√									-	√	√		Farklı hız limiti senaryoları karşılaştırılmış, 90km/s hız limitinin uygulanması CO <sub>2</sub> emisyonunu %11.4 azaltırken, seyahat süresini %17.1 artırmaktadır. Ayrıca, maksimum hız limitinin olması genel olarak CO <sub>2</sub> emisyonunu azaltıp seyahat süresini artırmaktadır.	
(Franceschetti vd., 2013)	TD-KRP	Min: Maliyet-CO <sub>2</sub>	√					√	√			KTP	√		√	√	√	√							~		√		10-15-20 nokta, farklı sayılarda araçlar, farklı sürücü ücret politikaları, standart çalışma saati ve hizmete başlama saati için sürüş süresi ve CO <sub>2</sub> emisyonu karşılaştırılmış, önerilen ücret politikasının seyahat süresi ile CO <sub>2</sub> emisyonunu azalttığı tespit edilmiş.		



Yazar /Yıl	Kapsam	Amaç	İkt		Çev		Sosyal			MT	SY	VT			İndikatörler											Sonuçlar								
			C	P	E	G	W	T	R			O	r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j		k	l						
(Chebbi ve Chaouachi, 2016b)	Paylaşımlı Lojistik	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√		√			√			GA-KTTP	√			√		√		√															Önerilen model ile toplam seyahat süresinde %5 ve toplam araç sayısı kullanımında ortalama %15 kadar azalma olmuştur.
(Ehmke vd., 2016)	ZBARP	Min: Mesafe-Zaman- CO <sub>2</sub>	√		√			√			TA		√	√		√	√		~														Zaman dilimleri, homojen-heterojen araç tipleri ve yüklü-boş sürüş türlerine göre yapılan karşılaştırmada, geliştirilen model %10.25'e kadar daha iyi sonuçlar vermiştir.	
(Naderipour ve Alinaghian, 2016)	Açık ZBARP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√		√			√			PSO		√	√		√	√		~	√													Kurgulanan senaryolara göre, geliştirilen model, klasik modellere göre %16 GHG salınımını azaltırken, seyahat süresini artırdığı tespit edilmiştir.	
(Pamucar vd., 2016)	Lojistik Merkezi	Min: Maliyet-Zaman-Risk	√		√			√		GIS	Dijkstra	√		√																			Geliştirilen model ile ses emisyonunu, GHG emisyonunu ve partikül emisyonunun dikkate alınması daha az zararlı gaz ile gürültü salınmasını ve insan sağlığı için daha az riskli rotalar oluşturmasını sağlamaktadır.	
(Son ve Louati, 2016)	AT	Min: CO <sub>2</sub> Maks: Toplanan Atık	√					√	√		KTP	√		√	√																		Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak, ekonomik, çevresel, teknolojik ve sosyo-politik yönlerden önem dereceleri belirlenmiş, mevcut uygulanan rotalar ile optimize edilen rotalar değerlendirilerek optimize edilen rotaların amaca daha uygun olduğu iddia edilmiştir.	
(Montoya-Torres vd., 2016a)	İşbirlikçi Şehir içi VRP	Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√		√			√			KTP	√		√	√																		Üç farklı işletmenin işbirliği yaptığı senaryoda kat edilen mesafe %25.6, seyahat süresinde %25.5 ve CO <sub>2</sub> emisyon değerinde %25.6 azalma elde edildiği tespit edilmiştir.	
(You vd., 2016)	ARPZP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Maks: Kâr	√	√	√			√			KTP	Dijkstra	√		√	√																	Geliştirilen model ile sürüş süresinde, elde edilen kârda, emisyon miktarında ve maliyetlerde önemli iyileştirmeler olabileceği gösterilmiştir.	
(Ben Mohamed vd., 2017)	KM-MDVRP	Min: Maliyet-Zaman	√		√			√			KTP	√		√	√																		Konsolidasyon merkezlerinin kurulması araçların doluluk oranlarını %43.6- 63.2 arasında artırmış, teslimat gecikmesi azalmış, her rota için gerçekleşen seyahat süresi azalmış ve elektrikli araç kullanılmayan senaryolarda taşıma maliyetlerinin yükseldiği tespit edilmiştir.	
(Carrabs vd., 2017)	E-Ticaret	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√		√			√			KTP	√		√	√																		Üç homojen ve beş heterojen araç için 10-80 noktalı problemlerin çözüm karşılaştırılmasına göre, önerilen model %0-26,3 arasında daha az emisyon maliyeti sağlamaktadır.	



Yazar /Yıl	Kapsam	Amaç	İkt			Çev			Sosyal			MT	SY	VT			İndikatörler											Sonuçlar	
			C	P		E	G	W	T	R	O			r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k		l
(Esmaili ve Sahraeian, 2017)	Bozulabilir 2A-ARP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√			√			√			KTP		√		√		√						-				√	Zaman, operasyon maliyeti ve müşteri bekleme süresi minimizasyonu amaç fonksiyonu ile hem zaman hem de maliyetlerin iyileştirildiği iddia edilmiştir.
(Franceschetti vd., 2017)	KRP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√			√			√				AGKA		√	√		√		√			~	√			√	Önerilen model 10-200 noktalı örneklerde ortalama %2.24 fark ile kabul edilebilir süre içinde çözüm üretmiştir.	
(Guo ve Liu, 2017)	ZBARP	Yeni Lojistik Sistemi	√			√			√			KTP	Küme Bölümleme		√	√		√		√			~				√	Havayolu taşımacılığı ile karayolu taşımacılığını entegre eden bir taşımacılık modeli önerilmiş, modelin uygulanabilir olduğunu ancak karşılaştırma verisi olmadığı için ekonomik etkisi gösterilememiştir.	
(Gupta vd., 2017)	Şehir içi VRP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√			√			√				Dijkstra-GA	√		√	√		√				$\bar{x}$	√			√	Üç farklı senaryo için yapılan karşılaştırmada, heterojen araç kullanımının %38.34 daha az karbon salınımı ve daha az toplam maliyeti olacağı tespit edilmiştir.	
(Huang vd., 2017)	ZBARP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√			√			√			KTP		√		√							~	√		√	Geliştirilen model, klasik modele göre yakıt tüketim değerlerinde %6.37, lojistik maliyetinde %4.32 ve seyahat süresinde %12.69 daha iyi sonuçlar vermiştir.		
(Jung vd., 2017)	Paylaşımlı Taksi	Min: Maliyet-Zaman Maks: Kâr	√	√		√			√			Sim		√	√		√		√									Aynı sayıda yolcu taşımak için paylaşımlı taksi sistemi ile %16 daha az mesafe kat edilebileceği gösterilmiştir.	
(Melo vd., 2017)	Toplu Taşıma	Yeni Rotalama Sistemi	√			√			√			Sim		√		√		√								√	İnternet tabanlı sistem ile gecikme zamanlarında %6-13 ve kat edilen mesafede %16-32 iyileştirme olduğu iddia edilmektedir.		
(Nguyen-Trong vd., 2017)	AT	Maliyet-Zaman Karşılaştırma	√			√			√			KTP-MAS	C&W	√		√		√					-					Geliştirilen model ile mesafenin %11.3'e ve toplam seyahat süresinin %38'e kadar iyileştirilebileceği iddia edilmektedir.	
(Ouhader ve El Kyal, 2017)	İşbirlikçi ARP	Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub> Karşılaştırma	√			√			√			KTP			√	√		√							√	√	İşbirliği yapılan ve yapılmayan senaryolar için 54 farklı kombinasyon elde edilmiş, bu kombinasyonlara göre iş birliği yapılmasının hem iktisadi hem çevresel hem de sosyal olarak fayda sağlayacağı iddia edilmiştir.		
(Soysal ve Cimen, 2017)	Dinamik ZBARP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√			√			√			Sim	√	√		√		√					~	√		√	Kurgulanan 60 senaryodan 46'sında geliştirilen model klasik modele göre daha iyi sonuçlar vermiş ve ortalama %2.3 maliyet iyileştirmesi yapabileceği belirtilmiştir.		

Yazar /Yıl	Kapsam	Amaç	İkt		Çev		Sosyal			MT	SY	VT			İndikatörler											Sonuçlar			
			C	P	E	G	W	T	R			O	r	t	v	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j		k	l	
(Wang vd., 2017)	2A-ARP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√		√		√			KTP	DKA			√	√		√							-	√			√	Geliştirilen model ile toplam kat edilen mesafeler artarken toplam maliyetlerin %6.58 - 4.69 arasında iyileştirildiği tespit edilmiştir.
(Ehmke vd., 2018a)	Şehir içi VRP	Amaç Fonksiyonu Karşılaştırma	√		√		√				LANTIME	√			√		√	√						~	√		√	Zaman minimizasyonu amaç fonksiyonunun daha yüksek yakıt sarfiyatına sebep olabileceğini, ancak maliyet minimizasyonu amaç fonksiyonunun hem zamanı, hem yakıt tüketimini hem de emisyonu azalttığı belirlenmiştir.	
(Fadda vd., 2018)	AT	Min: Maliyet-Zaman	√				√			KTP	ZLK			√	√		√											√	Önerilen model, 20 noktalı örnekte optimum sonucu vermiştir ancak daha büyük sayıdaki noktalarda %1.38-2.34 arasında fark vererek çözüm üretmiştir.
(Fei ve Zhang, 2018)	ZBARP	Min: Maliyet-CO <sub>2</sub>	√				√			KTP	GA	√			√		√	√								√	√	Fosil yakıt tüketimine bağlı emisyon, sosyal maliyet olarak ele alınmış ve geliştirilen modelin lojistik maliyeti ile sosyal maliyetleri iyileştireceği iddia edilmiştir.	
(He ve Yang, 2018)	İşbirlikçi Şehir içi ARP	Min: Maliyet-Zaman-CO <sub>2</sub>	√				√			KTP	KK	√			√												√	√	Geliştirilen model ile işbirliği yapılması durumunda toplam maliyette %9, CO <sub>2</sub> emisyonunda %57 ve zamanında teslimatta %57 iyileştirmeler olacağı hesaplanmıştır.
(Kong vd., 2018a)	JIT Delivery	Min: Kaynak-Araç Sayısı	√				√			KTP				√			√												Geleneksel üretim ve dağıtım stratejisine göre %10.7 daha iyi amaç fonksiyonu değeri elde edildiği iddia edilmiştir.
(Li vd., 2018)	2A-ARP	Min: Maliyet-Zaman	√		√		√			KTP	C&W-DKA	√		√		√													Gerçek zamanlı taşıma kapasitesinin dikkate alınması ile geliştirilen model %0.5-51 arasında boşluk ile çözüm üretmiştir.
(Mat vd., 2018)	AT ZBARP	Min: Mesafe-Araç Sayısı	√				√				√		√	√	√	√								~				Önerilen model ile %8 kat edilen mesafede, %19 toplam seyahat süresinde ve %2 kullanılan araç sayısında iyileştirme olmuştur.	
(Nowakowski vd., 2018)	TAT	Min: Maliyet-Zaman Maks: Kâr	√	√			√				TA-BT-KK			√	√		√												Kullanılan sezgisel yöntemler arasında en iyi sonucu SA, en kötü sonucu TS algoritmasının verdiği sonucuna ulaşılmıştır.
(Qi vd., 2018)	Paylaşımli Son kilometre Lojistik	Min: Araç Sayısı Maks: Esneklik	√				√				KK			√	√												√	Önerilen model ile işletmelerin daha az araç varlığına sahip olarak daha esnek bir şekilde operasyonlarını sürdürebilecekleri iddia edilmiş, fakat sera gazı salınımına pozitif etkisi olmayacağı tespit edilmiştir.	



İnsanlar için de risk oluşturan unsurlardan bulaşıcı tıbbi atık riski, Hachicha vd. (2014) tarafından ve tehlikeli madde taşımacılığında kaza riski Alexiou ve Katsavounis (2015) tarafından çalışılmıştır. Hava kirliliğine bağlı hastalıklar ve yasal otoriteler tarafından izin verilen ses düzeyleri Pamucar vd. (2016) tarafından dikkate alınmış; açılacak yeni tesislerde oluşacak ek istihdam ise, Ouhader ve El Kyal (2017) tarafından göz önünde bulundurulmuştur.

### **1.2.7.1 İktisadi, Çevresel ve Sosyal Odaklı Çalışmalarda Kullanılan Veri Tipleri**

Literatür taraması sonucuna göre, problemlerin çözümü için kullanılan veri tipleri gerçek, kurgusal ve gerçek zamanlı veri olarak incelenmiştir. İncelenen 52 çalışmanın 19 tanesinde gerçek veri, 23 tanesinde kurgusal veri ve 4 tanesinde gerçek zamanlı veri kullanıldığı tespit edilmiştir.

### **1.2.7.2 İktisadi, Çevresel ve Sosyal Odaklı Çalışmaların Model Türleri ve Çözüm Yöntemleri**

Araştırmacılar bu kısımda incelenen 52 çalışma için kesin, sezgisel ve meta sezgisel çözüm yöntemleri ile problemleri çözmüşlerdir. İncelenen çalışmalardan 24 tanesinde KTP, 7 çalışmada benzetim, 4 çalışmada GA, 2 çalışmada KK, 2 çalışmada minimum yayılan ağaç, 4 çalışmada tabu arama, 1 çalışmada CBS, 1 çalışmada çevrimiçi haritalar ve bazı diğer yöntemlerin kullanıldığı gözlemlenmiştir (bkz. Tablo 6).

### **1.2.8 Diğer Çalışmalar**

Önceki bölümlerde, sürdürülebilirliğin ÜBY boyutlarından en fazla birlikte çalışılan faktörler gruplandırılarak ayrı ayrı sunulmuştur. Görece daha az çalışılan yalnızca çevreyi dikkate alan çalışmalar (bkz. Tablo 7) ile yalnızca sosyal faktörleri dikkate alan çalışmalar (bkz. Tablo 8) az olmaları nedeni ile farklı tablolarda verilmiştir.

Yalnızca çevreyi dikkate alıp iktisadi ve sosyal boyutları dikkate almayan çalışmaların Tablo 7’de görüldüğü üzere 3 adettir. Bu çalışmalardan Quak ve de Koster (2007), Singleton (2014), Chrpa vd. (2016), De Marco vd. (2018) yalnızca emisyonu dikkate almışlardır.

Tablo 7’de görüldüğü üzere, Quak ve de Koster (2007), Chrpa vd. (2016), De Marco vd. (2018) çevreyi koruma amaçlı yürürlüğe giren yasal düzenlemelerin etkilerini analiz

etmek üzere araştırma yapmışken, Singleton (2014) ise, kişi başına salınımına sebep olunan karbon dioksit seviyelerini araştırmıştır.

Tablo 7: Çevresel Göstergeleri Dikkate Alan Çalışmalar

Yazar / Yıl	Kapsam	Amaç	Model Tipi	Göstergeler	Sonuçlar
(Singleton, 2014)	Okul Otobüsü Rotalama	Öğrencilerin CO <sub>2</sub> seviyesi karşılaştırma	CBS	Okul tipine göre ortalama CO <sub>2</sub> emisyon miktarları.	Bir CO <sub>2</sub> emisyon tahminleme aracı geliştirilmiştir.
(Chrpa vd., 2016)	Şehir içi Trafik Kontrol sistemi	Maks: Hava Kalitesi	Simülasyon	Trafik sıklığı seviyesi, araç tipi ve emisyon seviyesi.	Önerilen model ile şehirci hava kalitesi alt limiti aşılmamıştır.
(De Marco vd., 2018)	Şehir içi Lojistik	Yasal Zorunlulukların Belirlenmesi	Korelasyon	Nüfus yoğunluğu, yasal düzenlemeler, kişi başı milli hasıla ve araç tipi.	Otoriteler tarafından en sık alınan önlemler sırasıyla, düşük CO <sub>2</sub> emisyonlu araç zorunluluğu, konsolidasyon merkezlerinin kurulması ve düşük emisyonlu bölgelerin oluşturulmasıdır.
Tüm çalışmalarda Sera Gazı emisyonunu dikkate alınarak gerçek veri kullanılmıştır. CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi					

Literatür taraması neticesinde, yalnızca sosyal göstergeleri dikkate alarak yapılan çalışmaların en az çalışılan alt boyut olduğu tespit edilmiştir. Tablo 8’de görüldüğü üzere, yalnızca 4 çalışmaya ulaşılmıştır.

Tablo 8: Sosyal Göstergeleri Dikkate Alan Çalışmalar

Yazar / Yıl	Kapsam	Amaç	Model Tipi	SY	Göstergeler	Sonuçlar
(Ozdamar vd., 2004)	Acil Durum Lojistiği	Min: Karşılama Talep	KTP	Cimri Algoritma	Araç tipi, araç kapasitesi ve taşıma modu	Bir deprem durumu için senaryo oluşturulmuş ve tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır.
(Pourrahmani vd., 2015)	Tahliye Planlaması	Min: Zaman		Genetik Algoritma	Mesafe ile doğrusal seyahat süresi	Dört farklı belirsizlik seviyesi için karşılaştırma yapılmış, belirsizlik seviyesi arttıkça tahliye süresinin arttığı tespit edilmiştir.
(Naoum-Sawaya vd., 2015)	Paylaşımlı Araç	Min: Zaman	KTP	Problem Temelli Algoritma	Yolcuların seyahat yönü ve süresi	Önerilen sistem ile paylaşımlı araç sayısı arttıkça tasarruf edilen yolculuk süresi %50’ye kadar çıkmaktadır.
(Zaidi vd., 2016)	Trafik ışığı çözelgeleme	Min: Kuyruk Uzunluğu	TIKS		Kuyruk uzunluğu	Önerilen sistem ile trafik ışıklarındaki kuyruk uzunluğu ve bekleme süresinin azaldığı tespit edilmiştir.
Tüm çalışmalarda kurgusal veri kullanılmış. KTP: Karışık Tamsayı Programlama, TIKS: Trafik Işığı Kontrol Sistemi. SY: Sezgisel Yöntem						

Sosyal boyut kapsamına giren çalışmalardan Naoum-Sawaya vd. (2015) paylaşımlı yolculuk için seyahat süresini minimize eden bir model geliştirmiş; Pourrahmani vd. (2015) afet anında belirsizlik altında ulaşım süresini minimize eden bir model geliştirmiş ve Zaidi vd. (2016) de trafik akışına göre dinamik trafik ışığı sistemi geliştirerek ışıklarda beklemeyi ve kuyruk uzunluğunu minimize eden bir model geliştirmiştir.

Şehir içi SARP alanında Türkçe dilinde yayınlanan çalışma sayısı sınırlı kalmıştır. Bu çalışmalara ulaşmak için Google akademik veri tabanlarında, kentsel lojistik, kentsel araç rotalama problemi, sürdürülebilirlik ve yeşil kavramları kullanılarak tarama yapılmıştır. Ulaşılan çalışmalardan bazıları şöyledir, kent lojistiği literatür taraması makalesi bibliyometrik analiz yapılarak Savrun ve Mutlu (2019) tarafından dikkate alınmıştır. Şehir içi lojistik ile ilgili il bazında uygulamalar Erturgut vd. (2018), Akben ve Bahçeci (2018) ve Yeşilyurt (2019) gibi araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Tıbbi atıkların toplanması ile ilgili çalışma Güvez vd. (2012) tarafından ele alınmıştır. Bir dondurma dağıtım işletmecisinin günlük dağıtım rotası için çözüm üretilen çalışma ise Tekin vd. (2011) tarafından ele alınmıştır. Fakat, daha önce yapılan çalışmalarda, şehir içi SARP alanında yayınlanan çalışmaların sonuçlarına odaklanan bir çalışma yapılmamıştır. Bu boşluğu kapatmak için bu çalışma kapsamında, SARP alanındaki yayınlanan çalışmaların sonuçlarına odaklanılmış ve bu sonuçlardan çıkarımlarda bulunulmuştur.

### 1.3 BULGULAR

Literatür taraması sonucunda ulaşılan 148 çalışma, Elkington'un (2001) ÜBY'de belirttiği iktisadi, çevresel ve sosyal boyutlara göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma için literatürde bulunan en son çalışmalar olması nedeni ile Bloemhof ve Soysal'ın (2017) belirttiği göstergeler ile Popovic vd.'nin (2018) belirttiği nicel göstergeler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

ARP, kullanılan model tipleri, çözüm yöntemleri, amaç fonksiyonları, veri tipleri, problemin çözümünde kullanılan teknoloji düzeyleri, sistemin dinamik veya statik olması, durumun deterministik veya stokastik olması gibi uzantıları olması nedeni ile çok geniş bir alana sahiptir. Fakat incelenen ARP çalışmalarının “yeşil ve/veya sürdürülebilirlik” çerçevesi içinde değerlendirilmesi sonucunda bir kavram karmaşası olduğu gözlemlenmiştir. 1.2.2 numaralı bölümde açıklaması yapılan Web of Science sorgusunun ikinci parantez içinde yalnızca sürdürülebilir ile sürdürülebilirlik (sustainable veya sustainability) kavramları olacak şekilde yeni bir tarama yapıldığında ilk taramada elde edilen 167 çalışmanın yalnızca 38 tanesi sorgu sonucunda karşımıza çıkmaktadır. Bu 38 çalışmanın ise yalnızca 8 tanesi, sürdürülebilir olduğunu iddia etmesine rağmen Tablo 6'te, her üç boyutu da dikkate alan çalışmalar tablosunda

bulunmaktadır. Bu çalışmalar sırasıyla Bogh vd. (2014), Fatnassi vd. (2015), You vd. (2016), Ben Mohamed vd. (2017), Ouhader ve El Kyal (2017), Kong vd. (2018b), Qi vd. (2018) tarafından ÜBY'nin tüm boyutlarını ele alan çalışmalardır. Buna rağmen, çalışmasının sürdürülebilir taşımacılık sistemi olduğunu öne süren Gomes vd. (2015) ise, kavram karmaşasına örnek olarak, çevre boyutunu ihmal eden bir model geliştirmiştir.

Ontolojik olarak “sürdürülebilirlik” kavramı ile “yeşil” kavramı birbirinden farklı anlamlara gelse de, epistemolojik olarak birbirleri yerine kullanıldığı tespit edilmiştir. Sbihi ve Eglese (2007) yeşil lojistiği, çevresel maliyetlerin azaltılması, kullanılan enerjinin azaltılması, geri dönüşümün sağlanması ve atıkların toplanması olarak tanımlamıştır. Bu tanımlamaya ek olarak, Lin vd. (2014a) ise yeşil ARP'yi çevresel ve iktisadi maliyetleri birlikte ele alarak uygun rotaların bulunması olarak tanımlamaktadır. Yeşil ARP olduğunu çalışma başlığında vurgulayan Jovanovic vd. (2014), Jabbarpour vd. (2015), Xiao ve Konak (2015), Pamucar vd. (2016), Soysal ve Cimen (2017), Soysal vd. (2018) gibi çalışmalarda, Tablo 6'da görüleceği üzere, ÜBY'nin tüm boyutları dikkate alınmıştır.

Yeşil lojistik tanımlamaları ve sürdürülebilir lojistik tanımlamaları karşılaştırıldığında, yeşil ARP konseptinin enerji gereksinimi, hava kirliliği, atıkların toplaması gibi çoğunlukla bugünün fiziksel problemleri ile ilgilendiği dikkat çekmektedir. Ancak, sürdürülebilirlik kavramında yalnızca bugünün değil, gelecek nesillerin oluşabilecek problemleri ile de ilgilenildiği görülmektedir. Bu bağlamda, operasyonel düzeyde ve daha mikro bir bakış açısı kararlar alınması neden ile şehir içi sürdürülebilir araç rotalama yapılabilmenin kısa vadede olamayacağı söylenebilir. Sürdürülebilir araç rotalama kavramından bahsedebilmek için, problemin daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle, sürdürülen faaliyetin yarattığı tüm değer zinciri içindeki araç kullanımının sağladığı faydaya bakılarak karar verilmesi daha uygun olacaktır. Örneğin, literatür taraması neticesinde 148 çalışmanın içinde turist rotalama probleminden, acil durum rotalama problemlerine kadar geniş bir yelpaze bulunmaktadır. Turist rotalama probleminde yaratılan değer ile acil durum rotalama sürecindeki değer yaratma durumları karşılaştırıldığında acil durum rotalamanın sağladığı değerlerin açık ara fazla olduğu söylenebilir.

### **1.3.1 Sürdürülebilirliğin İktisadi Boyutuna Dair Bulgular**

İktisadi kaygılar, kâr amacı güden işletmelerde öncelikli olmakla birlikte tüm işletmelerin önemli bir sorunsalıdır. İncelenen 148 çalışma içinden 137 çalışmada maliyet unsurları dikkate alınmış; 5 çalışmada hem maliyet, hem kâr dikkate alınmış ve 3 çalışmada ise yalnızca kâr dikkate alınmıştır. Toplamda iktisadi kaygı güdülen çalışma 143 adettir ve ulaşılan çalışmaların %96,6'sının maliyeti veya kârı dikkate aldığı görülmektedir. İncelenen çalışmalarda maliyeti oluşturan unsurlara bakılınca en fazla karşılaşılan maliyet kaynağının, kat edilen mesafe olduğu gözlemlenmektedir. Çoğu çalışmada maliyet oluşumu, kat edilen mesafe ile doğrusal olduğu varsayımı ile hesaplanmıştır. Bu durum, Franceschetti vd. (2013)'nin yakıt tüketiminde maliyet unsurları olan hız, araç yüklülük oranı, yol eğimi, sürücü ücreti, araç motor tipi, araç tipi gibi değişkenlerin ihmal edildiğini göstermektedir. Bir başka deyişle, eksik değişkenler ve yüzeysel veri ile ARP'lerin çözüldüğü sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

### **1.3.2 Sürdürülebilirliğin Çevresel Boyutuna Dair Bulgular**

Çevre bilinci, daha sürdürülebilir bir sosyo-ekonomik gelişmenin olması için bu çevresel koşulları nasıl en iyi şekilde kullanabileceğimizi gösteren rotadır (Jamison, 2001). Dolayısıyla, çevre bilincinin oluşmasına paralel olarak çevrenin korunarak, gelecek kuşaklara da en az içinde bulunduğumuz dönem kadar temiz bir gezegen bırakabilmek adına bazı çevrecilik bilinci tipleri meydana çıkmıştır. Bunlar, toplumsal çevrecilik, kişisel çevrecilik, profesyonel çevrecilik ve militan çevrecilik olarak belirlenmiştir (Jamison, 2003). Yalnızca çevresel faktörler dikkate alınarak geliştirilen modellerin, Jamison (2003) tarafından öne sürülen çevrecilik yaklaşımlarından hiçbir kategoriye, tam olarak girmediği tespit edilmiştir. Bu yaklaşımlardan toplumsal çevrecilik (community environmentalism), belirli çevresel yıkım olayları için, alternatifler öneren, belirli bir merkezi olmayan grupları tanımlamaktadır. Profesyonel çevrecilik (professional environmentalism), çevrenin korunması için ücret karşılığı çalışanları tanımlamaktadır. Örneğin, Greenpeace ve birleşmiş milletler çevre programı çalışanları gibi çalışanlardır. Militan çevrecilik (militant environmentalism), genellikle ideolojik nedenlerden dolayı ana akım gruplardan ayrılıp, çevre için provokatif eylemler yapan grupları tanımlamaktadır. Örneğin, deniz çobanları, önce doğa ve hayvanlara özgürlük gibi gruplardır. Son olarak, kişisel çevrecilik (personal environmentalism), herhangi bir organizasyondan bağımsız olarak doğayı gözeterek hayat süren kişileri



tanımlamaktadır. AÇA'nın (2018) yayımladığı rapora göre, Avrupa'da salınan zararlı gazların %21,4'ünün taşımacılık sektöründen kaynaklanması ve otoritelerin sera gazı salınımı azaltma tedbirleri nedeni ile ARP literatüründe emisyonu dikkate alan çalışmaların sayısında son yıllarda önemli bir artış gözlenmektedir.

Bu çalışmada çevre; hava kirliliği, elektrikli araçlar ve atık toplama alt başlıklarına göre sınıflandırılmıştır. Literatür taramasında, hava kirliliğini dikkate alan ilk çalışma Taniguchi ve van der Heijden (2000)'nin çalışmasında karşımıza çıkmaktadır. Tüm çalışmalar arasında hava kirliliğini dikkate alan 53 çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların önemli bir kısmında, CO<sub>2</sub> emisyon miktarının yakıt tüketim miktarı ile doğrusal olduğu varsayılmıştır. Diğer yandan, hidrokarbon temelli olan fosil yakıtların yanma reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan karbon monoksit (CO), hidrokarbon (CH), Azot oksitler (NO<sub>x</sub>), sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) ve diğer partiküller çok az çalışmada dikkate alınmıştır.

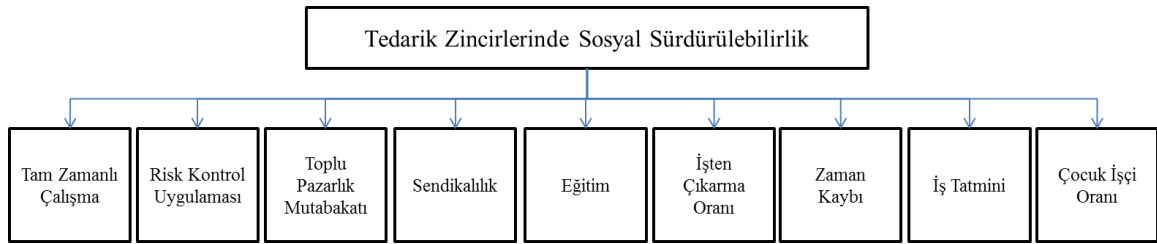
Atıklar, evsel katı atıklar, ticari atıklar ve tıbbi atıklar olarak sınıflandırılmıştır. Atık toplama probleminin çözümüne odaklanan çalışma sayısı 23 adettir. En fazla karşılaşılan problem tipi, evsel katı atıkların toplanması ile ilgilidir. Evsel katı atık toplama problemlerinin ele alındığı çalışmalarda genellikle çözüm yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklanılmış; ancak problem tiplerinin geliştirilmesi ile ilgilenilmediği tespit edilmiştir. Hiçbir çalışmada elektrikli araç kullanarak atık toplama probleminin çözülmediği ve atık toplama işinin bir maliyet kaynağı olarak algılandığı gözlemlenmektedir. Nitekim bulunan 23 çalışmanın tamamı maliyeti dikkate almış; üç çalışmada ise kâr optimizasyonu yapılmıştır. Diğer yandan, sürdürülebilirliğe ve çevreye en fazla katkı sağlayan geri dönüşüm atık toplama ile ilgili geliştirilen modeller, Teixeira vd. (2004), Bogh vd. (2014), Nowakowski vd. (2018), Wang vd. (2018a) tarafından geliştirilen modellerdir.

Elektrikli araç kullanımı, enerji dönüşüm sürecinde CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> gibi bilinen gazların salınımının olmaması nedeni ile çevreci veya yeşil olarak kabul edilmektedir (Lin vd., 2014b). Elektrikli araçlar ile ilgili toplam 14 çalışmaya ulaşılmıştır. Bu konudaki ilk çalışma, Davis ve Figliozzi (2013) tarafından yayınlanmış olan geleneksel dizel araçlar ile modern elektrikli araçların ekonomik rekabet edebilirlikleri karşılaştırılması konusundadır. Daha sonraki zaman diliminde yayınlanan çalışmalar ise, şarj edilme

süreleri, şarj istasyonlarının lokasyonlarının belirlenmesi ve elektrikli otonom araçların kullanılması konularındadır. Diğer yandan, yakıt kullanım türüne göre hibrit yakıtlı (benzin – LPG, dizel – CNG, benzin – elektrik, dizel – elektrik, vb.) araçların kullanımı ile ilgili yalnızca Li (2014) tarafından şehir içinde kullanılan toplu taşıma araçlarının performans karşılaştırması yapıldığı tespit edilmiştir.

### 1.3.3 Sürdürülebilirliğin Sosyal Boyutuna Dair Bulgular

Tedarik zincirlerinde sosyal sürdürülebilirlik için Popovic vd. (2018) tarafından geliştirilen göstergeler Şekil 14’de gösterilmektedir. Popovic vd.’nin araştırmasında sosyal sürdürülebilirliği en fazla etkilediği tespit edilen göstergeler sırasıyla, tam zamanlı çalışma, risk kontrol uygulamaları, toplu pazarlık mutabakatı, sendikalaşma, eğitim, işten çıkarma oranı, zaman kaybı, iş tatmini, risk değerlendirme ve çocuk işçi oranları olmuştur.



Şekil 14: Tedarik Zincirlerinde Sosyal Sürdürülebilirlik Göstergeleri (Popovic vd., 2018)

Bu çalışmada sosyal boyut üç alt sınıfa ayrılmıştır. En çok dikkate alınan göstergeler olmaları nedeniyle bu sınıflandırmalar, zaman, risk ve diğerleri (ürün kalitesi, müşteri tatmini, ek istihdam, vb.) olarak sınıflandırılmıştır. İncelenen 148 çalışmadan 76 tanesi zamanı dikkate almış; 3 çalışmada da risk dikkate alınmıştır. Hachicha vd. (2014) bulaşıcı atık toplama problemini, Alexiou ve Katsavounis (2015) tehlikeli madde taşımacılığını, Pamucar vd. (2016) ise daha az tehlikeli rotaların oluşturulması konularında çalışmalar yapmışlardır. Ozdamar vd. (2004) karşılanamayan talep minimizasyonunu, Osvald ve Stirn (2008) bozulabilir taze gıda ürünlerinin tazeliğinin korunmasını, Gomez vd. (2015) atık toplama probleminde hizmet seviyesinin artırılmasını, Ouhader ve El Kyal (2017) yeni kurulacak tesislerde sağlanacak yeni iş olanaklarını ve Zhang vd. (2017) müşteri tatminsizliğini dikkate almışlardır.

İncelenen çalışmaların hiçbirisinde, işçi sağlığı ve güvenliği, sürücülerin iş tatmini, sürücülerin çalışma şekli (tam-yarı zamanlı), sürücülerin gelir durumu, risk değerlendirmesi, sendikalılık durumu gibi göstergelerin dikkate alınmadığı tespit edilmiştir.

#### **1.3.4 Yeşil ve Sürdürülebilir ARP'nin Kârlılığa Etkisi**

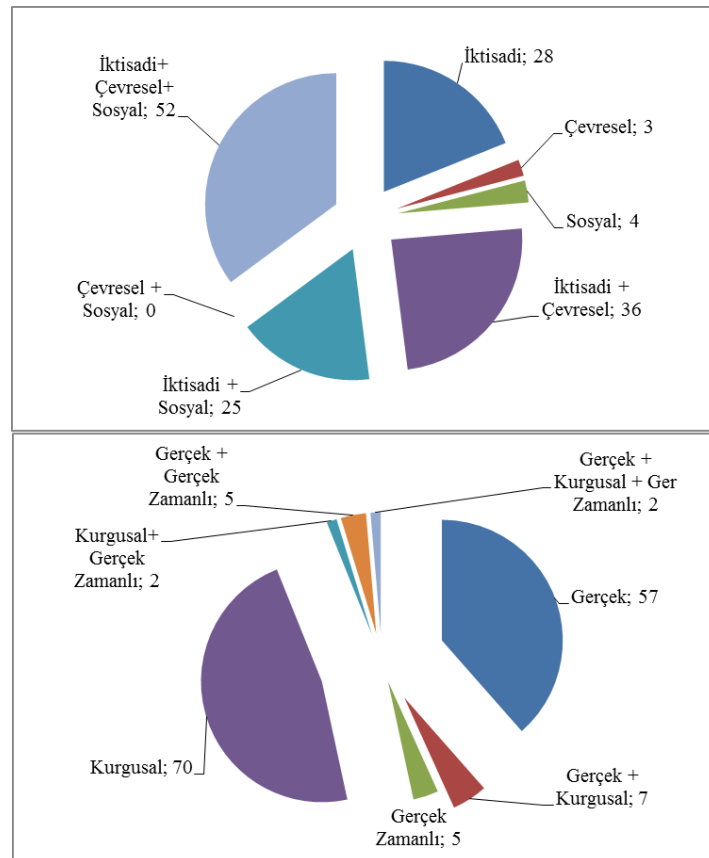
İncelenen çalışmalar içinden 16 tanesi “yeşil” olarak adlandırılabilir olan maliyeti ve emisyonu dikkate alarak model geliştirmişlerdir. Bu 16 çalışmada, emisyon azaltmanın yanı sıra %0,5-23 aralığında lojistik maliyetlerinde de iyileştirme olduğu ortaya koyulmaktadır (bkz. Saberi ve Verbas (2012), Alinaghian ve Naderipour (2016), Suzuki (2016), Behnke ve Kirschstein (2017), Cerulli vd. (2017), Cimen ve Soysal (2017), Wasiak vd. (2017), Kong vd. (2018a)). Diğer çalışmalarda ise, kat edilen mesafe artsa bile toplam maliyetin yükseldiğine dair bir bulguya rastlanmamıştır. Buradan yola çıkarak, emisyonu ve maliyeti birlikte dikkate alan “yeşil” modellerin geliştirilmesi yalnızca hava kalitesinin artırılmasına değil, aynı zamanda araç rotalama maliyetlerinin iyileştirilmesine de olumlu katkı sağlamaktadır.

Sürdürülebilirlik uygulamalarının da tıpkı “yeşil” uygulamalar gibi, işletmelere ek maliyet yaratıp yaratmayacağı konusu incelenmiştir. ÜBY sınıflandırmasına uyan 52 çalışmanın 25 tanesinde, CO<sub>2</sub> emisyonunun, zaman gereksiniminin, kullanılan araç sayısının azaltılmasının yanı sıra, toplam maliyetlerin de %2,3-38,34 arasında azaltılabileceği tespit edilmiştir. Lojistik maliyeti yönünden, sürdürülebilirlik göstergelerinin dikkate alınması, maliyet yaratıcı unsur olmak yerine, maliyet azaltıcı faktör olduğu tespit edilmiştir.

#### **1.3.5 Diğer Bulgular**

İncelenen çalışmalarda en fazla kullanılan çözüm yöntemleri sırasıyla, karışık tam sayılı programlama, genetik algoritma, tabu arama, Komşuluk Arama algoritmaları, benzetimli tavlama, karınca kolonisi, C&W ve Dijkstra algoritmalarıdır. Diğer yandan, yakıt tüketimi hesaplamalarında ise Hickman vd. (1999) tarafından geliştirilen yakıt tüketim fonksiyonunun en fazla kullanılan fonksiyon olduğu tespit edilmiştir. İncelenen çalışmalarda dikkate alınan sürdürülebilirlik boyutları ve kullanılan verilerin tipleri Şekil 15’te gösterilmiştir.

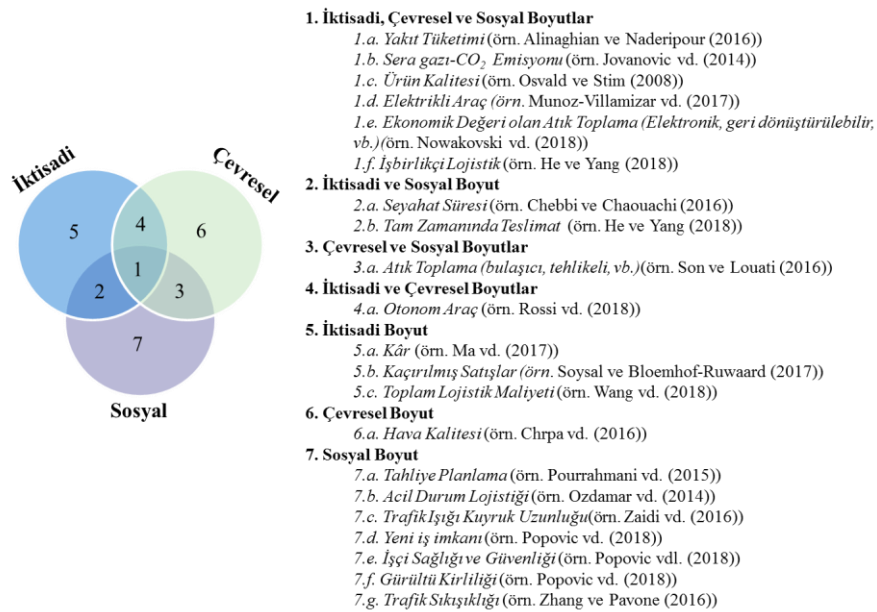
Son yıllarda gelişen teknolojiye bağlı olarak iletişim araçlarının görece daha ucuz ve kullanılabilir olması neticesinde işletmeler ile müşterilerin işbirliği yapma düzeyleri de artmıştır. Teknolojik geliş ve işbirliklerine örnek olarak paylaşımlı araç kullanımı, şehir içi merkezi konsolidasyon merkezlerinin kurulması, işbirlikçi taşımacılık ve otonom araçların kullanımı ile ilgili çalışmaların yayımlandığı tespit edilmiştir. ARP literatüründe en fazla kullanılan teknolojik araçların, radyo frekansı ile tanımlama, cep telefonu uygulamaları, internet tabanlı iletişim araçları ve akıllı sensorler olduğu tespit edilmiştir. Bu teknolojik teçhizatların kullanımı sayesinde geliştirilen konsolidasyon merkezleri, paylaşımlı araç kullanımı ve otonom araçlar; araç kullanım sayısında, yakıt tüketim miktarında ve lojistik maliyetlerinde oluşacak olan azalmalar nedeni ile iktisadi açıdan olumlu olduğu kadar çevresel ve sosyal açıdan da olumlu bulunmuştur. (bkz. Fatnassi vd. (2015), Chebbi ve Chaouachi (2016a), Xiao ve Konak (2017), Qi vd. (2018), Simoni vd. (2018)).



Şekil 15: Çalışmalarda Dikkate Alınan Sürdürülebilirlik Boyutları ve Veri Tipleri

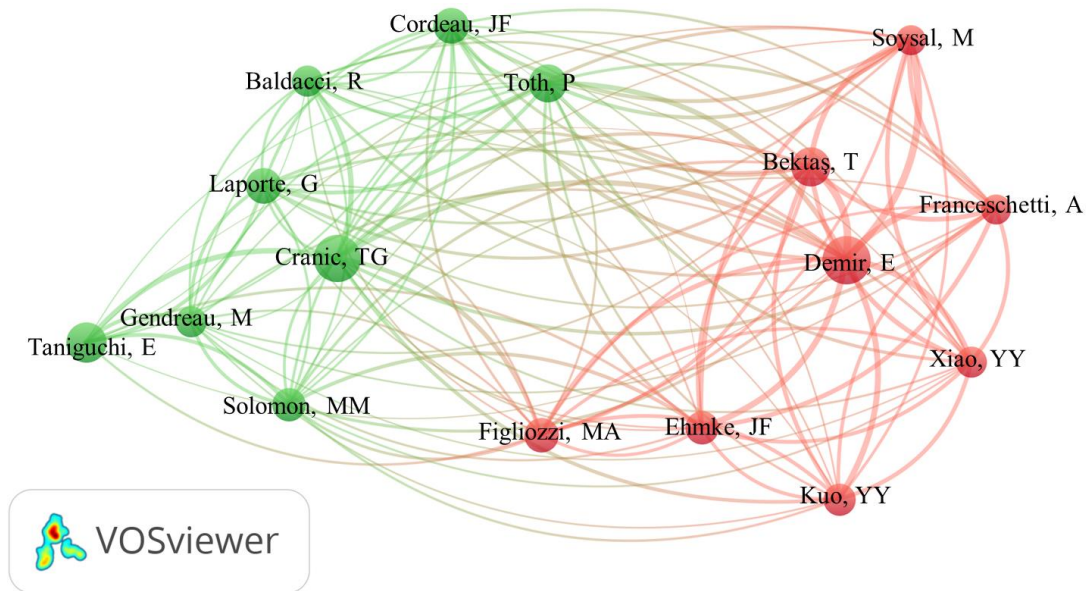
ARP’de bugünün en önemli çalışma konularından birisi olan fosil yakıtlı araçların emisyonu ve yakıt tüketimi, yeni geliştirilen elektrikli araçlar sayesinde gelecek yıllarda yerini, elektrikli araçların kullanımı ile ilgili problemlere bırakacaktır. Nitekim yeni nesil 660 kWh’lık batarya ile 2017 yılında bir otobüs, tek şarj ile 1700 km menzile ulaşmış ve bir rekor kırmıştır (Lamb, 2017). Batarya teknolojisine ve enerji tüketimine yapılan teknolojik yatırımların, hem şarj olma süresini kısaltacağı, hem de araçların menzillerini artıracığı öngörülmektedir. Dolayısıyla, şehir içi ARP için menzil kısıtı ve batarya değişimine ilişkin geliştirilen modellerin, geçerlilik süresi bakımından çok uzun süre geçerliliğini koruyamayacağı düşünülmektedir.

Şehir içi SARP alanında yapılan çalışmalarda kullanılan göstergeler, aynı anda birden fazla sürdürülebilirlik boyuna katkı sağlayabilmektedir. Örneğin, yakıt tüketimi Yao vd. (2015) tarafından yalnızca maliyet olarak dikkate alınmışken, Pamucar vd. (2016) tarafından hem iktisadi, hem çevresel hem de sosyal (sağlık riski) açıdan dikkate alınmıştır. Şehir içi SARP alanında kullanılan göstergelerin, sürdürülebilirliğin hangi boyutu altında değerlendirilebileceğini gösterebilmek için Şekil 16 tasarlanmıştır. Bu şekle göre, bazı göstergeler sürdürülebilirliğin her üç boyutu altında da değerlendirilebilmektedir. Örneğin, yakıt tüketimi, Alinaghian ve Naderipour (2016) tarafından iktisadi, çevresel ve sosyal boyutların altında değerlendirilmiştir.



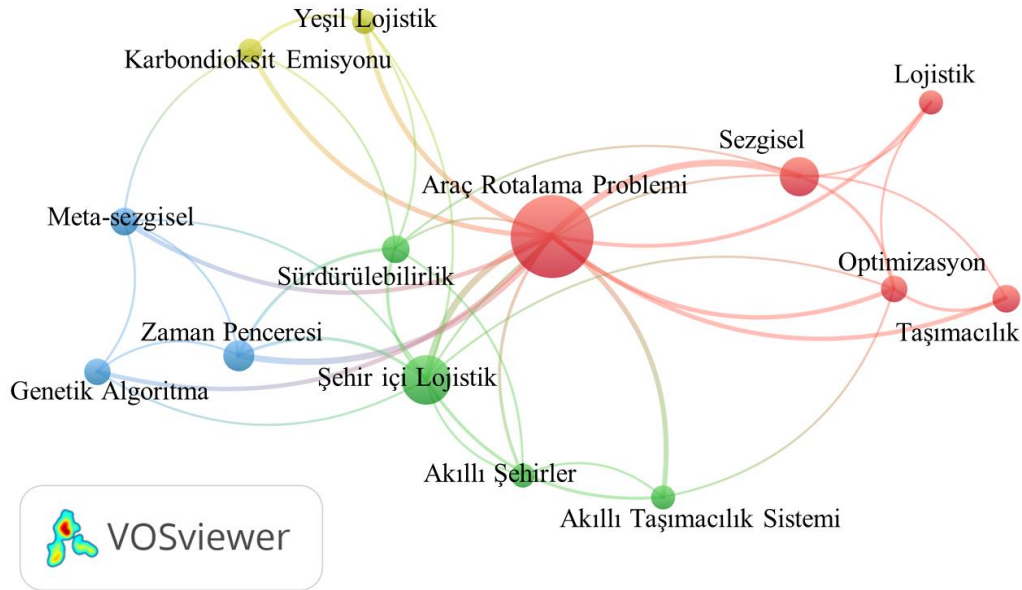
Şekil 16: Şehir içi Lojistikte Kullanılan Sürdürülebilirlik Boyutları

İncelenen 148 çalışmanın yazarları, şehir içi SARP alanındaki çalışmalarda en fazla kullanılan anahtar kelimeler ve anahtar kelimelerin birbirleri ile beraber kullanımlarını tespit etmek için bir bibliyometrik analiz yapılmıştır. Çalışmaların yazarlarının birlikte yayın yapma durumları ve çalışmalardaki anahtar kelimelerin birlikte kullanımlarını haritalandırarak görselleştirmek adına VOSviewer 1.6 paket programı kullanılmıştır (Van Eck ve Waltman, 2010). Minimum yirmi atıf sayısı bulunan yazarların birbirleri ile yaptıkları yayınların haritası Şekil 17’de sunulmaktadır. Buradan elde edilen sonuca göre, en fazla atıf alarak öne çıkan çalışmaların sırasıyla, Demir vd. (2014), Bektaş ve Laporte (2011), Crainic vd. (2009) ve Toth ve Tramontani (2008) olduğu tespit edilmiştir. Şekil 17’deki dairelerin büyüklükleri, atıf sayısı ile orantılı olup, yalnızca ilk yazarların isimleri ile gösterilebilmektedir.



Şekil 17: SARP Alanında Makaleler Arasındaki İlişki Haritası

İncelenen çalışmalarda kullanılan anahtar kelimelerin kullanım sıklığı ve aralarındaki ilişkiyi göstermek için yapılan bibliyometrik analiz Şekil 18’deki gibi haritalandırılmıştır. Minimum altı defa tekrarlanan anahtar kelimeler için yapılan haritalandırmada, kelimelerin altındaki çemberlerin büyüklüğü, anahtar kelimenin kullanım sıklığı ile orantılıdır. Sırasıyla en fazla kullanılan anahtar kelimeler, araç rotalama problemi, şehir içi lojistik, sezgisel, optimizasyon, karbondioksit emisyonu, yeşil lojistik ve sürdürülebilirlik gibidir.



Şekil 18: SARP Alanındaki Makalelerde Kullanılan Anahtar Kelimeler Arasındaki İlişki Haritası

#### 1.4 LİTERATÜR TARAMASI SONUCU

Bu çalışmada, 1992-2019 tarihleri arasında, şehir içi SARP alanında yayımlanan çalışmalar, Elkington'un (2001) ÜBY'de belirttiği iktisadi, çevresel ve sosyal boyutlara göre sınıflandırılmıştır. İncelenen çalışmalarda, sosyal boyutun “zaman” haricindeki göstergeler bakımından ihmal edildiği tespit edilmiştir. Örneğin, Popovic vd.'nin (2018) çalışmasındaki sosyal sürdürülebilirliği en fazla etkilediği belirlenen çalışma şekli, risk kontrolü uygulamaları, toplu iş mutabakatı, sendikacılık, eğitim, işten çıkarma oranları, iş tatmini ve çocuk işçi çalıştırma oranlarını dikkate alan çalışmaya rastlanamamıştır. Bulunan literatür taraması makalelerinin değerlendirilmesi sonucunda, kapsam itibariyle şehir içi SARP alanında bir literatür taraması çalışmasının olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu kısımda yapılan çalışma, SARP alanında yayımlanmış 148 araştırma makalesinin değerlendirilme yöntemi ve daha önce yayımlanan literatür taraması çalışmalarından farklı olması nedeni ile literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

Kullanılan araçların elektrikli olması, daha yüksek bir enerji verimliliği ile enerji-güç dönüşümü sağlasa da, elektrik enerjisi büyük oranda yine fosil yakıtlardan elde edildiği için tamamen sürdürülebilir bir çözüm olduğu söylenemez. Ayrıca, hidrojen ile çalışan

araçlar günlük hayatta kullanılmaya başladı, ancak literatürde bu araçlar ile ilgili çalışmalara yeterince yer verilmediği gözlemlenmiştir.

İncelenen 148 çalışma arasından yakıt tüketimi ve sera gazı emisyonu gibi sürdürülebilirlik faktörlerini dikkate alan çalışmaların ek lojistik maliyetine neden olmadan hem yakıt tüketimini, hem de sera gazı salınımını azalttığı tespit edilmiştir. Yakıt tüketimini minimize edebilmek için, Demir vd. (2014)'in çalışmasında önerdiği üzere, gerçekçi yol eğimi dikkate alınarak, kapsamlı bir yakıt tüketimi hesaplamasının önemine vurgu yapılmaktadır. Demir vd. (2014) ile aynı doğrultuda, bu bölümde incelenen çalışmalarda yakıt tüketimini gerçek eğim ile hesaplayan çalışmaya rastlanılmamıştır. Fosil yakıt tüketiminin azaltılması sürdürülebilirliğin, iktisadi, çevresel ve sosyal boyutlarına olumlu katkı sağlaması nedeni ile bu çalışmanın ikinci bölümünde kapsamlı bir yakıt tüketimi hesaplaması yaparak, kurgulanan senaryo üzerinden nümerik analizler yapılacaktır.

Dünya yüzey alanının %2'lik kısmını oluşturan şehir merkezlerinde, insan nüfusunun %55'inin yaşıyor olması, şehir merkezlerinde lojistik alanında yapılacak olan pozitif iyileştirmelerin görece daha etkin katkı sağlayacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, internet, sensor, çevrimiçi teknolojilerden yararlanan; iktisadi, çevresel ve sosyal boyutları olabildiğince dikkate alarak mevcut problemlerin çözümü için geliştirilecek olan karar destek sistemleri, şehir içi SARP alanındaki negatif dışsallıkların giderilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, çevrimiçi sistemlerin geçmişe göre daha ucuz ve ulaşılabilir olması nedeni ile akıllı şehirlerde sunulacak olan veri sağlayıcılar kullanılarak, gerçek zamanlı verilerin, yeni geliştirilecek karar destek sistemlerine dâhil edilmesi ile yatay ve dikey işbirlikleri yapılarak daha etkin sonuçlara ulaşılması mümkün olacaktır. Aynı zamanda, CBS kullanımının noktalar arası mesafe hesaplamaları için kullanıldığı görülmekle beraber, yol eğimini dikkate alarak yakıt tüketiminin hesaplanması için kullanılmadığı tespit edilmiştir.

Bu bölümde yapılan çalışmanın kısıtları, bildiriler, tezler ve Şubat 2019'dan sonra yayımlanan çalışmaların dikkate alınmamasıdır.



## 2. BÖLÜM

### COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ TABANLI YEŞİL DİNAMİK GEZGİN SATICI PROBLEMİ KARAR DESTEK SİSTEMİ

İlk bölümde yapılan literatür taramasına göre, lojistik sektöründe kullanılan fosil yakıtlı araçlardan kaynaklanan sera gazı salınımı, Şekil 16'da özetlendiği üzere sürdürülebilirliğin her üç boyutuna da etki etmektedir. Sera gazı salınımı da fosil yakıt tüketiminin bir fonksiyonu olarak hesaplandığı için yakıt tüketiminin azaltılması dolaylı olarak sera gazı salınımının azaltılmasını da sağlayacaktır. Aynı zamanda, teknolojinin bugünkü olanakları göz önünde bulundurularak, talep değişimlerini anlık olarak dikkate alarak rota optimizasyonu yapılması, istenilen kurumsal amaç(lar) doğrultusunda kararlar alınmasına olanak sağlayacaktır. Böylece, kapsamlı bir yakıt tüketimi hesaplama yöntemi ile yakıt tüketiminin minimize edilmesi, lojistik maliyetlerinin azaltılmasının yanı sıra, sera gazı salınımının azalmasına bağlı olarak çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri de azaltacaktır.

Çevresel etkilerin azaltılabilmesi için geliştirilen bazı ARP modellerinde, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılmaktadır. Lojistik alanında, tesis yeri belirleme, rota belirleme ve rota için araç tipi belirleme gibi konularda CBS sıklıkla kullanılmaktadır (Rodrigue vd., 2016). CBS temel olarak mekânsal veri sunarak, verilerin işlenmesi, saklanması ve istenilen formatta modelde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, dijital coğrafi veri ve anlık trafik hız bilgilerinden yararlanan yeşil-dinamik GSP (YDGSP) modeli geliştirilmiştir. Önceden planlanmış rotanın, trafik hızı değişimi, talep güncellenmesi (eklenmesi veya çıkartılması) ve araç arızalanması gibi nedenlerden dolayı güncellenmesi gerekebilmektedir. Bu değişimlerin, operasyonel amaçlar doğrultusunda dikkate alınmak istenmesi, çeşitli zorluklarla baş etmek anlamına gelmektedir. Örneğin, araç rotada devam ederken bir talep güncellemesi olduğunda, araç sürücüsünün yeni rotayı nasıl oluşturacağı ve yeni optimum rotanın oluşturulması aşamasında geçen işlem süresi önem arz etmektedir. Çok noktalı örneklerde, güncellenen talepleri dikkate alarak, amaca uygun optimum rotanın kabul edilebilir süre

içinde oluşturulabilmesi, ortalama alanında profesyonel kişiler tarafından bile KDS kullanılmadan oluşturulması mümkün olmayabilmektedir.

Son kullanıcı tarafından kolay bir şekilde talep güncellemelerini dikkate alarak optimum rotanın oluşturulabilmesini sağlayabilmek adına bir KDS geliştirilmiştir. Bu KDS’de, kullanılan noktalar arası mesafeler ve seyahat süreleri Google haritalar altlığından alınmıştır. Google haritalar altlığında, seyahat etmek istenilen iki nokta arasında, daha önce Google haritalar hizmetini kullanarak yol tarifi alan araçların hareketlerine ilişkin hız verileri bulunmaktadır. Bu sistemde, araçların kullandığı yol, istikamet ve aracın hızına ilişkin bilgiler saklanarak, iki nokta arasındaki seyahat süresi kullanıcılara sunulmaktadır. Çok sayıda noktanın birbirine olan uzaklık ve seyahat süresi gibi bilgilerin eş zamanlı olarak elde edilmesi için Google haritaların uygulama programlama arayüzü (APU) (Application Programming Interface) kullanılmaktadır. Daha sonra, CBS ile dijital yükselti modeli (DYM) (Digital Elevation Model) kullanılarak, rotalara ilişkin eğimler alınmış ve gerçekçi eğim verisinin, kat edilen mesafeye, sürüş süresine ve yakıt tüketimine etkisi diğer amaç fonksiyonları ile karşılaştırılmaktadır.

Geliştirilen modelin etkisini analiz etmek için, Ankara merkez ilçelerdeki 42 adet aile sağlığı merkezinden (ASM) dinamik laboratuvar örneği toplama senaryosu kurgulanmıştır. Örnek toplama probleminde, kapasite ile ilgili kısıtlama olmaması nedeni ile GSP seçilmiştir. ASM’lerde tahlil laboratuvarı olmadığı için gelen hastaların durumuna göre tahlilleri istenilmekte ve bu örneklerin gün içerisinde merkez laboratuvara ulaştırılması gerekmektedir. Araç yola çıkıp tekrar merkez laboratuvara dönünceye kadar geçen zaman diliminde, yeni tahlil talepleri gelebilmekte veya gelen talepler iptal edilebilmektedir. Planlama ufkunun başlangıcında taleplere ilişkin tüm bilgilerin edinilememesi ve zaman içinde bazı bilgilerin değişmesi nedeni ile kurgulanan senaryodaki problem dinamik yapıdadır (Ritzinger vd., 2016). Geliştirilen KDS, hem statik problemler için hem de talep ekleme ve çıkarma seviyesinde dinamik problemler için mesafe, seyahat süresi ve yakıt tüketimini minimize edebilmektedir.

Bu bölümün birinci kısmında, ilgili alanda bir literatür taraması sunulmaktadır. İkinci kısımda problem tanımı, üçüncü kısımda GSP matematiksel modeli, yakıt tüketim fonksiyonu ve çözüm yöntemi sunulmaktadır. Dördüncü kısımda nümerik analizler ve

geliştirilen grafiksel ara yüzün tanıtımı yapılmış, beşinci kısımda sonuçlarının tartışması ile bölüm sonucu sunulmuştur.

## **2.1 Yeşil Dinamik Gezgin Satıcı Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar**

Dantzig vd. (1954)'in temel GSP'yi geliştirdiği zamandan bu yana, farklı türde problemler türetilmiştir. Lojistik sektöründe araç kullanılarak yapılan fiziki dağıtımın yarattığı değer ve yakın gelecekte araç kullanılarak yapılan dağıtıma ikame edilebilecek başka bir yöntem öngörülmemesi nedeni ile bu konu üzerinde çalışmalar yapılmaya devam edecektir. GSP, belirli bir depodan çıkan tek bir aracın her müşteriye bir defa uğrayarak tüm talepleri karşılayan minimum maliyetli rotayı belirleme problemi olarak tanımlanabilir. Araç sayısı birden fazla olduğunda ve araçların kapasiteleri belirlendiğinde, GSP, Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak tanımlanmaktadır. ARP türleri ve çözüm yöntemleri, Eksioğlu vd. (2009), Laporte (2009), Braekers vd. (2016) tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmalara göre, artan sürdürülebilirlik kaygıları nedeni ile son yıllarda Yeşil ARP (YARP) diğer çeşitlere göre daha fazla çalışılan bir konu olmuştur.

### **2.1.1 Yeşil Araç Rotalama Problemi**

Yeşil lojistik faaliyetleri, mevcut üretim ve dağıtım yöntemlerinin uzun dönemde sürdürülebilir olmamalarının fark edilmesi ile önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir (Soysal vd., 2019). Geleneksel ARP'lerde maliyete ve zamana odaklanılırken, YARP alanında yapılan çalışmalarda hem çevresel hem iktisadi boyutlara odaklanılmaktadır (bkz. Demir vd. (2014)). Hem çevresel, hem de iktisadi değeri olan enerji tüketimi, fiziki dağıtımda büyük bir öneme sahiptir. Örneğin, çevresel açıdan fosil yakıtlara dayalı enerji tüketiminin azaltılmasına bağlı olarak sera gazı emisyonu da azalacaktır (Erdogan ve Miller-Hooks, 2012, Xiao vd., 2012). YARP olarak nitelendirilen ARP çeşitleri, Kirlilik Rotalama Problemi (KRP), Atık Toplama Problemi (ATP), Tersine Lojistik ARP (TL-ARP) ve diğer yakıt tüketimini azaltan problem tipleri olarak tanımlanabilir (Lin vd., 2014a). Yakıt tüketimini ve dolaylı olarak da zararlı gaz salınımını azaltabilmek için, yakıt tüketimine etki eden coğrafi özellikleri de dikkate alan modellerden bazıları Tavares vd. (2009) ve Scora vd. (2015) tarafından geliştirilmiştir.

### 2.1.2 Araç Rotalama Probleminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı

ARP alanında çevresel etkileri en aza indirmek için CBS kullanılan çalışmalar, Tablo 9’de özetlenmiştir. Bu çalışmalardan bazılarında, eğim verisi, noktalar arasındaki ortalama değer olarak dikkate alınmış; bazı çalışmalarda ise eğim sıfır olarak kabul edilmiştir (bkz. Zsigraiova vd. (2013)). Tablo 9’de gösterilen çalışmalarda, noktalar arasındaki hız değeri ortalama olarak dikkate alınmış, Tavares vd. (2009) ise, tüm rota boyunca sabit değer olarak yakıt tüketimi hesaplaması yapmıştır. Amaç fonksiyonları açısından Tavares vd. (2009), Pamucar vd. (2016) yakıt ve sera gazı emisyonunu minimize ederken, Scora vd. (2015) mesafeyi, Zsigraiova vd. (2013) zaman ve mesafeyi ayrı ayrı minimize etmiştir. Tavares vd. (2009), yakıt tüketimi hesaplaması yaparken yol eğiminin yakıt tüketimine etkisini dikkate almak için bir düzeltme faktörü (oranı) kullanmıştır.

Tablo 9: ARP’de CBS Kullanılan Çalışmalar

Yazar (Yıl)	Eğim	Hız	Amaç Fonksiyonu
(Tavares vd., 2009)	Düzeltilme faktörü	Sabit (20km/s)	Yakıt tüketimi minimizasyonu
(Zsigraiova vd., 2013)	-	Ortalama - Değişken	Zaman ve Mesafe minimizasyonu
(Scora vd., 2015)	Ortalama	Ortalama - Değişken	Yakıt tüketimi minimizasyonu
(Pamucar vd., 2016)	Ortalama	Ortalama - Değişken	Sera gazı minimizasyonu

### 2.1.3 Araç Rotalama Probleminde Yakıt Tüketimi

İncelenen problem tipi ile ilgili daha önce yayınlanmış çalışmalara ulaşabilmek için Web of Science temel veri tabanları içinden ilgili anahtar kelimeler kullanılarak tarama yapılmıştır. Taramada kullanılan anahtar kelimeler şunlardır: TS=(("vehicle routing" or VRP or "travelling salesman" or TSP) and ("fuel consumption" or "fuel consume" or "fuel save") and (urban or city or "city logistics") and (logistics) not (VANET or hydro\*)) Zaman aralığı: Tüm yıllar. İndeksler: SCI-EXPANDED, SSCI, AHCI, CPCI-S, CPCI-SSH ve ESCI. Bu tarama sonucunda ulaşılan çalışmaların incelemesi Tablo 10’daki gibi sunulmuştur. Türkiye’de yapılan çalışmalara ulaşabilmek için, YÖK TEZ veri tabanlarında, “araç rotalama” veya “araç yönlendirme” veya “gezgin satıcı” ve “yakıt tüketimi” veya “yakıt” ve “coğrafi bilgi” veya “cbs” kelimeleri ile farklı kombinasyonlarda taramalar yapılmıştır. Çapraz (2016), mevcut yol üzerinde minimum yakıt tüketimini elde etmek için yol eğimine göre hızın belirlenmesini sağlayan bir çalışma yapmıştır. Pekel (2018), talep belirsizliği durumunda yer seçimi ve ARP konularını birleştirerek bu problemin çözümüne ilişkin bir sezgisel model geliştirmiştir.

Ulusoy (2019) yaptığı çalışmada, şehir içi lojistikte bölünmüş teslimat problem tipi için bir sezgisel algoritma geliştirmiştir.

Karayolu ile yapılan fiziksel dağıtımda yakıt tüketimini azaltmak için Hickman vd. (1999), Demir vd. (2012), Franceschetti vd. (2013) gibi araştırmacılar tarafından çeşitli yakıt tüketim fonksiyonları geliştirilmiştir. Bu fonksiyonlarda yakıt tüketimini etkileyen değişkenler, hız, yük ağırlığı, mesafe, araç tipi, yol eğimi ve araca özgün diğer özellikler olarak belirlenmiştir. Adı geçen değişkenlerden bir veya birkaç tanesinin rota üzerinde gösterdiği değişkenlik, yakıt tüketimini de doğrudan etkileyecektir. Bu etkiyi ortaya koymak adına, hız değişkeninin rotaya ve yakıt tüketimine etkisi Qian ve Eglese (2016), Cimen ve Soysal (2017) tarafından ele alınmıştır. Yüke bağlı yakıt tüketimi ve rotaya etkisi, Bektaş ve Laporte (2011), Kancharla ve Ramadurai (2018) tarafından ele alınmıştır. Yol eğimi ise, çalışmaların büyük çoğunluğunda sıfır olarak kabul edilmişken, Alinaghian ve Naderipour (2016), Psychas vd. (2017) gibi bazı çalışmalarda ise her ayır (arc) için ortalama eğimler alınmıştır. Rotada geçen süre içinde değişiklik gösteren hız ve sipariş adedi gibi değişkenlerin de yakıt tüketimini doğrudan etkilemesi nedeni ile zaman içinde meydana gelen değişikliği dikkate alan dinamik modeller geliştirilmiştir.

Tablo 10: GSP ve Yakıt Tüketimi Literatür Taraması

Yazar (Yıl)	Dikkate Alınan Faktörler			Çözüm Yöntemi
	Hız	Eğim	Yük	
Lang vd. (2014)	Zamana bağlı	0		KTP – KK
Kinobe vd. (2015)	Sabit (30km/s)	0		ArcGIS
Soysal vd. (2015)	Zamana bağlı	0	√	KTP
Feljan vd. (2017)	Gerçek	0		Cevap Seti Programlama
Huang vd. (2017)	Zamana bağlı	0	√	KTP
Pu ve Wang (2017)	Sabit (60km/s)	0	√	KTP
Ehmke vd. (2018b)	Zamana bağlı	0		Lantime
Fei ve Zhang (2018)	Yol segmentine bağlı	0		Genetik Algoritma
Soysal vd. (2018)	Yol segmentine bağlı	0		KTP
Ng vd. (2019)	Yol segmentine bağlı	0		KK
Tirkolae vd. (2019)	Zamana bağlı	0		KTP

KTP: Karışık Tamsayılı Programlama, KK: Karınca Kolonisi

#### 2.1.4 Dinamik Araç Rotalama Problemi

Dinamik ARP (DARP), gerçek zamanlı değişen taleplerin karşılanması için problem çözümünde kullanılan araçların rotasının güncellenmesi olarak tanımlanmıştır (Psaraftis, 1988). Dinamik GSP (DGSP) için Held ve Karp (1962) dinamik programlama ile GSP çözümü için model önerisinde bulunmuş; Bellman (1962) ise, 17

noktalı GSP için dinamik programlama ile çözüm üretmiştir. Yeni gelen bilgi ile araçların rotası değiştirilerek ekstra tasarrufa veya kâra sebep olacak ortalama rota hızı, trafik sıkışıklığı, yeni sipariş ekleme veya var olan siparişi çıkartma gibi değişkenler de kurgulanan sistemi dinamik hale getirmektedir. Senaryolara göre, dinamizm derecesi farklılık göstermektedir ve bu dinamizmin bir ölçümü, dinamik girdi sayısının toplam girdi sayısına oranı ile gösterilmektedir (Lund vd., 1996). Sisteme dinamizm kazandıran değişkenlerden olan noktalar arası hız, trafik sıkışıklığı, talep miktarı güncellemesi ve müşteri sayısı güncellemesi şehir içi lojistiğinde daha fazla karşılaşılmaktadır (Haghani ve Jung (2005), Pillac vd. (2013) ve Çimen vd. (2020)). Son yıllarda gelişen teknolojiye bağlı olarak, işletmeler veriye ve bilgiye daha hızlı veya gerçek zamanlı ulaşabilmektedir. Bu bilgi ve veriyi karar destek sistemlerine adapte eden işletmeler amaçları doğrultusunda kullanarak, iktisadi, çevresel veya sosyal olarak pozitif katkı sağlamaktadır. Ritzinger vd. (2016), dinamik sipariş ekleme veya çıkartma ile ilgili yaptıkları literatür taramasında, müşteri sayısı 32'den daha fazla ve 64'ten daha az ise dinamik modelin amaç fonksiyonlarında yaklaşık %10 daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu bakımdan, üretilen senaryolardaki 42 noktalı dinamik problem tipi, Ritzinger vd. (2016)'nin önerdiği büyüklük aralığındadır. Diğer yandan, müşteri sayısının az olması veya 100'den daha fazla olması durumlarında dinamik modelin, amaç fonksiyonunun aldığı değere katkısının giderek azaldığını tespit etmişlerdir.

Tablo 11: DARP Literatür Taraması

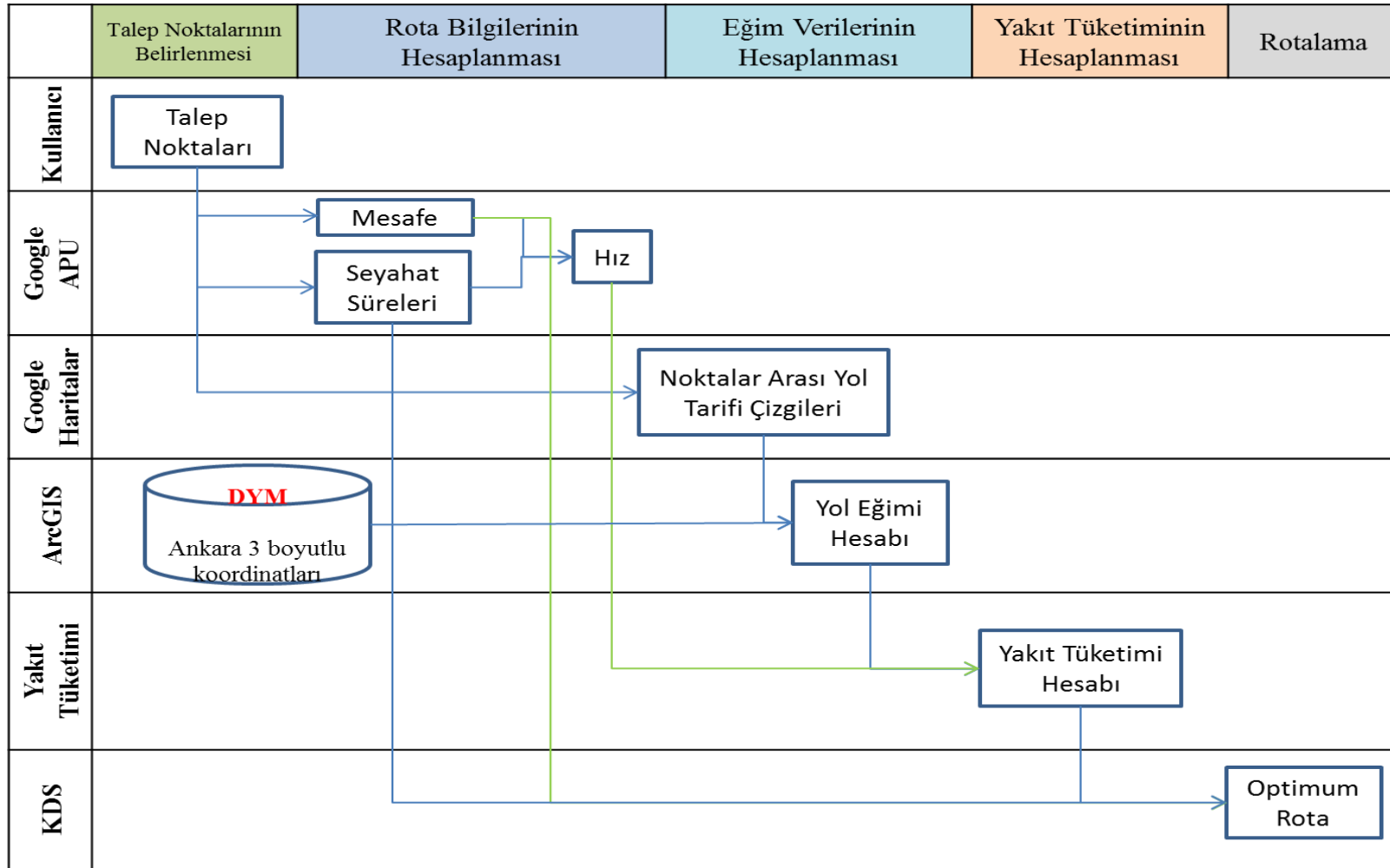
Yazar (Yıl)	Kapsam	Dinamik Unsurlar			Çözüm Yöntemi
		Müşteri	Sipariş	Süre*	
Miller-Hooks ve Mahmassani (2000)	İtfaiye-Polis-Posta			√	BDA - BAS
Bent ve Van Hentenryck (2004)	Şehir içi lojistik	√			Cimri Algoritma
Smith vd. (2010)	İnsansız Hava Aracı	√			Çok Ajanlı Sistem
Khouadjia vd. (2012)	Tamir-Kurye Hizmeti	√			PSO- DKA
Taş vd. (2014)	Şehir içi lojistik			√	Tabu Arama-Lokal
Toriello vd. (2014)	Şehir içi lojistik			√	YDP
Montero vd. (2016)	Şehir içi lojistik			√	Dal Kesme - KTP
Gutierrez vd. (2018)	Şehir içi lojistik		√		Memetik-Cimri Algoritma
Calvet vd. (2019)	Şehir içi lojistik		√		Simsezgisel
Goel vd. (2019)	Şehir içi lojistik		√	√	KK- Firefly Algoritması

\* Seyahat süresi ve/veya hizmet süresi

BDA: Beklenen Değer Algoritması, BAS: Beklenen Alt Sınır Algoritması, PSO: Parçacık Sürü Optimizasyonu, DKA: Değişken Komşuluk Arama, YDP: Yaklaşık Doğrusal Programlama, KTP: Karışık Tamsayılı Programlama, KK: Karınca Kolonisi

ARP alanında problemin dinamikliğini belirleyen faktörler, planlama periyodu içerisinde değişebilen talep miktarı, müşteri sayısı ve seyahat süreleridir (Ritzinger vd., 2016). Seyahat süresinin stokastik olarak değişimini dikkate alarak yapılan ilk çalışma Hall (1986) tarafından, ortalama ve değişken seyahat süreleri tahmin edilerek yapılmıştır. Daha sonra, stokastik seyahat süresi için çözüm üreten çalışmalardan bazıları Miller-Hooks ve Mahmassani (2000), Toriello vd. (2014), Taş vd. (2014) ve Montero vd. (2016) gibidir. Stokastik talep miktarlarını dikkate alarak DARP çözümü geliştirilen çalışmalarda iki aşamalı çözüm yöntemi kullanılabilir. Birinci aşamada eldeki araç filosu için başlangıç rotaları oluşturulur, herhangi bir araç tarafından herhangi bir müşterinin talebi karşılanamazsa ikinci aşama devreye girer ve tüm araçlar için tekrar rota oluşturulur. Tillman (1969) tarafından bu probleme ilk defa çözüm üretildikten sonra Gutierrez vd. (2018), Calvet vd. (2019) ve Goel vd. (2019), geliştirdikleri problemlerde Tillman'ın geliştirdiği yöntemi kullanmışlardır. Literatürde en fazla çalışılan problem tiplerinden birisi olan stokastik müşteri sayılı DARP, bazı müşterilerin talepleri planlama ufkunun başında bilinmemekte, gün içinde yeni müşterilerin taleplerinin de dikkate alındığı problem tipidir (Cattaruzza vd., 2017). Stokastik talepler için yapılan çalışmalardan bazıları Bent ve Van Hentenryck (2004), Smith vd. (2010) ve Ulmer vd. (2019) gibidir. Ayrıca, elektrikli araçların batarya bitme süresinin stokastik olması ile ilgili çalışma ise Soysal vd. (2020) tarafından ele alınmıştır.

Bu çalışmada, temel GSP ele alınarak, Franceschetti vd. (2013)'nin yakıt tüketim fonksiyonu, değişken hızlara ve yol eğimine duyarlı olması nedeni ile geliştirilen modele entegre edilmiştir. Yakıt tüketimini etkileyen değişkenlerden olan hız, Google haritaların çevrim içi sistemlerinden, yol eğimi bilgisi ise ArcGIS sisteminden oluşturulmuştur. Geliştirilen KDS'deki sistemin dinamikliği, sipariş ekleyip çıkarılabilmesi üzerine kurgulanmıştır. Tablo 11'de sunulan çalışmalarda yakıt tüketimini yol eğimini dikkate alarak hesaplayan, dinamik yapıda bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen talep güncellemesi temelli dinamik araç rotalama sistemi literatüre katkı sağlayacaktır. Son kullanıcı tarafından kolay kullanım sağlamak için taleplerin belirlenmesi ve görselleştirilmesi için bir ara yüz geliştirilmiştir. Bu ara yüz üzerinden statik veya dinamik modeller çözülebilmektedir. KDS'de kullanılan verilerin kaynakları ve sistemin yapısı, Şekil 19'daki gibi gösterilmektedir.



Şekil 19: KDS'nin Yapısı



## 2.2 Problem Tanımı

Bu çalışmada incelenen asimetrik GSP,  $G=\{Z,A\}$ , tam yönlendirilmiş graf<sup>4</sup> olarak tanımlanmaktadır. İncelenen problemde,  $Z=\{0,\dots,|Z|\}$  coğrafi olarak dağılmış olan noktalar kümesi ve  $A= \{(i,j): i, j \in Z, i \neq j\}$  noktaları birbirine bağlayan ayrıtlar kümesidir. Araç, merkezden çıktıktan sonra tüm talepleri karşılayarak tekrar merkeze dönmektedir. Her noktaya yalnızca bir defa uğranılmaktadır, talebi karşılanan noktalarda beklemeye izin verilmemektedir ve hizmet süreleri dikkate alınmamaktadır.

Bu varsayımlar altında ele alınan problemde, araç yola çıktıktan sonra talep güncellemeleri olabilmekte ve araç başladığı merkeze tekrar dönecek şekilde yakıt tüketimi minimize edilerek rotaların oluşturulması amaçlanmaktadır. İki nokta arasındaki  $i \neq j \in Z$  yakıt tüketimi  $YT_{ij}$  için Franceschetti vd. (2013)'nin, ayrıtlara ait gerçekçi eğimler ve ortalama hız verilerini dikkate alan, yakıt tüketimi hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Yakıt tüketimi hesaplamasında kullanılan ortalama hız, bu problemde noktalar arası mesafeye ve trafik sıkışıklığına göre değişmektedir. Dikkate alınan hız ve eğim değişkenleri ile yakıt tüketimi hesaplanarak, minimum yakıt tüketimini sağlayan rotaların oluşturulması amaçlanmaktadır.

### 2.2.1 Çalışmada Kullanılan Amaç Fonksiyonları

Bu çalışmada temel araştırma problemi, çevrimiçi veri sağlayıcılardan elde edilen hız verisi ile coğrafi bilgi sistemlerinden elde edilen rotalara ait eğim verisinin, kat edilen mesafeyi, seyahat süresini ve yakıt tüketimini nasıl etkilediğini belirlemektir. Kurgulanan senaryolara göre modele entegre edilen verilerin, mesafe, zaman ve yakıt tüketimi değerlerini nasıl etkilediğini incelemek için beş farklı amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonlarında kullanılan parametreler ve değişkenler Tablo 12'de sunulmaktadır.

Tablo 12: Amaç Fonksiyonları ve Dikkate Alınan Değişkenler

Amaç Fonksiyonu	Mesafe	Araç Hızı	Araç Yüğü	Araç Özellikleri	Eğim
AF1	√				
AF2	√	√			
AF3	√	√	√	√	$\Phi=0$
AF4	√	√	√	√	$\Phi=Ortalama$
AF5	√	√	√	√	$\Phi=Gerçek$

<sup>4</sup> Tam yönlendirilmiş graf (Complete directed graph)

**AF1**-Kat edilen toplam mesafenin minimize edilmesi.

**AF2**-Toplam seyahat süresinin minimize edilmesi.

**AF3**-Noktalar arası değişken ortalama hız verisi ve sıfır eğim ile toplam yakıt tüketiminin minimize edilmesi.

**AF4**-Noktalar arası ortalama eğim verisi ile toplam yakıt tüketiminin minimize edilmesi.

**AF5**-Noktalar arası gerçek yol eğimlerini yakıt tüketim fonksiyonunda kullanarak toplam yakıt tüketiminin minimize edilmesi.

### 2.3 Yeşil Dinamik Gezgin Satıcı Problemi ve Çözüm Yöntemi

Bu kısımda, talep ekleme ve çıkartma düzeyinde DGSP ve yol eğimini gerçekçi bir şekilde dikkate alarak yakıt tüketiminin hesaplaması için bir çözüm yöntemi anlatılacaktır.

#### 2.3.1 Gezgin Satıcı Problemi Matematiksel Modeli

Gezgin satıcı problemi ilk defa 18. yy'da İrlandalı matematikçi Sir William Rowan Hamilton ve İngiliz Matematikçi Thomas Penyngton Kirkman tarafından çalışılmıştır (Matai vd., 2010). Daha sonra, Dantzig vd. (1954) tarafından 49 varış noktası olan problemi doğrusal programlama ile çözerek bugünkü bilinen adı olan Gezgin Satıcı Problemi olarak literatüre girmiştir.

Çalışmanın sonraki kısımlarında gösterilen modele ilişkin notasyonlar Tablo 13'te sunulmuştur.

Tablo 13: Modelde Kullanılan Notasyonlar ve Açıklamaları

Sembol	Açıklama
<i>Kümeler ve Parametreler</i>	
$Z$	: Noktalar kümesi, ( $i \in Z, i=1, \dots,  Z $ ), $ Z $ toplam nokta sayısı, $\{0\}$ merkez laboratuvar
$A$	: Noktalar arası mesafeler kümesi $A= \{(i,j): i,j \in Z \text{ ve } i \neq j\}$
$d_{ij}$	: $i$ noktasından $j$ noktasına olan mesafe (metre), $i,j \in Z$
$t_{ij}$	: $i$ noktasından $j$ noktasına olan seyahat süresi (saniye), $i,j \in Z$

YT1<sup>5</sup><sub>ij</sub> :  $i$  noktasından  $j$  noktasına gitmek için harcanan yakıt (litre),  $i, j \in Z$

YT2<sup>6</sup><sub>ij</sub> :  $i$  noktasından  $j$  noktasına gitmek için harcanan yakıt (litre),  $i, j \in Z$

YT3<sup>7</sup><sub>ij</sub> :  $i$  noktasından  $j$  noktasına gitmek için harcanan yakıt (litre),  $i, j \in Z$

*Karar Değişkenleri*

$x_{ij}$  : İkili değişken. Eğer ayrıt  $(i,j)$  kullanılıyorsa 1, diğer durumda 0

$u_i$  :  $i$  noktasının rota üzerindeki ziyaret edilme sırası

Temel GSP'de Miller vd. (1960) tarafından geliştirilen matematiksel model kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında beş farklı amaç fonksiyonu kullanılmış olup (2-5) numaralı eşitlikte gösterilen kısıtlar sabit kalarak Tablo 12'de özetlenen tek amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibidir. Mesafe minimizasyonu için (1), seyahat süresi minimizasyonu için (6), eğim sıfır olarak kabul edilerek yakıt tüketimi minimizasyonu için (10), ortalama eğimler ile yakıt tüketimi minimizasyonu için (11) ve gerçek eğimler ile yakıt tüketimi minimizasyonu için (12) numaralı eşitlik ile gösterilen amaç fonksiyonları kullanılmaktadır.

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

**Kısıtlar**

$$\sum_{i \in Z} x_{ij} = 1 \quad j \in Z \quad (i \neq j) \quad (2)$$

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

$$u_i - u_j + (|Z| - 1) * x_{ij} \leq |Z| - 2, \quad i, j \in Z \quad (i \neq j) \quad (4)$$

$$1 \leq u_i \leq (|Z| - 1), \quad 2 \leq i \leq |Z| \quad i \in Z \quad (5)$$

$$x_{ij} = 0,1 \quad i, j \in Z \quad (i \neq j)$$

Eşitlik (1) temel GSP'de kat edilen mesafeyi minimize eden amaç fonksiyonudur. Eşitlik (2) ve (3) her noktaya gelen ve her noktadan çıkan araç sayısının bir olmasını sağlayan kısıtlardır. (4) ve (5) numaralı kısıtlar ise Miller vd. (1960) (MTZ) alt tur eleme kısıtlarıdır. Seyahat süresi minimizasyonu yapılmak istenildiğinde, (1) numaralı

<sup>5</sup> Noktalar arası eğim sıfır ( $\phi=0$ ) olarak hesaplanan yakıt tüketimi değerleri

<sup>6</sup> Noktalar arası ortalama eğim ( $\phi$ =Ortalama) ile hesaplanan yakıt tüketimi değerleri

<sup>7</sup> Noktalar arası gerçekçi eğim ( $\phi$ =Gerçek) ile hesaplanan yakıt tüketimi değerleri

eşitlikte gösterilen amaç fonksiyonu yerine (6) numaralı eşitlikteki amaç fonksiyonu kullanılarak istenilen amaca uygun optimum rota oluşturulacaktır.

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} t_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

### 2.3.2 Yakıt Tüketiminin Hesaplanması

Yakıt tüketimini en fazla etkileyen etkenler araca bağlı faktörler, motor hacmi, boş ağırlık, yakıt türü vb. iken rotaya bağlı faktörler, mesafe, hız, yük, yol eğimi gibi değişkenlerdir (Demir vd., 2013). Bu kısımda hıza, mesafeye ve yol eğimine duyarlı olduğu için Franceschetti vd. (2013)'nin yakıt tüketim fonksiyonu kullanılmıştır. Problemin uygulandığı coğrafyanın yükselti özelliklerine göre, yakıt tüketimine eğimin dahil edilip edilmemesi ve noktalar arası hızın dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu amaç fonksiyonunda yakıt tüketimi hesaplanırken, Feng vd. (2017) ve Li (2014) gibi araştırmacılar tarafından kullanılan sabit ortalama hız verisi kullanılacaktır. Yakıt tüketimi hesaplanırken aracın yükü, yol eğimi ve hızlanma ivmesi değerleri ihmal edilmiştir. Yakıt tüketimini minimize eden amaç fonksiyonu (10) numaralı eşitlikteki gibi gösterilmiş olup temel GSP'de kullanılmaktadır.

Yakıt tüketimine etki eden araca özgü özelliklerden motor hacmi H ve aracın boş ağırlığı  $\mu$ , Ankara'da şehir merkezinde, ağır vasıtalara ilişkin kısıtlamaların olması nedeni ile hafif ticari araca özgü değerler kullanılmıştır. Tablo 14'de gösterilen semboller, denklem (7), (8) ve (9)'da kullanılmıştır.

Tablo 14: Emisyon Parametreleri ve Araç Değerleri (Franceschetti vd.'den (2013) uyarlama)

Sembol	Değer	Açıklama
$\delta$	1	Yakıt – hava kütle oranı
K	44	Dizel yakıtın ısıtma değeri (kJ/g)
$\psi$	737	Dönüşüm faktörü (gramdan litreye) (g/l)
$\lambda$	0,000030838	$\delta / (K * \psi)$
k	0,2	Motor sürtünme faktörü (kJ/rev/l)
Ne	33	Motor hızı (rev/s)
H	2	Motor hacmi (l)
p	1,2041	Hava yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
A	3,912	Ön yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
$\mu$	1750	Boş ağırlık (kg)
f	0	Yük ağırlığı (kg)
g	9,81	Yer çekimi sabiti (m/s <sup>2</sup> )
$\phi$	-	Yol eğimi (derece) (bkz.Şekil 22)

Cd	0,7	Aerodinamik sürtünme katsayısı
Cr	0,01	Dönme direnci katsayısı
$\varepsilon$	0,4	Aktarma organı verimliliği
$\eta$	0,9	Dizel motor verim parametresi
$d_{ij}$	EK - 2	Noktalar arası mesafe (m)
V	EK - 7	Hız (m/sn)

$$\text{Yakıt Tüketimi (YT)}(l/sn) = \frac{\delta}{K\psi} \left( kN_e H + \frac{0.5CdAV^3 + (\mu+f)V(g\sin(\phi) + gCr\cos(\phi))}{1000\varepsilon\eta} \right) \quad (7)$$

Eşitlik (7), aracın sabit hız  $V$ (m/sn) ile bir saniyede tükettiği yakıtı ifade etmektedir. Eşitlik (7) Franceschetti vd. (2013)'nin geliştirdiği gibi ele alınmış, eşitlik (8)'deki gibi sadeleştirmek için  $\lambda = \delta / K\psi$ ;  $\gamma = 1/1000\varepsilon\eta$ ;  $q = g\sin(\phi) + gCr\cos(\phi)$  eşitlikleri kullanılmıştır.

$$YT = \lambda(kN_e H + \gamma(\beta V^3 + q(\mu + f)V)) \quad (8)$$

İki nokta arasındaki mesafeyi  $d_{ij}$  (m), sabit hız  $V_{ij}$ (m/sn) ve sabit yük  $f$  (kg) ile kat etmek için harcanan yakıtı  $YT_{ij}$  ( $i, j \in Z$ ) (l) hesaplamak için rotada geçen sürenin hesaplanması gerekmektedir. Seyahat süresi hesaplamasını yapmak için ise  $d_{ij}/V_{ij}$  eşitliği kullanılmaktadır. Bu eşitlik (9) numaralı gösterime entegre edilerek  $i$  noktasından  $j$  noktasına gitmek için harcanan yakıt miktarı (litre) bulunmaktadır.

$$YT_{ij} = \lambda(kN_e H \frac{d_{ij}}{V_{ij}} + \gamma(\beta d_{ij} (V_{ij})^2 + \gamma q(\mu + f)d_{ij})) \quad i, j \in Z \quad (9)$$

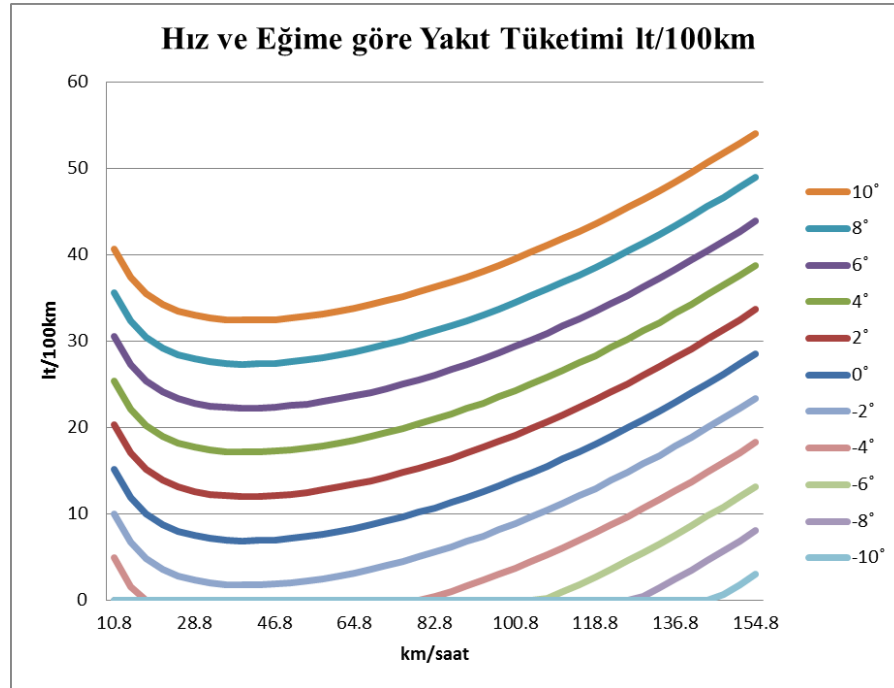
Bu kısımda, noktalar arası yakıt tüketiminin hesaplanmasında (9) numaralı yakıt tüketim fonksiyonu kullanılmıştır.  $YT1(\phi=0)$ 'e göre minimum yakıt tüketimini sağlayan rotanın bulunması için (10) numaralı eşitlikte gösterilen amaç fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} YT1_{ij} x_{ij} \quad (10)$$

### 2.3.2.1 Yol Eğiminin Yakıt Tüketimine Etkisi

Yol eğimi ve hızın yakıt tüketimine etkisini gösteren grafik Şekil 20'deki gibidir. Yakıt tüketimi, 1750 kg toplam araç ağırlığı,  $0^\circ$  eğim ve yaklaşık 40 km/saat hızda minimum değeri olan 6,88 (l/100km) olarak hesaplanmaktadır. Aynı yük ve hız şartları altında eğimin  $10^\circ$  olması durumunda yakıt tüketimi %370 oranında artarak 32,4 (l/100km) olarak hesaplanmaktadır. Aynı araç özellikleri ve ortalama hızda optimum ortalama yol ağı eğimini hesaplamak için  $\pm 5^\circ$ 'lik eğimde yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Bu

hesaplamaya göre, tüm yol ağının ortalama eğimi  $\pm 2,6^\circ$  olursa ortalama yakıt tüketimi,  $0^\circ$  eğim ve yaklaşık 40 km/saat hızdaki değeri almaktadır. Bir başka deyişle,  $-2,6^\circ$  eğim yakıt tüketiminin 0 olduğu nokta ve  $+2,6^\circ$  eğim 13,7 (l/100km) yakıt tüketiminin gerçekleştiği noktadır. Negatif ve pozitif eğimlerin toplamının ortalaması  $2,6^\circ$ 'ye kadar artırıldığında,  $0^\circ$  eğimde gerçekleşen yakıt tüketimine eşit olmaktadır; fakat  $2,6^\circ$ 'den daha fazla eğimin olduğu rotalarda ortalama tüketim artmaktadır.



Şekil 20: Eğim ve Hıza göre Yakıt Tüketimi

### 2.3.3 Ortalama Eğim ve Değişken Hızlı Yakıt Tüketiminin Hesaplanması

Yol eğimi, yakıt tüketimine etki eden önemli faktörlerden birisidir. Ortalama yol eğiminin hesaplanabilmesi için Google APU'su kullanılarak elde edilen mesafe matrisi ve Google haritalar kullanılarak elde edilen ayrıtlara ilişkin rota çizgileri kullanılmıştır. Google APU üzerinden elde edilen iki nokta arası ortalama hız verisi, istenilen rotada hareket eden diğer araçlardan elde edilmektedir. Bu veriler, içinde bulunduğumuz Endüstri 4.0 veya dijital dönüşüm çağında nesnelerin interneti gibi teknolojiler sayesinde elde edilmektedir. Rota çizgileri, Google Earth'te ortalama eğim verisinin hesaplanması ile elde edilmiştir. Schröder ve Cabral (2019) Lisbon uygulama alanında ortalama  $1,94^\circ$  eğimin olduğu bölgede yukarı yönlü eğimlerde 1,55, aşağı yönlü eğimlerde 0,75 düzeltme faktörü kullanarak ayrıtlara ait eğimi yakıt tüketimine dahil

etmiştir. Eğim faktörünü dikkate alınarak yakıt tüketiminin hesaplanması için, problemin uygulama alanının coğrafi yükselti farklarının belirgin olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında seçilen Ankara'nın merkez ilçelerinde, rota yükselteleri 797-1252 metre arasında olup, minimum ve maksimum yükselti arasındaki fark 455 metredir. Bu nedenle, rotaların minimum ve maksimum yükselti farklarının fazla olması nedeni ile ayrıtlara ilişkin değişken eğim verilerinin gerçekçi bir şekilde dikkate alınması, yakıt tüketimini etkilemesi bakımından önem arz etmektedir ve Ankara merkez ilçelerde bulunan aile sağlığı merkezlerine ilişkin problem bu neden ile seçilmiştir. Franceschetti vd. (2013) ve Bektaş ve Laporte (2011) ayrıtlara ait eğimleri sıfır olarak kabul etmişler ancak ele alınan modelde ayrıtlara ait değişken eğim dikkate alınmaktadır. Noktalar arası ortalama eğim verisi ve hız değişkeni kullanılarak (11) numaralı eşitlikte gösterilen yakıt tüketim fonksiyonu aracılığı ile noktalar arası yakıt tüketim miktarları hesaplanmıştır. Yalnızca noktalar arası değişken hız dikkate alınarak yapılan yakıt tüketim hesaplamasından ayırt etmek için  $YT2_{ij}$  ( $i, j \in Z$ )  $YT2(\phi=Ort)$  gösterimi kullanılmıştır. Noktalar arası ortalama eğim ve hız verileri kullanılarak elde edilen yakıt tüketim değerleri, AF4'e göre (11) numaralı eşitlikte gösterilen amaç fonksiyonunda kullanılarak, minimum yakıt tüketimini sağlayan rota oluşturulmaktadır.

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} YT2_{ij} x_{ij} \quad (11)$$

### 2.3.4 Gerçek Eğim ve Değişken Hızlı Yakıt Tüketiminin Hesaplanması

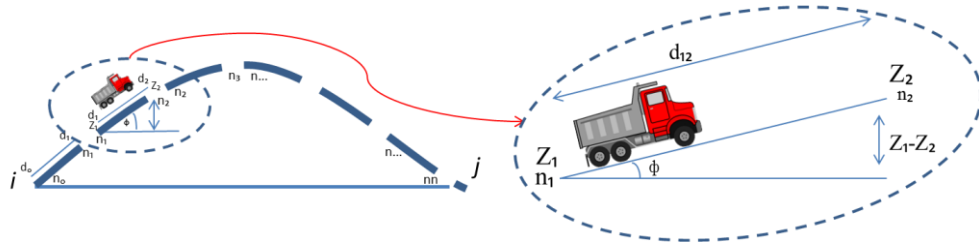
Bu başlık altında, değişken eğim ve değişken hızlar dikkate alınarak yakıt tüketiminin hesaplanması ile optimum rotaların oluşturulması anlatılacaktır. Beş aşamadan oluşan hesaplama adımlarını şu şekilde açıklamak mümkündür:

*Aşama 1:* Google APU'dan tüm noktalar arası mesafe ve seyahat süresi bilgileri, yol eğimlerini elde edebilmek için tüm noktalar arası yol tarifleri, Google haritalardan alınmıştır.

*Aşama 2:* Yol tarifi çizgileri katman olarak tutulmuş ve 43 noktamızın, noktaların birbirine olan uzaklıkları hariç olmak üzere  $(43 \cdot (43-1))$  1806 adet çizgi katman elde edilmiştir.

*Aşama 3:* Ankara şehir merkezinin X-Y-Z koordinatlarının üç boyutlu olarak elde edilebilmesi için DYM kullanılmıştır. DYM, coğrafi olarak noktaların yatay ve dikey koordinatları ile birlikte yükselti değerlerini de barındırmaktadır (USGS, 2019). Noktalar arası yol tarifi çizgileri ve DYM'nin aynı koordinatlar ile örtüşebilmesi için ArcGIS 10.3 paket programı kullanılmıştır. Daha sonra her yol tarifi çizgisi katmanını ArcGIS'te 10'ar metrelik dilimlere bölerek küçük yol parçacıkları elde edilmiştir. Noktalar arası bölünmüş yol parçacıklarının her birisinin rakım (Z) değeri DYM üzerinden alınarak, her bir yol parçacığına ait uzunluk ve Z değerinin olduğu veri seti oluşturulmuştur. Yol parçacıklarının uzunlukları, yolların X-Y eksenlerinde kavisleri olması sebebi ile eşit 10'ar metrelik dilimlere bölünememişlerdir.

*Aşama 4:* Bir yol parçacığının eğimini hesaplamak için, yolun başlangıcındaki yükseklik değeri ( $Z_i$ )'den yolun bitimindeki yükseklik değeri ( $Z_j$ )'yi matematiksel olarak çıkartarak elde edilen değeri yolun uzunluğuna bölünmesi ile trigonometrik bir değer elde edilmektedir. Bu değeri hesaplamamızda kullanabileceğimiz açısız eğim değerine dönüştürmek için,  $\text{Arcsin}((Z_i - Z_j)/d_{ij})$  formülü ile dönüşüm yapılmış ve Şekil 21'deki gibi gösterilmiştir.



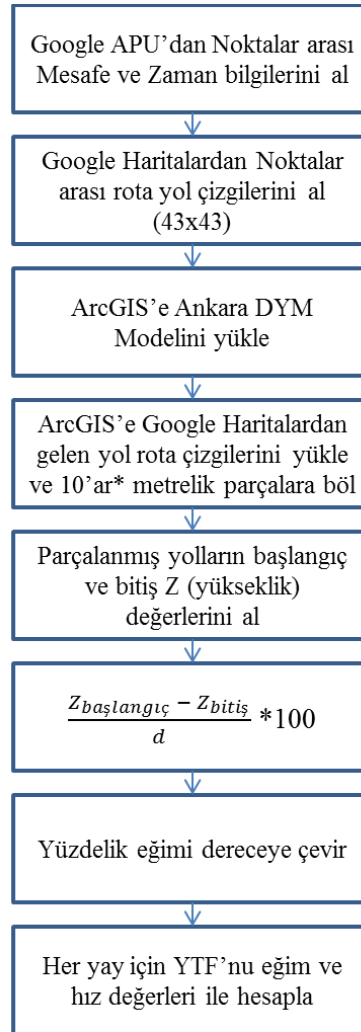
Şekil 21: Yol Eğimi Hesaplama Yöntemi

*Aşama 5:* Yakıt tüketimi hesaplanırken iki nokta arasındaki ortalama hız verisi kullanılmış, yol eğimini de içeren küçük yol parçacıkları için yakıt tüketimi hesaplamaları yapılmıştır. Noktalar arası yakıt tüketiminin gerçekçi bir şekilde hesaplanması için (i,j) noktaları arasındaki bölünmüş küçük yol parçacıklarının her birinde sarf edilecek yakıtın hesaplanması gerekmektedir. (i,j) noktaları arasını oluşturan küçük yol parçacıklarındaki harcanacak yakıt tüketim miktarları toplanarak, aracın i noktasından j noktasına giderken harcayacağı yakıt miktarı hesaplanmış olacaktır.



Gerçek eğim ve noktalar arası değişken hız değerleri ile yakıt tüketimi hesaplama adımları, Şekil 22’de özet olarak gösterilmektedir. Tüm rotanın yakıt tüketimini minimize etmek için  $YT3_{ij}$  ( $i, j \in Z$ ) gösterimi ile (12) numaralı eşitlikte gösterilen amaç fonksiyonu kullanılarak optimum rota oluşturulmaktadır.

$$\text{Min} \sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z} YT3_{ij} x_{ij} \quad (12)$$



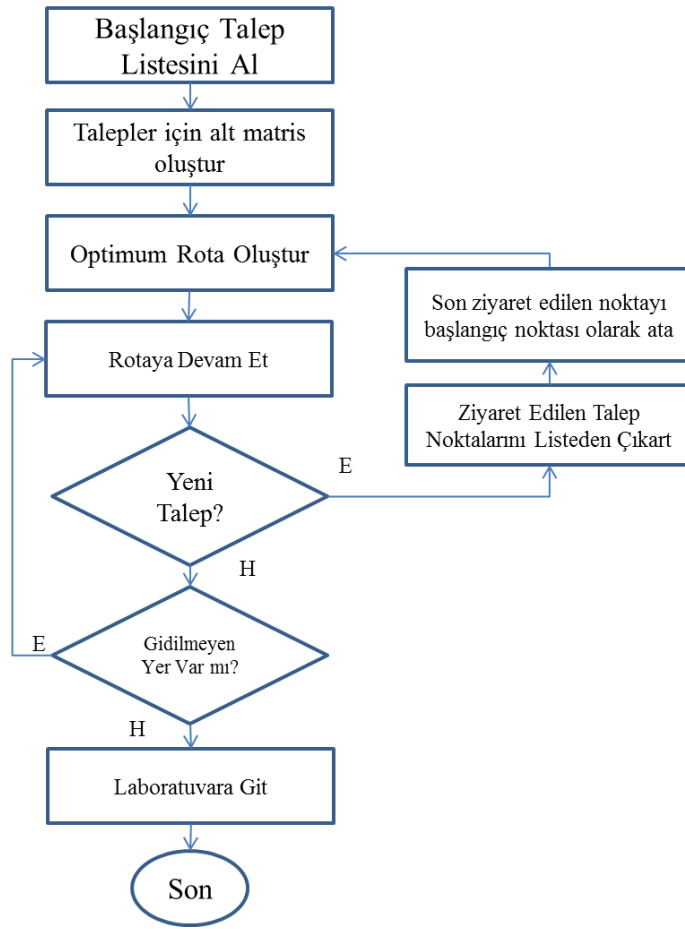
\* yolların X-Y eksenlerindeki kıvrımları nedeni ile eşit 10'ar metrelik dilimler oluşmamaktadır

Şekil 22: Eğim ve Hız Değerleri ile Yakıt Tüketimi Hesaplama Yöntemi

### 2.3.5 Dinamik Gezgin Satıcı Problemi Çözüm Yöntemi

DGSP’de, temel GSP için geçerli olan kısıtlar ve varsayımların yanı sıra araç yola çıktıktan sonra talep güncellemelerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bir başka deyişle, tek araçla, tek turda, tüm talepleri karşılayarak, her talep noktasına yalnızca bir

defa uğrayarak ve aracın başlangıç noktasına dönmesini sağlayarak minimum maliyetli rotanın oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan problem, talep ekleme ve çıkartma düzeyinde dinamiktir. Yeni gelen talepler dikkate alınarak, aracın talep geldiği anda kullandığı ayrıt  $(i, j)$  değiştirilmeden optimum rota oluşturulmaktadır. Bunun için aracın son kullandığı  $(i, j)$  ayrıtındaki son uğradığı noktayı  $(i)$  başlangıç, gitmek üzere olduğu noktayı  $(j)$  da ilk nokta olarak belirleyerek rota güncellemesi yapılmaktadır. Talep güncellemesinin dikkate alınarak rota optimizasyonunun yapılması adımları Şekil 23’de gösterilmektedir.



Şekil 23: Dinamik GSP Algoritması

### 2.3.6 Grafiksel Arayüzün Yapısı

Kurulan modelin görselleştirilmesi için Şekil 24’de görüldüğü gibi, fonksiyonel bir arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüzde, tüm noktaların kısaltma isimleri ve numaralarının bulunduğu bir buton listesi bulunmaktadır. Bu butonlar için üç farklı renk tanımlanmış olup, talep yoksa “kırmızı”, varsa “yeşil” ve talebi olan noktanın talebi karşılanmışsa

“mavi” olarak görünmektedir. Modelde amaç fonksiyonlarımızı tanımlamak için sağ üst taraftaki, “Mesafe”, “Zaman”, “YT1( $\phi=0$ )”, “YT2( $\phi=Ort$ )” ve “YT3( $\phi=Gerç$ )” isimli butonlar oluşturulmuştur. Bu butonlar sırasıyla AF1, AF2, AF3, AF4 ve AF5 ile tanımlanan amaç fonksiyonlarını ifade etmektedir. Sağ alt tarafta bulunan “toplam mesafe”, “toplam zaman”, “toplam yakıt1”, “toplam yakıt2” ve “toplam yakıt3” isimli kısımlar aracın hareket halinde iken kat ettiği yolu, zamanı ve tükettiği yakıtı göstermektedir. Orta kısımda görünen araç ikonu, aracın rota üzerindeki hareketini görselleştirmektedir. Başla isimli buton ise, seçilen amaç fonksiyonuna göre optimum rotanın oluşturulması için kullanılmaktadır.

Şekil 24 ile Şekil 27 arasında bulunan görseller Python 3.7 ile geliştirilen arayüze aittir. Problemin çözülmesi için kullanılan çözücü, akademik lisanslı Gurobi 8.1’dir. Modele ve arayüze ilişkin kodlar EK - 8’deki gibidir. Modelde kullanılan veri setleri ayrı dosyalar halinde tutulmaktadır.

Talep gelen noktalar, butonlar aracılığıyla seçilince Şekil 25’de görüldüğü gibi, yeşil renkte görünmekte ve rota oluşturulduktan sonra siparişi karşılanan noktalar yeşil renkten mavi renge dönmektedir. Sağ alt taraftaki görünen toplam mesafe değeri, aracın mevcut konumuna kadar kat ettiği mesafeyi, toplam zaman yolda geçen süreyi ve toplam yakıt değeri de mevcut konumuna kadar harcadığı yakıtı göstermektedir. Üç farklı şekilde yakıt tüketimi değerleri hesaplandığı için her bir hesaplama göre tüketilen yakıt miktarları ayrı ayrı gösterilmektedir. Örneğin, Şekil 25’de görüldüğü üzere, araç mevcut konumuna kadar 1790 metre yol almış (“Toplam Mesafe”), bu mesafeyi 364 saniyede (“Toplam Zaman”) kat etmiş ve bu kat edilen mesafede YT1( $\phi=0$ )’e göre yakıt tüketimi hesaplınsaydı 0,2386 litre (Toplam Yakıt1) yakıt tüketimi olacağı gösterilmektedir.

Yeşil Gezgin Satıcı Problemi Karar Destek Sistemi

ÇANKAYA4 1	HILAL 2	ÇANKAYA5 3	CEBECİ 4	ATAKULE 5	MÜRSEL 6	TINAZTEPE 7	ÇANKAYA2 8	ÇANKAYA7 9	19MAYIS 10
ASYA 11	AYVALI 12	EMRAH 13	BALTACILAR 14	KUŞÇAĞIZ 15	KAMIL 16	AŞAĞIEĞLENCE 17	ADNAN 18	YENİMAHALLE1 19	HAVACILAR 20
KALETEPE 21	ELİFE 22	VARLIK 23	ARIF 24	BEŞTEPE 25	ETİMESGUT1 26	AHİMESUT 27	ALSANCAK 28	ERYAMAN2 29	ERYAMAN4 30
ERYAMAN7 31	MÜZEYVEN 32	ALTINDAĞ 33	DURMUŞ 34	ZÜBEYDE 35	ANAFARTALAR 36	SEYFİ 37	BAĞLICA 38	CEVİZLİDERE 39	BATIKENT4 40
UMUT 41	YENİMAHALLE4 42								

**Başla**

**Mesafe**

**Zaman**

YT1 ( $\phi=0$ )

YT2 ( $\phi=Ort$ )

YT3 ( $\phi=Gerc$ )

Toplam Mesafe  
0

Toplam Zaman  
0

Toplam Yakıt 1  
0

Toplam Yakıt 2  
0

Toplam Yakıt 3  
0

0

Şekil 24: Arayüz Ekran Görüntüsü

Noktalar arası değişken hız ile noktalar arası ortalama eğim dikkate alınarak  $YT2(\phi=Ort)$ , kat edilen mesafedeki tüketilecek yakıt miktarı hesaplınsaydı 0,2604 litre (Toplam Yakıt2) yakıt harcanacağı tahmin edilmektedir. Son olarak, hem noktalar arası değişken hız hem de noktalar arası gerçekçi eğim dikkate alınarak  $YT3(\phi=Gerç)$  yakıt tüketimi hesaplınsaydı 0,2018 litre (Toplam Yakıt3) yakıt tüketimi olacağı tahmin edilmektedir.

Rotada hareket ederken olası bir durumda siparişin iptal edilmesi gerektiğinde, Şekil 25'da yeşil renkte görünen 14 ve 15 numaralı butonlar, Şekil 26'de görüldüğü üzere, iptal edilmiş ve rengi kırmızıya dönmüştür. Bu talep çıkartma işlemini arayüz üzerinden yaparak, iptal edilen noktayı, daha önce oluşturulan optimum rotadan çıkartabiliyor olmak, KDS'nin talep çıkartma düzeyinde dinamik olduğunu göstermektedir.

Araç depodan çıktıktan sonra yeni taleplerin gelmesi durumunda, Şekil 26'de kırmızı renkte görünen 34, 35, 36 ve 37 numaralı butonlar Şekil 27'de görüldüğü üzere, yeşil renge ve daha sonra siparişleri karşılandığı için mavi renge dönmüştür. KDS'nin işlemi yapabiliyor olması, sipariş ekleme düzeyinde dinamik hale geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla, KDS'nin sipariş ekleme ve çıkartma düzeyinde dinamik olduğu arayüz üzerinden de görülmektedir.



Şekil 25: Arayüzün Çalıştırılması İşlemi



Şekil 26: Arayüzden Talep Çıkartma İşlemi



Şekil 27: Arayüzde Talep Ekleme İşlemi



## 2.4 Nümerik Analizler

Bu kısımda, tanımlanan beş amaç fonksiyonunda kullanılacak olan verilerin elde edilme yöntemleri açıklanacaktır. Elde edilen veriler, geliştirilen karar destek sisteminde kullanılarak statik ve dinamik senaryolardaki TPG'leri üzerinde etkisi ile ilgili değerlendirmeler yapılacaktır.

### 2.4.1 Senaryolarda Kullanılan Veri Setlerinin Tanıtılması

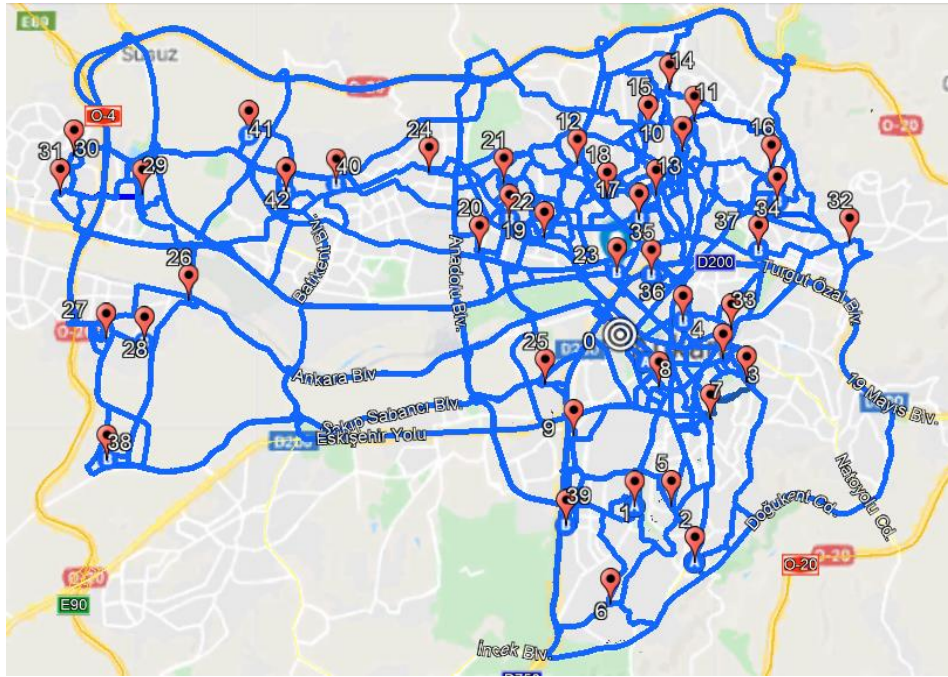
Bu çalışma kapsamında ele alınan problem gerçek hayat problemidir. Türkiye'de bulunan ASM'lerde, hastalardan alınan laboratuvar örneklerinin analiz edilebileceği bir laboratuvar bulunmamaktadır. Bu nedenle, gün içinde ASM'ye gelen hastaların laboratuvar örnekleri, merkezi bir laboratuvara gönderilerek analizleri yapılmaktadır. Hangi hastadan ne tür laboratuvar örneğinin isteneceği önceden bilinmediği için ASM'lerin talepleri gün içinde değişkenlik gösterebilmektedir. Bir başka deyişle, ASM'lerin laboratuvar örneklerinin merkez laboratuvara taşınması operasyonu, dinamik talep yapısına sahiptir.

Uygulama alanı olarak seçilen Ankara merkez ilçelerdeki örneklem ASM'lerin yol ağları, Şekil 28'deki gibi gösterilmiştir. Merkezi laboratuvar dahil 43 nokta için elde edilen uzaklık verilerinden gerçek mesafe matrisi oluşturulmuştur. Nokta numaraları ve isimleri EK – 1'de, noktaların birbirine uzaklığını gösteren matris ise EK – 2'de sunulmuştur. Noktalar arasındaki mesafeler, Google haritalar APU'su kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen gerçek mesafe matrisi GSP'de kullanılarak talep noktaları arasındaki en kısa mesafeli rota bulunabilmektedir.

Şehir içi trafiğinde herhangi iki nokta arasındaki seyahat süresi, zaman periyoduna ve noktaların bulunduğu bölgedeki ortalama trafik yoğunluğuna göre farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılık, şehir içi lojistiğinde günlük işlerin planlamasını tutarlı bir şekilde yapılması konusunda önem arz etmektedir. Noktalar arası seyahat süresinin doğruluğu, tutarlı bir planlama yapılmasına katkı sağlayacaktır. Google haritalar APU'su kullanarak, merkez laboratuvar dahil 43 noktanın birbirine olan seyahat süreleri için 43x43'lük bir zaman matrisi oluşturulmuş ve EK – 3'teki gibi sunulmuştur. Tüm noktalar arası seyahat süresini gösteren  $(43*(43-1))$  1806 adet seyahat süresi verisinin ortalaması 1146 saniye ve standart sapması 457,9 olarak hesaplanmıştır. Noktalar arası ortalama hızların hesaplanması için, noktalar arası mesafeler seyahat sürelerine

bölünmüş, tüm noktalar arasındaki ortalama hızların ortalaması 11,63 m/sn, standart sapması da 3,53 olarak bulunmuştur. Elde edilen noktalar arası ortalama hız ve standart sapma verileri, tüm noktalar arasındaki seyahat hızının farklılık gösterdiğini ve bu nedenle noktalar arası gerçekçi hız verilerinin kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Böylece, daha tutarlı günlük planlama yapılmasına olanak sağlanacaktır. Talep noktaları arasındaki alt matris, temel GSP'ye uygulanarak, tüm talepleri en hızlı şekilde karşılayacak rota oluşturulmaktadır.

İlerleyen kısımlardaki yakıt tüketimi hesaplarında farklılığı sembolik olarak göstermek için  $YT1(\phi=0)$  olarak tanımlanmıştır. Tüm noktalar arası yakıt tüketiminin  $YT1(\phi=0)$ 'e göre hesaplanması sonucu elde edilen yakıt tüketim matrisi EK - 4'te sunulmuştur. Örnek senaryoya ilişkin noktalar arası ortalama eğim dikkate alınarak hesaplanan yakıt tüketimi  $YT2(\phi=Ort)$  değerleri EK - 5'te sunulmaktadır. Gerçek yol eğimleri dikkate alınarak hesaplanan noktalar arası yakıt tüketimi  $YT3(\phi=Gerç)$  değerleri, EK - 6'da gösterilmektedir.



Şekil 28: Noktaların Yol Ağı Gösterimi

#### 2.4.2 Hesaplama Sonuçları

Bu kısımda statik ve dinamik modellerin karşılaştırılması yapılacaktır. Statik olarak adlandırılan model, araç hareket etmeden önce taleplerin bilindiği ve yola çıktuktan

sonra talep ekleme veya çıkartma yapılamayan sistemdir. Statik model için belirli örnek büyüklükleri ile yapılan hesaplama karşılaştırmaları sunulacaktır. Dinamik olarak adlandırılan model, bilinen talep listesine göre oluşturulan optimum rota için araç hareket edip tekrar merkeze dönünceye kadar olan süre içinde yeni talebin eklenmesi veya oluşturulan bir talebin iptal edilmesi ile optimum rotanın yeniden hesaplanmasıdır. Dinamik senaryolara göre oluşturulan optimum rotaların mesafe, seyahat süresi ve üç farklı yakıt tüketimi hesaplamasına göre sonuçların karşılaştırılması sunulacaktır.

#### 2.4.2.1 Statik Senaryo Sonuçlarının Karşılaştırılması

Statik modelde 20, 25, 30, 35 ve 42 nokta sayılarındaki örnekler için beş farklı amaç fonksiyonunun oluşturduğu rotaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Rasgele seçilen noktalar Tablo 15’deki gibi gösterilmiş ve her aşamada yeni eklenen noktalar renkli olarak işaretlenmiştir. Amaç fonksiyonlarına göre elde edilen sonuçlar, Tablo 16’deki gibi ifade edilmiştir.

Tablo 15: Örnek Seçilen Talep Noktaları

Nokta Sayısı	Rasgele Seçilen Noktalar (Planlama Ufkunun Başında)	Rasgele Seçilen Yeni noktalar ve Sıraları
20	2- 4-6-8-10-12-14-16-18-20-22-24-26-28-30-32-34-36-38-40	
25	2-4-6-8-10-12-14-16-18-20-22-24-26-28-30-32-34-36-38-40	<i>1- 11-21-31-41</i>
30	2-4-6-8-10-12-14-16-18-20-22- 24-26-28-30-32-34-36-38-40- <i>1- 11-21- 31-41</i>	<i>9-19-29-39-42</i>
35	1-2-4-6-8-10-11-12-14-16-18-20-21-22-24-26-28-30-31-32-34-36-38-40-41- <i>9-19-29-39-42</i>	<i>3-13-23-33-35</i>
42	1-2-4-6-8-9-10-11-12-14-16-18-19-20-21-22-24-26-28-29-30-31-32-34-36-38-39-40-41-42- <i>3-13-23-33-35</i>	<i>5-7-15-17-25-27-37</i>

Tablo 16’te her amaç fonksiyonu için Tablo 15’te gösterilen büyüklüklerde ve belirtilen noktalardan oluşan talepler için rotalar oluşturulmuştur. Farklı amaç fonksiyonlarının birbirlerine göre karşılaştırılmasının yapılabilmesi için “Mesafe” sütununda her amaç fonksiyonunun seçilen noktalarda optimum rotayı oluşturduğunda kat edeceği mesafeyi ifade etmektedir. “Zaman” sütunu oluşturulan optimum rotada geçecek seyahat süresini ifade etmektedir.  $YT1(\phi=0)$ , oluşturulan optimum rotadaki yakıt tüketimini hesaplarken, yalnızca noktalar arası değişken hızların dikkate alınması durumunda ne kadar yakıt tüketileceğini göstermektedir.  $YT2(\phi=Ort)$ , oluşturulan optimum rotada hem noktalar arası değişken hız, hem de ortalama eğimin dikkate alınarak yakıt tüketimi

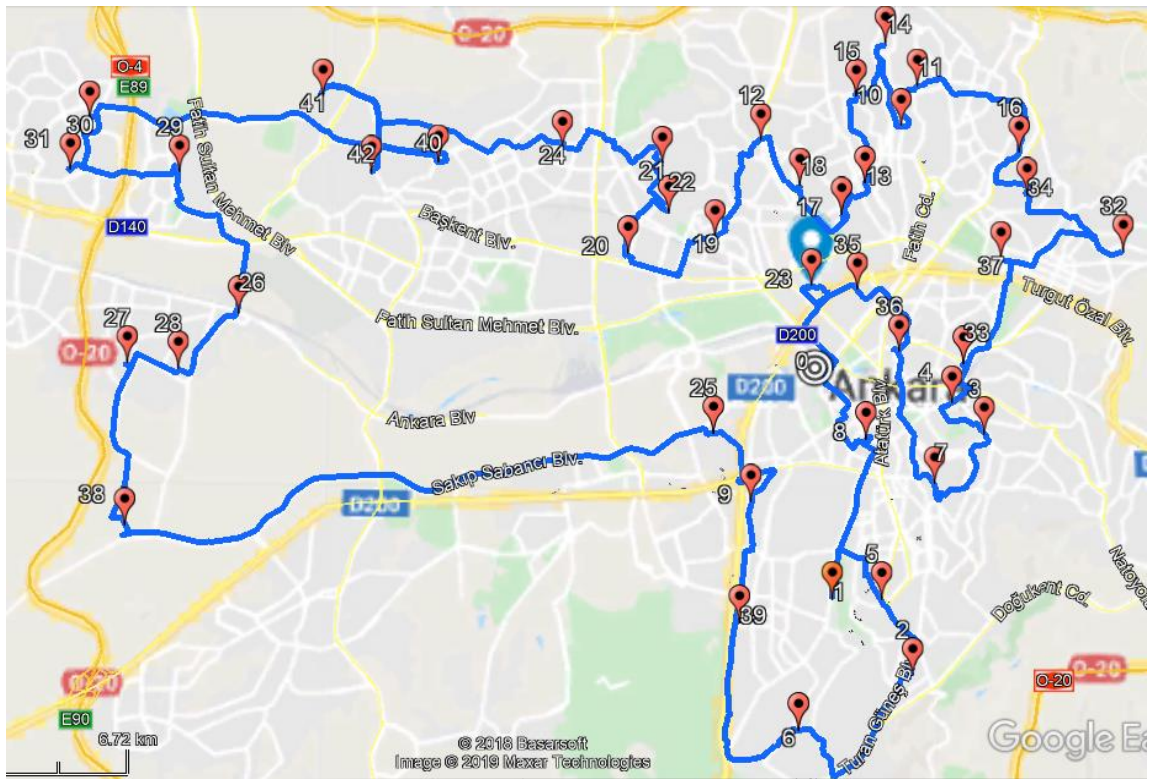
hesaplanırsa ne kadar yakıt sarf edileceğini göstermektedir. YT3( $\phi$ =Gerç) ile gösterilen sütun ise oluşturulan optimum rotada ne kadar yakıt harcanacağı tahmin edilirken, hem noktalar arası hız, hem de gerçekçi eğimlerin dikkate alınması durumunda ne kadar olacağını göstermektedir.

Tablo 16: Statik Senaryoların AF5'e Göre Karşılaştırmalı Sonuçları

	Nokta Sayısı	AF1	Fark (%)	AF2	Fark (%)	AF3	Fark (%)	AF4	Fark (%)	AF5
Mesafe (m)	20	114407	-1,84	119362	2,41	116549	0,00	116346	-0,17	116549
	25	118417	0,00	123670	4,44	118417	0,00	123461	4,26	118417
	35	125419	-0,85	134651	6,45	125419	-0,85	125419	-0,85	126490
	35	135251	-0,79	144858	6,26	135925	-0,29	135925	-0,29	136322
	42	147216	-1,07	152354	2,39	147515	-0,87	148896	0,06	148803
	<i>Ort Fark (%)</i>		<i>-0,91</i>		<i>4,39</i>		<i>-0,40</i>		<i>0,60</i>	
Zaman (sn)	20	13475	0,16	13206	-1,84	13453	0,00	14174	5,36	13453
	25	14810	0,00	14399	-2,78	14810	0,00	15645	5,64	14810
	35	16341	-0,18	15788	-3,56	16341	-0,18	16341	-0,18	16370
	35	17615	-0,16	17092	-3,13	17551	-0,53	17551	-0,53	17644
	42	19341	-0,70	18833	-3,31	19107	-1,90	19440	-0,20	19478
	<i>Ort Fark (%)</i>		<i>-0,18</i>		<i>-2,92</i>		<i>-0,52</i>		<i>2,02</i>	
YT1 ( $\Phi=0$ ) (lt)	20	8,99	1,24	9,13	2,82	8,88	0,00	8,95	0,79	8,88
	25	9,25	0,00	9,64	4,22	9,25	0,00	9,47	2,38	9,25
	35	9,92	-0,60	10,34	3,61	9,92	-0,60	9,92	-0,60	9,98
	35	10,67	-0,56	11,25	4,85	10,67	-0,56	10,67	-0,56	10,73
	42	11,78	-1,59	11,96	-0,08	11,74	-1,92	11,97	0,00	11,97
	<i>Ort Fark (%)</i>		<i>-0,30</i>		<i>3,08</i>		<i>-0,62</i>		<i>0,40</i>	
YT2 ( $\Phi=Ort$ ) (lt)	20	9,00	-0,22	9,02	0,00	9,02	0,00	8,87	-1,66	9,10
	25	9,68	0,00	9,76	0,83	9,68	0,00	9,22	-4,75	9,68
	35	9,91	-2,56	10,46	2,85	9,91	-2,56	9,91	-2,56	10,17
	35	10,55	-2,31	11,38	5,37	10,49	-2,87	10,49	-2,87	10,8
	42	11,69	-4,26	12,12	-0,74	11,68	-4,34	11,41	-6,55	12,21
	<i>Ort Fark (%)</i>		<i>-1,87</i>		<i>1,66</i>		<i>-1,95</i>		<i>-3,68</i>	
YT3 ( $\Phi=Gerç$ ) (lt)	20	10,63	1,43	10,78	2,86	10,48	0,00	10,59	1,05	10,48
	25	10,91	0,00	11,48	5,22	10,91	0,00	11,38	4,31	10,91
	35	11,9	0,34	12,57	5,99	11,9	0,34	11,9	0,34	11,86
	35	12,69	0,32	13,12	3,72	12,72	0,55	12,72	0,55	12,65
	42	14,08	1,37	14,25	2,59	14,05	1,15	14,03	1,01	13,89
	<i>Ort Fark (%)</i>		<i>0,69</i>		<i>4,08</i>		<i>0,41</i>		<i>1,45</i>	
<i>Toplam Ort Fark (%)</i>			<i>-0,55</i>	<i>2,06</i>		<i>-0,62</i>		<i>0,16</i>		

Mesafe açısından farklı büyüklüklerdeki uğrak noktaları için yapılan amaç fonksiyonlarının karşılaştırmasına göre, AF1 ile AF5 25 noktalı örnekte aynı rotayı oluşturmuş ancak diğer nokta sayısındaki örneklerde AF1, AF5'ten %0,85-1,84 arasında daha kısa mesafeli rotalar oluşturmuştur. Beş farklı nokta sayısı için oluşturulan rotalarda ortalama %0,91 daha kısa mesafe kat edilmesine sebep olmuştur. AF2 tüm örneklerde AF5'e göre %2,39-6,45 arasında daha uzun rotalar oluşturmuş, tüm

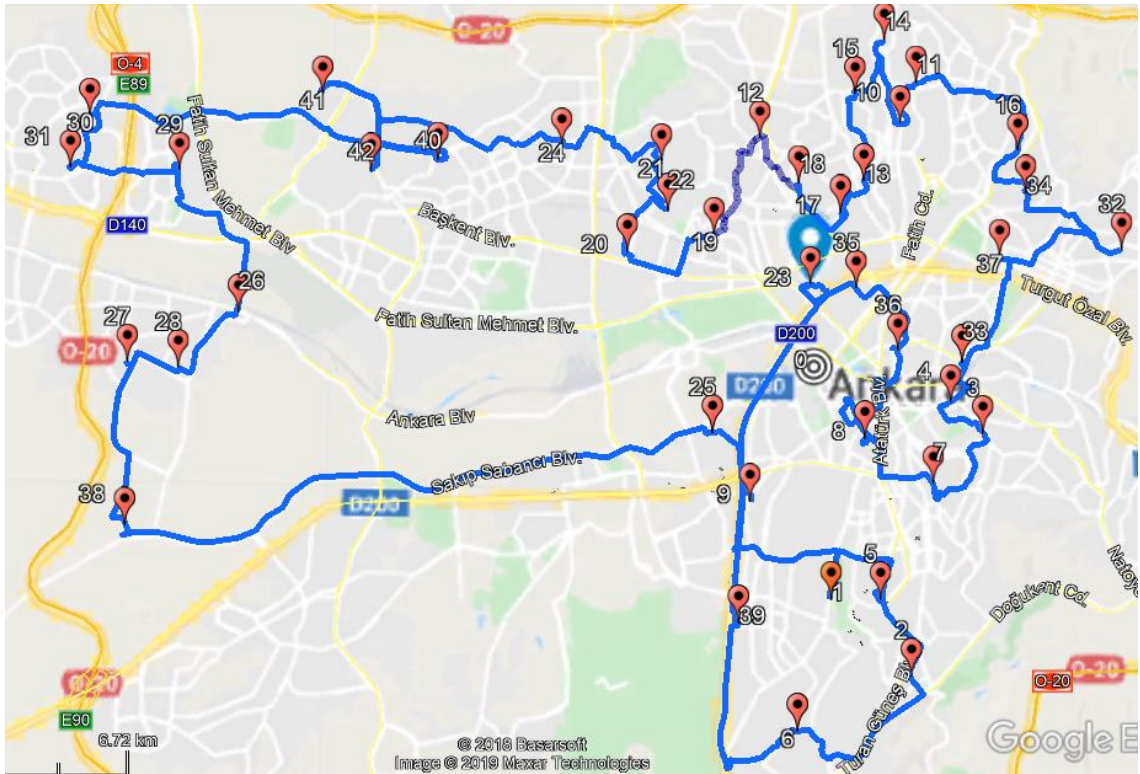
örneklerin ortalaması %4,39 olarak tespit edilmiştir. AF3, 20 ve 25 noktalı örneklerde AF5 ile aynı rotayı oluşturmuş 30, 35 ve 42 noktalı örneklerde AF5'e göre %0,29-0,87 arasında daha kısa rotalar oluşturmuş ve tüm örnek büyüklüğünde ortalama %0,4 daha kısıların oluşmasına sebep olmuştur. AF4, 42 noktalı örnekte AF5'e göre %0,06, 25 noktalı örnekte %4,26 daha uzun mesafeli rota oluşturmuştur. Diğer yandan 20, 30 ve 35 noktalı örneklerde AF4 AF5'e göre %0,17-0,85 arasında daha kısa rotalar oluşturmuştur. AF4 tüm örnek büyüklüğündeki senaryolarda AF5'ten ortalama %0,6 daha fazla yol kat edilmesine neden olmuştur. 42 noktalı AF1'e göre oluşturulan rotanın harita üzerindeki gösterimi, Şekil 29'deki gibidir.



Şekil 29: AF1'in 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota

Seyahat süresi bakımından farklı büyüklüklerdeki uğrak noktaları için amaç fonksiyonları karşılaştırılmıştır. 25 noktalı örnekte AF1 ile AF5 aynı rotayı oluşturmuşlardır. 20 noktalı örnekte AF1 AF5'e göre %0,16 daha fazla, 30, 35 ve 42 noktalı örneklerde ise %0,16-0,70 arasında daha kısa seyahat süreli rotalar oluşturmuştur. AF2 seyahat süresini minimize eden amaç fonksiyonu olduğu için AF5'ten tüm örneklerde %1,84-3,54 arasında daha kısa seyahat süreli rotalar oluşturmuştur ve tüm örneklerdeki ortalama fark %2,92 olarak hesaplanmıştır. AF3 ile

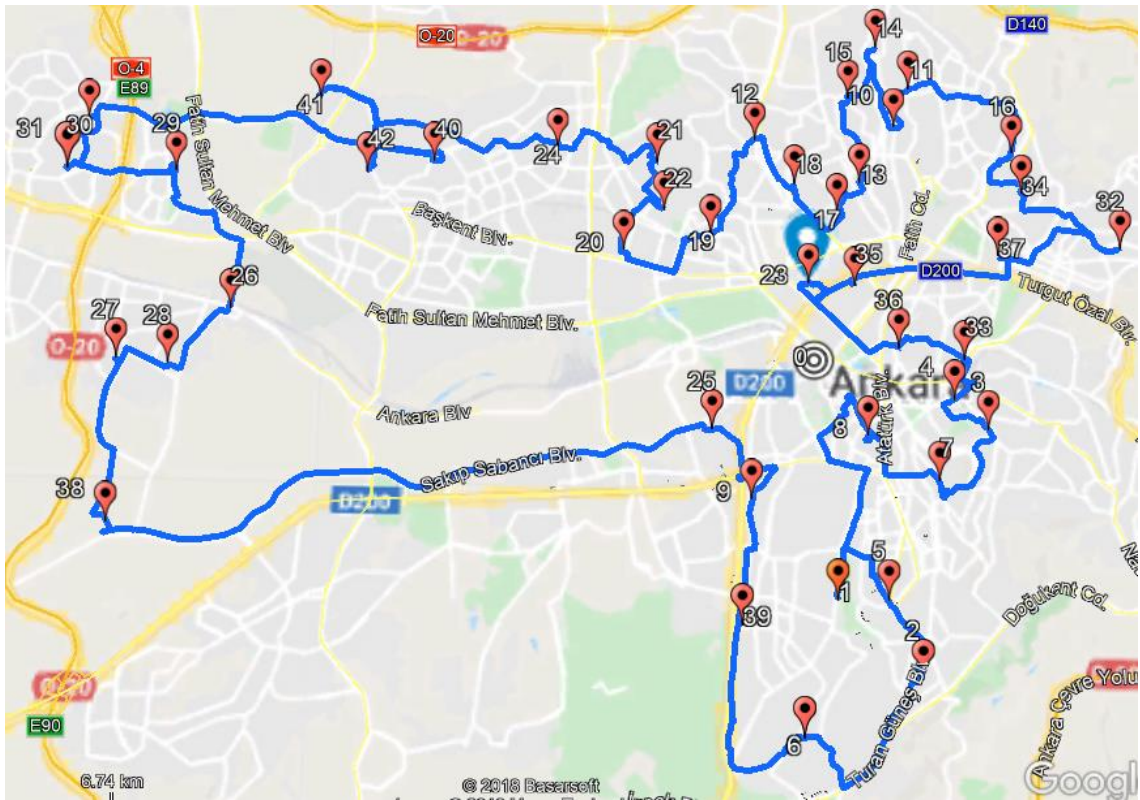
AF5 20 ve 25 noktalı örnekler için aynı rotaları oluşturmuşlardır. Dolayısıyla, seyahat süreleri de aynıdır. 30, 35 ve 42 noktalı örnekler için AF3 AF5'e göre %0,18-1,90 arasında daha kısa seyahat süreli rotalar oluşturmuştur. 20 ve 25 noktalı örneklerde AF4'ün seyahat süresi sonuçları AF5'ten %5,36-5,64 arasında daha fazla olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, 30, 35 ve 42 noktalı örnek büyüklükleri için ise AF4 AF5'ten %0,18-0,53 arasından daha kısa seyahat süreli rotalar oluşturmuştur. Tüm senaryolarda AF4'ün seyahat süresi AF5'e göre ortalama %2,02 daha fazla olarak hesaplanmıştır. Farklı büyüklüklerdeki noktalara göre seyahat sürelerinin amaç fonksiyonlarına göre değişimi, Tablo 16'da gösterilmektedir. AF2'ye göre oluşturulan rota Şekil 30'daki gibi gibidir.



Şekil 30: AF2'nin 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota

Ayrıtlara özgü değişken hızlar ile hesaplanan yakıt tüketimlerinin farklı sayıdaki uğrak noktaları için yapılan karşılaştırmada amaç fonksiyonlarının sonuçları, Tablo 16'te YT1( $\phi=0$ ) olarak isimlendirilen satırlar ile gösterilmiştir. Ayrıtlara özgü değişken hızlar kullanılarak hesaplanan yakıt tüketimi YT1( $\phi=0$ ), AF3 numaralı amaç fonksiyonu bu hesaplama göre elde edilen ayrıtlar arası yakıt tüketimini minimize etmektedir. Gerçekçi eğimler dikkate alınarak hesaplanan YT3( $\phi=Gerç$ ) ile gösterilen

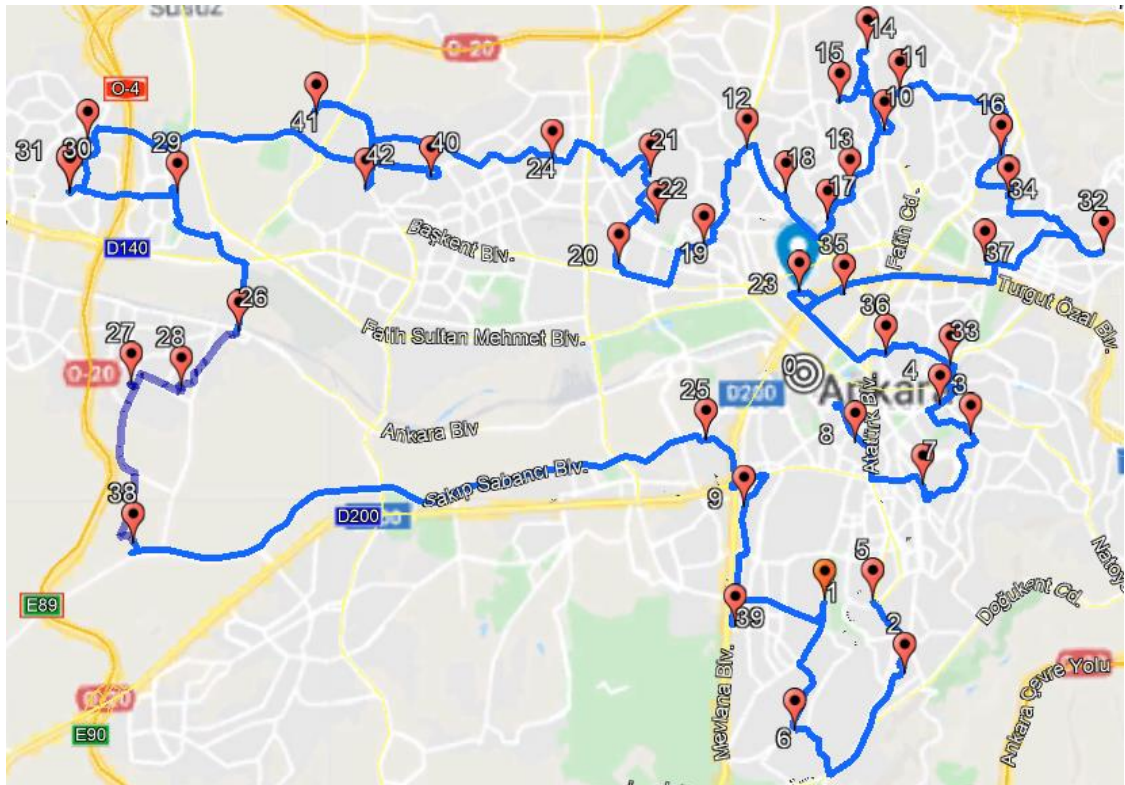
ve AF5 numaralı amaç fonksiyonları farklı nokta sayısındaki örnek büyüklükleri için karşılaştırılmıştır. 25 noktalı örnek için AF1 ile AF5 aynı rotaları oluşturmuştur. 20 noktalı örnekte AF1, AF5'e göre %1,31 daha fazla yakıt tüketimine sebep olmuş; ancak 30, 35 ve 42 noktalı örneklerde %0,54-1,60 arasında daha az yakıt tüketimi sağlamıştır. AF2 yalnızca 42 noktalı örnekte %0,05 AF5'ten daha az yakıt tüketimi sağlamış; fakat diğer tüm örneklerde %2,83-4,85 arasında daha fazla yakıt tüketimine neden olmuştur. 20 ve 25 noktalı örneklerde AF3 ile AF5 aynı rotaları oluşturmuşlardır. Dolayısıyla, tahmin edilen yakıt tüketimleri eşittir. 30, 35 ve 42 noktalı örneklerde ise AF3 AF5'e göre %0,59-1,90 arasında daha az yakıt tüketimi sağlamıştır. 20, 25 ve 42 noktalı örneklerde AF4 AF5'e göre %0,01-2,82 arasında daha fazla yakıt tüketimine neden olurken 30 ve 35 noktalı örneklerde %0,59-0,68 arasında daha az yakıt tüketimi sağlamıştır. AF3'ün 42 noktalı örnek için oluşturduğu rota, Şekil 31'deki gibidir.



Şekil 31: AF3'ün 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota

Noktalar arası değişken hız ve ortalama eğimler ile hesaplanan yakıt tüketimleri  $YT2(\phi=Ort)$  olarak Tablo 16'te gösterilerek, AF4'ün diğer amaç fonksiyonları ile karşılaştırmaları yapılmıştır. 25 noktalı örnekte AF1 ile AF5 aynı rotaları oluşturmuşlardır. Ancak, diğer büyüklüklerdeki örneklerde AF1 AF5'e göre %1,08-4,27

arasında daha az yakıt tüketimi sağlamıştır. Yalnızca 42 noktalı örnekte AF5'ten %0,69 daha az yakıt tüketimine neden olan AF2, diğer tüm örnek büyüklüklerinde %0,09-5,37 arasında daha fazla yakıt tüketimine neden olmuştur. 20 ve 25 noktalı örneklerde AF3 ile AF5 aynı rotaları oluşturduğu için tüm değerleri eşit çıkmıştır. Ancak, 30, 35 ve 42 noktalı örneklerde AF3 AF5'e göre %2,52-4,34 arasında daha az yakıt tüketimi sağlamıştır. AF4 tüm örnek büyüklüklerinde AF5'e göre %1,65-6,57 arasında daha az yakıt tüketimi sağlamıştır. Ayrıtlara özgü ortalama eğim ve hız ile hesaplanan yakıt tüketimleri için oluşturulan 42 noktalı optimum rota, Şekil 32'teki gibi gösterilmiştir.

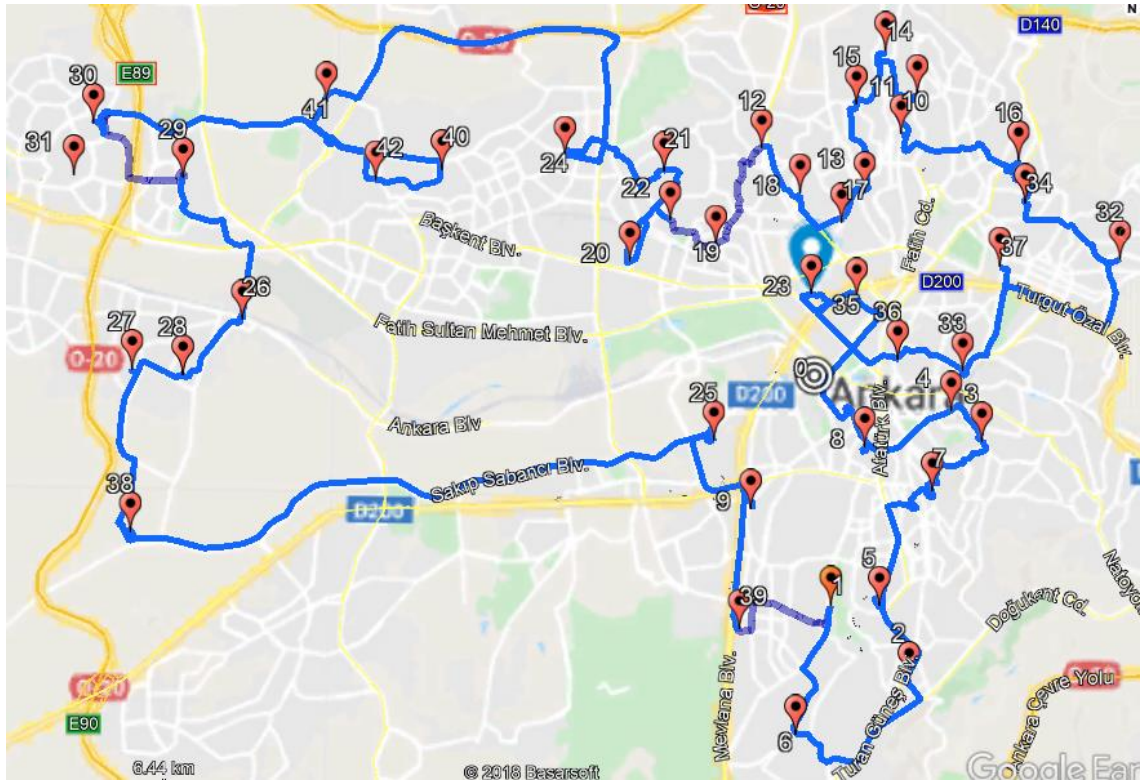


Şekil 32: AF4'ün 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota

Noktalar arası ortalama hız ve gerçekçi eğimler kullanılarak hesaplanan yakıt tüketimi Tablo 16'te  $YT3(\phi=Gerç)$  ile gösterilmiş ve AF5'e göre oluşturulan optimum rotaların sonuçları, diğer amaç fonksiyonları ile karşılaştırılmıştır. AF5 ile AF1 25 noktalı örnekte aynı rotayı oluşturduğu için tüm değerler eşit çıkmıştır ancak diğer tüm örnek büyüklüklerinde AF1 AF5'e göre %0,32-1,39 arasında daha fazla yakıt tüketimine neden olmuştur. AF2 tüm örnek büyüklüklerinde %2,59-6,00 arasında AF5'ten daha fazla yakıt tüketimine neden olmuştur. 20 ve 25 noktalı örneklerde AF3 ile AF5 aynı rotaları oluşturmuştur ancak 30, 35 ve 42 noktalı örneklerde AF3 AF5'e göre %0,34-



1,07 arasında daha fazla yakıt tüketimine neden olmuştur. AF4 tüm örnek büyüklüğündeki denemelerde %0,34-4,31 arasında AF5'ten daha fazla yakıt tüketimine neden olmuştur. Ayrıtlara özgü gerçekçi eğim ve hızlar ile hesaplanan yakıt tüketimleri ile 42 noktalı örnek için oluşturulan rota, Şekil 33'da ve farklı sayıdaki örnekler ile yapılan karşılaştırma, Tablo 16'te gösterilmiştir.



Şekil 33: AF5'in 42 Noktalı Örnekte Oluşturduğu Rota

AF3 ile AF4, 30 ve 35 noktalı örneklerde aynı rotaları oluşturmuşlardır. Mesafe açısından incelendiğinde 20 noktalı örnekte AF3 AF4'ten %0,17 daha fazla, 25 ve 42 noktalı örnekte %0,93-4,09 arasında daha kısa mesafeli rotalar oluşturmuştur. Zaman açısından incelendiğinde AF3 aynı rotaların oluşturulduğu örnekler dışında %1,71-5,34 arasında daha kısa seyahat süresine neden olmuştur. YT3( $\phi$ =Gerç)'e göre hesaplanan yakıt tüketimi değerlerine göre AF3'ün oluşturduğu rota 20 ve 25 noktalı örneklerde %1,02-4,13 arasında daha az olurken 42 noktalı örnekte %0,09 daha fazla olmuştur.

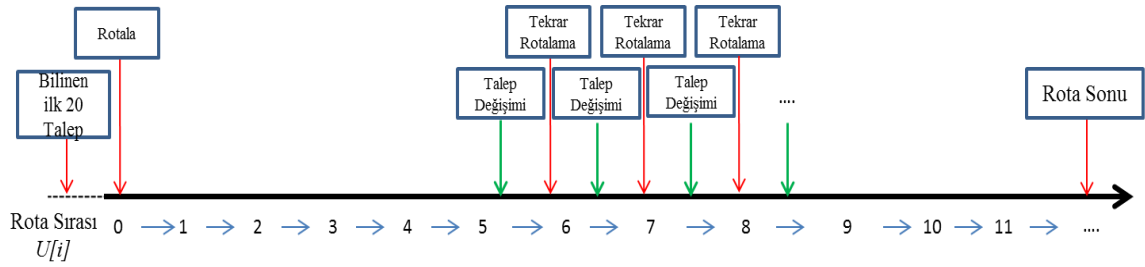
Yakıt tüketimlerinde dikkate alınan faktörlerin farklı olması rotalarda da bazı farklılıklara neden olmuştur. AF3 ve AF5 amaç fonksiyonları rasgele seçilen 20 ve 25 noktalı örneklerde aynı rotaları oluşturmuş ve tüm değerler aynı hesaplanmıştır. AF5 30

noktalı örnekte yakıt tüketimi açısından %0,34 daha iyi sonuç verirken kat edilen mesafe açısından %0,85, seyahat süresi açısından %0,18 daha kötü sonuç vermiştir. 35 noktalı örnekte AF5 yakıt tüketimi açısından AF3'e göre %0,53 daha az yakıt tüketimi sağlamış ancak %0,29 daha fazla mesafe ve % 0,53 daha fazla seyahat süresi olan rotalar oluşturmuştur. 42 noktalı örnekte ise AF5 AF3'e göre %1,15 daha az yakıt tüketimli rota oluşturmuş ancak %0,87 daha fazla mesafe ile %1,90 daha fazla seyahat süresine sebep olmuştur.

#### **2.4.2.2 Dinamik Senaryo Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Talep ekleme ve çıkartma seviyesinde dinamik hale getirilmiş olan KDS'nin, TPG'ler açısından sağladığı katkıyı göstermek üzere farklı örnek büyüklüklerinde senaryolar üretilmiştir. Bu senaryoları karşılaştırabilmek için tüm amaç fonksiyonlarına uygulamak üzere rota ufkunun başında Tablo 15'da gösterilen rasgele seçilmiş 20 noktalı talep ile rotaya başlanılmaktadır. Araç yola çıkıp ilk 5 talebi karşılayana kadar hiçbir yeni talep eklenmemekte, beşinci talep karşılanıp altıncı talebi karşılamak üzere yola çıkınca ilk talep eklenmektedir. Daha sonra her talep karşılandıktan sonra eklenmesi gereken talepler de eklenerek yeni optimum rotaların oluşması sağlanmaktadır.

Örneğin, 25d olarak adlandırılan senaryo için planlama ufku başında bilinen ve Tablo 15'te gösterilen 20 noktalı örnek seçilerek istenilen amaç fonksiyonu için KDS çalıştırılır. Daha sonra, oluşturulan optimum rota üzerinde beşinci talep noktasından geçip altıncı talep noktasına giderken 1 numaralı nokta, altıncı talebi karşıladıktan sonra 11 numaralı nokta, yedinci talebi karşıladıktan sonra 21 numaralı nokta, sekizinci talebi karşıladıktan sonra 31 numaralı nokta ve dokuzuncu talebi karşıladıktan sonra 41 numaralı nokta eklenmektedir. Dinamik modellerde yeni eklenen veya çıkartılan talebin zamanlamasının önemli olması nedeni ile her amaç fonksiyonunda ve örneklem büyüklüğünde aynı yöntem uygulanarak, talep güncellemeleri beşinci talep karşılandıktan sonra dikkate alınmaya başlanmıştır. Yeni talepler ve bu taleplerin eklenme sıralaması Tablo 15'te kırmızı renk ile belirtilmiştir. Yeni eklenen taleplerin zaman penceresinde gösterimi Şekil 34'deki gibidir.



Şekil 34: Dinamik Senaryoda Yeni Eklenen Taleplerin Sıralaması

Geliştirilen dinamik modelin statik modele göre sağladığı mesafe, seyahat süresi ve yakıt tüketimi avantajları beş farklı amaç fonksiyonu açısından analiz edilmiştir. Analiz yapılırken statik modelde, araç rotaya başladıktan sonra gelen talepleri planlamaya dahil edememekte, yeni gelen talepler için ikinci bir araç tahsisi yapılarak yeni gelen talepleri karşılamak üzere statik modelin çalıştırılması gerekmektedir. Dinamik modelde ise araç rotaya çıktıktan sonra yeni eklenen talepler de planlamaya dahil edilmekte, ikinci araca gerek kalmamakta ve statik olarak iki defa rotalama yapılması yerine, araç merkez lokasyona tekrar dönmeden önceki her zaman dilimi içinde, yeni gelen taleplere cevap verilebilmektedir. Karşılaştırmalar yapılırken, dinamik modelin TPG'leri ile planlama ufku başında bilinen noktalar (A1) ve sonradan eklenen talepler (A2) için oluşturulan iki rotanın TPG'lerinin birbiri ile toplanmasıyla bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

#### 2.4.2.2.1 Dinamik Senaryolarda AF1'in Sonuçları

Geliştirilen dinamik modelin AF1'e göre analizi Tablo 17'deki gibidir. Dinamik model statik modele göre mesafe açısından yaklaşık %4,4-45,06 arasında, seyahat süresinde yaklaşık %4,17-28,83 arasında ve yakıt tüketiminde yaklaşık %4,85-42,37 arasında avantaj sağlamıştır. Dinamik bir şekilde talep güncellemelerinin dikkate alınması tüm örnekler de mesafede ortalama %31,87, seyahat süresinde ortalama %19,63 ve yakıt tüketiminde ortalama %28,38 avantaj sağlamaktadır. Bu hesaplamalar, talep güncellemesi oluşması durumunda oluşan talepler için ikinci bir aracın talepleri karşılamak üzere gönderilmesi gerekliliğine göre yapılmıştır.

Talep yapısının dinamik olması nedeni ile katlanılması gereken "bedel," planlama ufkunun başında tüm taleplerin biliniyor olması ile (araç yola çıktıktan sonra talep güncellemesinin olmaması durumu) araç rotada ilerlerken talep güncellemelerinin oluşması durumundaki senaryoların karşılaştırılması yapılarak elde edilmiştir. Talep

yapısının dinamik olması mesafede %0-7,24 arasında, seyahat süresinde %0-7,46 arasında ve yakıt tüketiminde yaklaşık %0-7,52 arasında TPG'lerde artışa neden olmuştur. 30 noktalı dinamik ve statik senaryolar, aynı rotayı oluşturduğu için bu örnekte ekstra maliyet oluşmamıştır.

Tablo 17: AF1'in Dinamik Senaryo Sonuçları

Satır Kodu	İşlem Gösterimi	Nokta sayısı (Araç No)	Mesafe (m)	Zaman (sn)	YT1 ( $\Phi=0$ ) (l)	YT2 ( $\Phi=Ort$ ) (l)	YT3 ( $\Phi=Gerç$ ) (l)
a		20ss (A1)	114407	13475	8,99	8,92	10,63
b		5ss (A2)	69800	7029	5,18	5,28	6,07
c	a + b	20ss (A1)+5s (A2)	184207	20504	14,17	14,2	16,7
d		25ds (A1)	126986	15915	9,89	10,34	11,73
e	$c \% d$	Fark (%)	45,06	28,83	43,28	37,33	42,37
w	$f \% d$	Bedel (%)	7,24	7,46	6,92	6,82	7,52
f		25ss (A1)	118417	14810	9,25	9,68	10,91
g		5ss (A2)	57642	5082	4,32	4,22	4,86
h	f + g	25ss (A1)+5s (A2)	176059	19892	13,57	13,9	15,77
i		30ds (A1)	125419	16341	9,92	9,91	11,9
j	$h \% i$	Fark (%)	40,38	21,73	36,79	40,26	32,52
x	$i \% k$	Bedel (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
k		30ss (A1)	125419	16341	9,92	9,91	11,9
l		5ss (A2)	24722	3148	1,9	1,83	2,15
m	k + l	30ss (A1)+5s (A2)	150141	19489	11,82	11,74	14,05
n		35ds (A1)	143815	18708	11,32	11,29	13,4
o	$m \% n$	Fark (%)	4,40	4,17	4,42	3,99	4,85
y	$n \% p$	Bedel (%)	6,33	6,20	6,09	7,01	5,59
p		35ss (A1)	135251	17615	10,67	10,55	12,69
r		7ss (A2)	81041	7635	6,06	6,31	7,07
s	p + r	35ss (A1)+7s (A2)	216292	25250	16,73	16,86	19,76
t		42ds (A1)	157143	20399	12,51	12,47	14,77
v	$s \% t$	Fark (%)	37,64	23,78	33,73	35,20	33,78
u		42ss (A1)	147216	19341	11,778	11,686	14,077
z	$t \% u$	Bedel (%)	6,74	5,47	6,21	6,71	4,92
A	$(e+j+o+v) /4$	Ort Fark (%)	31,87	19,63	29,56	29,20	28,38
B	$(w+x+y+z)/4$	Ort Bedel (%)	5,08	4,78	4,81	5,14	4,51

ss: Statik senaryo, ds: Dinamik senaryoyu ifade etmektedir. A1: Birinci araç, A2: İkinci Araç. Nokta sayıları ve dinamik senaryoda eklenen noktaların sıralaması Tablo 15'de gösterilmektedir.

#### 2.4.2.2.2 Dinamik Senaryolarda AF2'nin Sonuçları

AF2 ile oluşturulan 30 noktalı statik ve dinamik senaryolarda rotalar aynı sonuçları vermiştir. 25, 35 ve 42 noktalı senaryolarda dinamik model statik modele göre mesafe açısından %4,07-50,65 arasında, seyahat süresi açısından %5,01-38,61 arasında ve yakıt tüketimi açısından (YT3'e göre) %3,35-44,76 arasında daha iyi sonuçlar vermiştir. Tüm örnek büyüklüklerinde dinamik model statik modele göre mesafede ortalama %30,32, seyahat süresinde ortalama %20,45 ve yakıt tüketiminde ortalama %27,32 avantaj sağlamaktadır. Detaylı sonuçlar Tablo 18'deki gibi gösterilmektedir.

Planlama ufkunun başında tüm taleplerin bilindiği ve sonradan eklenen taleplerin karşılaştırılmasına göre, dinamik model mesafe açısından yaklaşık %0-19,14 arasında, seyahat süresi bakımından yaklaşık %0-10,62 arasında ve yakıt tüketimi açısından yaklaşık %0-15,05 arasında performans göstergelerinde artışa sebep olmuştur. 30 noktalı dinamik ve statik senaryolarda aynı rotalar oluşturulduğu için burada ekstra maliyet oluşmamıştır. Tüm örneklem büyüklükleri açısından talep yapısının dinamik olması performans göstergelerinde mesafe açısından ortalama %6,82, seyahat süresi açısından ortalama %4,36 ve yakıt tüketimi açısından ortalama %6,44 oranında artışa neden olmaktadır.

Tablo 18: AF2'nin Dinamik Senaryo Sonuçları

Satır Kodu	İşlem Gösterimi	Nokta sayısı (Araç No)	Mesafe (m)	Zaman (sn)	YT1 ( $\Phi=0$ ) (l)	YT2 ( $\Phi=Ort$ ) (l)	YT3 ( $\Phi=Gerç$ ) (l)
a		20ss (A1)	119362	13206	9,13	9,02	10,78
b		5ss (A2)	69800	7029	5,18	5,28	6,07
c	a + b	20ss (A1)+5s (A2)	189162	20235	14,31	14,3	16,85
d		25ds (A1)	125568	14599	9,77	9,91	11,64
e	c % d	Fark (%)	50,65	38,61	46,47	44,30	44,76
w	f % d	Bedel (%)	1,53	1,39	1,35	1,54	1,39
f		25ss (A1)	123670	14399	9,64	9,76	11,48
g		5ss (A2)	60657	4861	4,57	4,57	5,03
h	f + g	25ss (A1)+5s (A2)	184327	19260	14,21	14,33	16,51
i		30ds (A1)	134651	15788	10,34	10,46	12,57
j	h % i	Fark (%)	36,89	21,99	37,43	37,00	31,34
x	i % k	Bedel (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
k		30ss (A1)	134651	15788	10,34	10,46	12,57
l		5ss (A2)	26038	3137	1,96	1,97	2,25
m	k + l	30ss (A1)+5s (A2)	160689	18925	12,3	12,43	14,82
n		35ds (A1)	154403	18022	11,86	12	14,34
o	m % n	Fark (%)	4,07	5,01	3,71	3,58	3,35
y	n % p	Bedel (%)	6,59	5,44	5,42	5,45	9,30
p		35ss (A1)	144858	17092	11,25	11,38	13,12
r		7ss (A2)	90511	7118	7,29	7,33	8,16
s	p + r	35ss (A1)+7s (A2)	235369	24210	18,54	18,71	21,28
t		42ds (A1)	181520	20834	13,91	13,89	16,39
v	s % t	Fark (%)	29,67	16,20	33,29	34,70	29,84
u		42ss (A1)	152354	18833	11,964	12,123	14,246
z	t % u	Bedel (%)	19,14	10,62	16,27	14,58	15,05
<b>A</b>	<b>(e+j+o+v) /4</b>	<b>Ort Fark (%)</b>	<b>30,32</b>	<b>20,45</b>	<b>30,22</b>	<b>29,90</b>	<b>27,32</b>
<b>B</b>	<b>(w+x+y+z)/4</b>	<b>Ort Bedel (%)</b>	<b>6,82</b>	<b>4,36</b>	<b>5,76</b>	<b>5,39</b>	<b>6,44</b>

ss: Statik senaryo, ds: Dinamik senaryoyu ifade etmektedir. A1: Birinci araç, A2: İkinci Araç. Nokta sayıları ve dinamik senaryoda eklenen noktaların sıralaması Tablo 15'de gösterilmektedir.

#### 2.4.2.2.3 Dinamik Senaryolarda AF3'ün Sonuçları

AF3 için geliştirilen dinamik model ile statik modelin senaryolar üzerinden yapılan karşılaştırması Tablo 19'daki gibidir. Mesafe açısından dinamik model statik modele

göre yaklaşık %4,40-40,38 arasında daha iyi sonuçlar vermiştir. Seyahat süresi açısından dinamik model statik modele göre %4,17-23,86 arasında ve yakıt tüketimi açısından yaklaşık %4,85-33,81 arasında daha iyi sonuçlar vermiştir. Tüm örneklem büyüklükleri için yapılan karşılaştırmada dinamik model statik modele göre mesafe açısından ortalama %23,96, seyahat süresi açısından ortalama %15,55 ve yakıt tüketimi açısından ortalama %21,43 avantaj sağlamıştır.

Tablo 19: AF3'ün Dinamik Senaryo Sonuçları

Satır Kodu	İşlem Gösterimi	Nokta sayısı (Araç No)	Mesafe (m)	Zaman (sn)	YT1 ( $\Phi=0$ ) (l)	YT2 ( $\Phi=Ort$ ) (l)	YT3 ( $\Phi=Gerç$ ) (l)
a		20ss (A1)	116549	13453	8,88	9,02	10,48
b		5ss (A2)	69800	7029	5,18	5,28	6,07
c	a + b	20ss (A1)+5s (A2)	186349	20482	14,06	14,3	16,55
d		25ds (A1)	164060	18219	12,38	12,49	14,45
e	$c \% d$	<i>Fark (%)</i>	13,59	12,42	13,57	14,49	14,53
w	$f \% d$	<i>Bedel (%)</i>	38,54	23,02	33,84	29,03	32,45
f		25ss (A1)	118417	14810	9,25	9,68	10,91
g		5ss (A2)	57642	5082	4,32	4,22	4,86
h	f + g	25ss (A1)+5s (A2)	176059	19892	13,57	13,9	15,77
i		30ds (A1)	125419	16341	9,92	9,91	11,9
j	$h \% i$	<i>Fark (%)</i>	40,38	21,73	36,79	40,26	32,52
x	$i \% k$	<i>Bedel (%)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
k		30ss (A1)	125419	16341	9,92	9,91	11,9
l		5ss (A2)	24722	3148	1,9	1,83	2,15
m	k + l	30ss (A1)+5s (A2)	150141	19489	11,82	11,74	14,05
n		35ds (A1)	143815	18708	11,32	11,29	13,4
o	$m \% n$	<i>Fark (%)</i>	4,40	4,17	4,42	3,99	4,85
y	$n \% p$	<i>Bedel (%)</i>	5,80	6,59	6,09	7,63	5,35
p		35ss (A1)	135925	17551	10,67	10,49	12,72
r		7ss (A2)	81041	7635	6,06	6,31	7,07
s	p + r	35ss (A1)+7s (A2)	216966	25186	16,73	16,8	19,79
t		42ds (A1)	157817	20335	12,51	12,41	14,79
v	$s \% t$	<i>Fark (%)</i>	37,48	23,86	33,73	35,37	33,81
u		42ss (A1)	147515	19107	11,743	11,677	14,046
z	$t \% u$	<i>Bedel (%)</i>	6,98	6,43	6,53	6,28	5,30
<b>A</b>	$(e+j+o+v) /4$	<b><i>Ort Fark (%)</i></b>	<b>23,96</b>	<b>15,55</b>	<b>22,13</b>	<b>23,53</b>	<b>21,43</b>
<b>B</b>	$(w+x+y+z)/4$	<b><i>Ort Bedel (%)</i></b>	<b>12,83</b>	<b>9,01</b>	<b>11,62</b>	<b>10,73</b>	<b>10,77</b>

ss: Statik senaryo, ds: Dinamik senaryoyu ifade etmektedir. A1: Birinci araç, A2: İkinci Araç. Nokta sayıları ve dinamik senaryoda eklenen noktaların sıralaması Tablo 15'de gösterilmektedir.

Yeni eklenen taleplerin planlama ufkunun başında bilinerek oluşturulan rota ile araç yola çıktıktan sonra rota planına dahil edilen talepler için oluşturulan rota karşılaştırmasına göre 30 noktalı dinamik ve statik model aynı sonuçları vermiştir. Diğer senaryolarda performans göstergeleri, mesafe açısından yaklaşık %0-38,54 arasında, seyahat süresi açısından yaklaşık %0-23,02 arasında ve yakıt tüketimi açısından yaklaşık %0-32,45 arasında artmıştır. Dinamik talep güncellemelerinin

yarattığı ekstra bedel performans göstergelerinde mesafe açısından ortalama %12,83, seyahat süresi açısından ortalama %9,01 ve yakıt tüketimi açısından ortalama %10,77 olarak hesaplanmıştır.

#### 2.4.2.2.4 Dinamik Senaryolarda AF4'ün Sonuçları

AF4 amaç fonksiyonu ile yapılan dinamik ve statik senaryoların karşılaştırması Tablo 20'deki gibidir. Dinamik model mesafe açısından statik modele göre %4,40-44,84 arasında daha iyi sonuçlar vermiştir. Seyahat süresi bakımından %4,17-33,28 arasında ve yakıt tüketimi bakımından yaklaşık %4,85-37,46 arasında dinamik modelin sonuçları daha iyi olmuştur. Tüm örnek büyüklükleri ortalamasına göre dinamik model statik modele göre mesafe bakımında ortalama %29,4 seyahat süresi bakımında %20,57 ve yakıt tüketimi bakımında ortalama %26,27 avantaj sağlamaktadır.

Tablo 20: AF4'ün Dinamik Senaryo Sonuçları

Satır Kodu	İşlem Gösterimi	Nokta sayısı (Araç No)	Mesafe (m)	Zaman (sn)	YT1 ( $\Phi=0$ ) (l)	YT2 ( $\Phi=Ort$ ) (l)	YT3 ( $\Phi=Gerç$ ) (l)
a		20ss (A1)	116346	14174	8,95	8,87	10,59
b		5ss (A2)	69800	7029	5,18	5,28	6,07
c	a + b	20ss (A1)+5s (A2)	186146	21203	14,13	14,15	16,66
d		25ds (A1)	128515	15909	10,04	9,95	12,12
e	$c \% d$	Fark (%)	44,84	33,28	40,74	42,21	37,46
w	$f \% d$	Bedel (%)	4,09	1,69	6,02	7,92	6,50
f		25ss (A1)	123461	15645	9,47	9,22	11,38
g		5ss (A2)	57642	5082	4,32	4,22	4,86
h	f + g	25ss (A1)+5s (A2)	181103	20727	13,79	13,44	16,24
i		30ds (A1)	139587	17180	10,7	10,49	12,71
j	$h \% i$	Fark (%)	29,74	20,65	28,88	28,12	27,77
x	$i \% k$	Bedel (%)	11,29	5,13	7,86	5,85	6,81
k		30ss (A1)	125419	16341	9,92	9,91	11,9
l		5ss (A2)	24722	3148	1,9	1,83	2,15
m	k + l	30ss (A1)+5s (A2)	150141	19489	11,82	11,74	14,05
n		35ds (A1)	143815	18708	11,32	11,29	13,4
o	$m \% n$	Fark (%)	4,40	4,17	4,42	3,99	4,85
y	$n \% p$	Bedel (%)	5,80	6,59	6,09	7,63	5,35
p		35ss (A1)	135925	17551	10,67	10,49	12,72
r		7ss (A2)	83073	7790	6,18	6,23	7,22
s	p + r	35ss (A1)+7s (A2)	218998	25341	16,85	16,72	19,94
t		42ds (A1)	157861	20409	12,53	12,21	14,77
v	$s \% t$	Fark (%)	38,73	24,17	34,48	36,94	35,00
u		42ss (A1)	148896	19440	11,97	11,40	14,03
z	$t \% u$	Bedel (%)	6,02	4,98	4,67	7,06	5,24
A	$(e+j+o+v)/4$	Ort Fark (%)	29,43	20,57	27,13	27,81	26,27
B	$(w+x+y+z)/4$	Ort Bedel (%)	6,80	4,60	6,16	7,11	5,97

ss: Statik senaryo, ds: Dinamik senaryoyu ifade etmektedir. A1: Birinci araç, A2: İkinci Araç. Nokta sayıları ve dinamik senaryoda eklenen noktaların sıralaması Tablo 15'de gösterilmektedir.

Planlama ufkunun başında tüm taleplerin bilinmesi ve dinamik olarak araç yola çıktıktan sonra eklenen taleplerin performans göstergelerine etkisi şöyledir. Dinamik model, kat edilen mesafede %4,09-11,29 arasında, seyahat süresinde %1,69-6,59 arasında ve yakıt tüketiminde %5,24-6,81 arasında performans göstergelerini artırmaktadır. Dinamik talep yapısının etkisi tüm örneklem büyüklükleri dikkate alınarak hesaplanınca, mesafede ortalama %6,8, seyahat süresinde ortalama %4,6 ve yakıt tüketiminde ortalama %5,97 performans göstergesi artışı olduğu tespit edilmiştir.

#### 2.4.2.2.5 Dinamik Senaryolarda AF5'in Sonuçları

AF5'in dinamik ve statik senaryolardaki performans göstergeleri Tablo 21'deki gibi gösterilmektedir. Dinamik model statik modele göre mesafede %4,51-41,43 arasında, seyahat süresinde %3,89-23,30 arasında ve yakıt tüketiminde %4,71-34,15 arasında daha iyi sonuçlar sağladığı görülmektedir. Tüm örnek büyüklükleri açısından dinamik model statik modele göre mesafede ortalama %24,22, seyahat süresinde ortalama %15,22 ve yakıt tüketiminde ortalama %21,51 daha iyi sonuçlar vermektedir.

Planlama ufkunun başında tüm taleplerin biliniyor olması ve araç yola çıktıktan sonra yeni gelen taleplerin planlamaya dahil edilmesinin performans göstergelerine etkisi şöyledir; 30 noktalı dinamik ve statik modeller aynı rotayı oluşturarak herhangi performans göstergelerinde herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Diğer senaryolarda ise talep yapısının dinamik olması mesafe açısından %0-38,54 arasında, seyahat süresi açısından %0-23,02 arasında ve yakıt tüketimi açısından %0-32,45 arasında performans göstergelerinin artmasına neden olmuştur. Dinamik talep yapısının olması performans göstergelerine, mesafede ortalama %12,77, seyahat süresinde ortalama %8,72 ve yakıt tüketiminde ortalama %11,02 artışa sebep olmuştur.



Tablo 21: AF5'in Dinamik Senaryo Sonuçları

Satır Kodu	İşlem Gösterimi	Nokta sayısı (Araç No)	Mesafe (m)	Zaman (sn)	YT1 ( $\Phi=0$ ) (l)	YT2 ( $\Phi=Ort$ ) (l)	YT3 ( $\Phi=Gerç$ ) (l)
a		20ss (A1)	116549	13453	8,88	9,02	10,48
b		5ss (A2)	69800	7029	5,18	5,28	6,07
c	a + b	20ss (A1)+5s (A2)	186349	20482	14,06	14,3	16,55
d		25ds (A1)	164060	18219	12,38	12,49	14,45
e	c % d	Fark (%)	13,59	12,42	13,57	14,49	14,53
w	f % d	Bedel (%)	38,54	23,02	33,84	29,03	32,45
f		25ss (A1)	118417	14810	9,25	9,68	10,91
g		5ss (A2)	60478	5040	4,36	4,34	4,82
h	f + g	25ss (A1)+5s (A2)	178895	19850	13,61	14,02	15,73
i		30ds (A1)	126490	16370	9,98	10,17	11,86
j	h % i	Fark (%)	41,43	21,26	36,37	37,86	32,63
x	i % k	Bedel (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
k		30ss (A1)	126490	16370	9,98	10,17	11,86
l		5ss (A2)	24801	3169	1,91	1,83	2,15
m	k + l	30ss (A1)+5s (A2)	151291	19539	11,89	12	14,01
n		35ds (A1)	144769	18807	11,4	11,37	13,38
o	m % n	Fark (%)	4,51	3,89	4,30	5,54	4,71
y	n % p	Bedel (%)	6,20	6,59	6,24	5,28	5,77
p		35ss (A1)	136322	17644	10,73	10,8	12,65
r		7ss (A2)	81041	7635	6,06	6,31	7,07
s	p + r	35ss (A1)+7s (A2)	217363	25279	16,79	17,11	19,72
t		42ds (A1)	158258	20502	12,59	12,52	14,7
v	s % t	Fark (%)	37,35	23,30	33,36	36,66	34,15
u		42ss (A1)	148803	19478	11,97	12,207	13,886
z	t % u	Bedel (%)	6,35	5,26	5,18	2,56	5,86
A	(e+j+o+v)/4	Ort Fark (%)	24,22	15,22	21,90	23,64	21,51
B	(w+x+y+z)/4	Ort Bedel (%)	12,77	8,72	11,32	9,22	11,02

ss: Statik senaryo, ds: Dinamik senaryoyu ifade etmektedir. A1: Birinci araç, A2: İkinci Araç. Nokta sayıları ve dinamik senaryoda eklenen noktaların sıralaması Tablo 15'de gösterilmektedir.

### 2.4.3 Geliştirilen Karar Destek Sisteminin Temel Performans Göstergelerine

#### Faydası

Yakıt tüketimini etkileyen en önemli faktörlerden ikisinin hız ve yol eğimi olduğu Şekil 20'de gösterilmiştir. Uygulama alanının coğrafi özelliklerine bağlı olarak, yollardaki yükselti farkının Ankara gibi fazla olduğu bölgelerde, yakıt tüketimi hesaplanırken eğimin dikkate alınması YT3( $\Phi=Gerç$ ) statik problemlerde Tablo 16'de gösterildiği üzere eğimin dikkate alınmadığı duruma YT1( $\Phi=0$ ) göre %1,15'e kadar yakıt tüketimi tasarrufu sağlamaktadır. Diğer yandan, ayrıtlara özgü ortalama eğim ve hızların dikkate alınarak yakıt tüketiminin hesaplanması YT2( $\Phi=Ort$ ) ile YT3( $\Phi=Gerç$ )'nin karşılaştırılması yapılırsa YT3( $\Phi=Gerç$ ) %1,07'ye kadar daha iyi yakıt tüketimi sonuçları vermektedir. YT3( $\Phi=Gerç$ )'nin statik problemlerdeki avantajı talep sayısı arttıkça ortaya çıkmaktadır. Nitekim, 20 ve 25 talepli örneklerde YT1( $\Phi=0$ ) ile

YT3( $\phi$ =Gerç) aynı rotaları oluşturmuştur, ancak talep sayısının arttığı senaryolarda YT3( $\phi$ =Gerç)'ün yakıt tüketimi tasarrufu oranı talep sayısı arttıkça artmıştır. Diğer yandan kat edilen mesafe ile yakıt tüketimi arasında doğrusal bir ilişki tespit edilememiştir. Yani mesafe minimizasyonu yapılan AF1'in mesafe değerleri ile AF5'in mesafe değerleri yakıt tüketimi açısından karşılaştırılınca AF5, %1,84'e kadar daha fazla mesafeye sebep olurken %0-1,39 arasında daha az yakıt tüketimi sağlamıştır.

Tablo 22: Dinamik ve Statik Modellerin Performans Göstergelerine Ortalama Etkisi

Amaç Fonksiyonu	İki Turlu Statik Senaryoların (%) Fark Ortalaması					Tek Turlu Dinamik Senaryoların (%) Bedel Ortalaması				
	Mesafe	Zaman	YT1 ( $\Phi=0$ )	YT2 ( $\Phi=Ort$ )	YT3 ( $\Phi=Gerç$ )	Mesafe	Zaman	YT1 ( $\Phi=0$ )	YT2 ( $\Phi=Ort$ )	YT3 ( $\Phi=Gerç$ )
AF 1	31,87	19,63	29,56	29,2	28,38	5,08	4,78	4,81	5,14	4,51
AF 2	30,32	20,45	30,22	29,9	27,32	6,82	4,36	5,76	5,39	6,44
AF 3	23,96	15,55	22,13	23,53	21,43	12,83	9,01	11,62	10,73	10,77
AF 4	29,43	20,57	27,13	27,81	26,27	6,8	4,6	6,16	7,11	5,97
AF 5	24,22	15,22	21,9	23,64	21,51	12,77	8,72	11,32	9,22	11,02
<b>Ortalamaların Ortalaması</b>	<b>27,96</b>	<b>18,28</b>	<b>26,19</b>	<b>26,82</b>	<b>24,98</b>	<b>8,86</b>	<b>6,29</b>	<b>7,93</b>	<b>7,52</b>	<b>7,74</b>

Dinamik senaryolarda, planlama ufkunun başında bilinen talepler için oluşturulan statik rota ile sonradan eklenen rasgele taleplerin dinamik rotaların TPG'lere etkisi karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre, kat edilen mesafede %0-38 arasında, seyahat süresinde %0-23 arasında ve yakıt tüketiminde %0-32 arasında iyileştirmeler olacağı tespit edilmiştir. Senaryolardaki tüm nokta sayıları için yapılan karşılaştırmanın özeti Tablo 22'de sunulmaktadır. Bu tabloda, talep güncellemelerinin dikkate alınmaması durumu, statik senaryo ile talep güncellemelerinin dikkate alınması durumu, dinamik senaryo hesaplama sonuçlarının ortalamalara göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Statik senaryoda talep güncellemeleri dikkate alınmadığı için ikinci bir aracın daha operasyona katılması gerekliken, dinamik senaryoda talep güncellemeleri dikkate alınarak tek araç ile tüm talepler karşılanabilmektedir. Modelin statik olması sırasıyla ortalama mesafede %27,96, seyahat süresinde %18,28 ve gerçek eğim ile yakıt tüketimi hesaplamasında %24,98 artışa neden olmuştur. Modelin dinamik olması durumunda ise sırasıyla ortalama mesafede %8,86, seyahat süresinde %6,29 ve gerçek eğim ile yakıt tüketimi hesaplamasında %7,74 artışa neden olmuştur.

Geliştirilen dinamik model ve arayüz yalnızca mesafeyi minimize edebilen değil, seyahat süresini ve yakıt tüketimini de dikkate alarak rotalar oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Kullanıcı dostu olarak geliştirilmiş olan arayüz ile önceden belirlenen amaca göre, herhangi bir programlama tecrübesi olmayan birisinin bile gelen talepler için kolaylıkla rota oluşturabileceği bir sistem oluşturulmuştur.

## 2.5 UYGULAMA SONUCU

Bu bölümde, ARP alanında, yakıt tüketimi hesaplamalarında dikkate alınan faktörler, CBS'lerin kullanım amacı ve DGSP konularında bir literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması neticesinde elde edilen bulgular doğrultusunda, dinamik ve statik GSP problemini 5 farklı amaç fonksiyonu ile çözebilen grafiksel ara yüzlü bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonlarından üç tanesi yakıt tüketiminin minimize edilmesi için geliştirilmiştir. Bu amaç fonksiyonlarında kullanılan yakıt tüketim fonksiyonlarında, noktalar arası değişken hızları dikkate alarak; değişken hızlar ile birlikte noktalar arası ortalama eğimleri dikkate alarak ve noktalar arası değişken hızlar ile birlikte gerçekçi eğimleri dikkate alarak yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır. Gerçekçi eğimi dikkate alarak yakıt tüketiminin hesaplanması ile oluşturulan rotalar, mesafe, seyahat süresi ve yakıt tüketimi açısından statik ve dinamik senaryolara göre diğer amaç fonksiyonları ile karşılaştırılmıştır.

Rasgele seçilen noktalar ile geliştirilen senaryolara göre elde edilen sonuçlar, geliştirilen modelin şehir içi dağıtım problemlerinde yakıt tüketimini ve dolayısıyla, sera gazı emisyonunu azaltıcı etkisi olduğunu göstermektedir. Gerçekçi eğimleri dikkate alarak hesaplanan yakıt tüketimi değerleriyle oluşturulan optimum rotalarda, eğim dikkate alınmadan oluşturulan rotalara göre %1,15'e kadar yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Diğer yandan, gerçekçi eğimleri dikkate alarak hesaplanan yakıt tüketimine göre oluşturulan optimum rotalar, ayrıtlara özgü ortalama eğimleri dikkate alarak hesaplanan yakıt tüketimi ile oluşturulan optimum rotalara göre %4,31'e kadar yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Şehir içi dağıtım planlanması alanında talep güncellemelerine dinamik bir şekilde cevap verilebilmesinin sağlanabilmesi için, bu çalışma kapsamında kullanıcı dostu olarak geliştirilen KDS ile yaklaşık %32'ye kadar yakıt tüketimi tasarrufu sağlanabilmektedir.

Bu bölümdeki çalışmanın kısıtları, Google APU'dan ücretsiz alınabilecek sorgu sayısının günlük 1000 adet olması, mesafe sorgusunda maksimum 25 başlangıç, 25 varış noktası olması ve oluşturulan gerçekçi eğim verisinin altı milyon satırdan fazla olması nedeni ile anlık işlem yapılamamasıdır. Gelecek çalışmalarda, ayrıtlara özgü hızlar alınırken yol segmentasyonu yapılarak daha gerçekçi hızlar ile yakıt tüketimi hesaplanabilir, veri tabanı sistemi ile çalışılarak anlık hesaplamalar hızlı bir şekilde yapılabilir ve heterojen araçlar kullanılarak yakıt tüketim değerleri analiz edilebilir.

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, dinamik şehir içi dağıtım problemleri için sürdürülebilir lojistik yönetimi kapsamında kullanılacak bir karar destek sisteminin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Bu doğrultuda, şehir içi lojistiğinde dikkate alınan sürdürülebilirlik göstergelerinin iktisadi, çevresel ve sosyal göstergelere etkisi ile mevcut teknolojiler kullanılarak geliştirilen bir KDS'nin lojistik performans göstergelerine etkisinin analizi yapılmıştır. Çalışmanın genel amacı, bu amaca ulaşmak için belirlenen iki araştırma problemi şöyle tanımlanmıştır.

Dinamik şehir içi dağıtım problemleri için sürdürülebilir lojistik yönetimi kapsamında kullanılacak bir karar destek sistemi geliştirmek.

Birinci araştırma problemi, sürdürülebilir şehir içi araç rotalama probleminde temel lojistik amaçları ve performans göstergelerini tanımlamak, literatürde yer alan karar destek modellerini analiz etmektir. İkinci araştırma problemi, gezgin satıcı probleminde, kapsamlı yakıt tüketimi ve dinamik müşteri talebini dikkate almanın performans göstergelerine etkisini araştırmaktır. Genel amaca ulaşmak için; birinci bölümde, birinci araştırma problemi, ikinci bölümde de ikinci araştırma problemi ele alınmıştır. Birinci bölümden elde edilen bulgular ışığında, ikinci bölümde bir KDS geliştirilmiştir. Birinci bölümde yapılan literatür taraması ve ikinci bölümde geliştirilen KDS'den elde edilen bulgular ve sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Şehir içi SARP alanında yapılan literatür taraması çalışmaları birinci bölümde anlatılmıştır. Bu bölümde yapılan literatür taraması çalışmasına en yakın çalışma, Kim vd. (2015) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, amaç fonksiyonları; çevresel maliyet, kat edilen mesafe ve seyahat süresi olarak incelenmiş. Model tipleri; KTP, stokastik ve dinamik olarak; çözüm yöntemlerini de meta-sezgisel, yeni sezgisel, kesin, tasarruf, ve kümeleme olarak incelemiştir. Son yıllarda SARP alanda yapılan çalışmaların sayısında önemli bir artış yaşanmış ancak, yeşil veya sürdürülebilir ARP'de iktisadi, çevresel ve sosyal boyutların dikkate alınmasının, temel performans göstergelerine etkisini araştıran bir literatür taraması çalışmasına rastlanılmamıştır. Şehir içi SARP alanında, sürdürülebilirlik kavramı çerçevesinde yapılan çalışmaların dikkate aldıkları performans göstergeleri, kullandıkları veri tipi, uyguladıkları çözüm yöntemleri ve elde ettikleri

bulguların incelendiği bir literatür taraması yapılarak birinci bölümde sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taraması, şehir içi SARP alanında yayımlanmış araştırma makalelerinin değerlendirilme yöntemi ve daha önce yayımlanan literatür taraması çalışmalarının araştırma metodolojileri yönünden farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Daha önce yayımlanan literatür taraması çalışmalarında, incelenen çalışmaların sonuçlarına yer verilmemiş ve sürdürülebilirlik çerçevesinden konuya bakılmamıştır. Bu farklılığın, literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yapılan literatür taraması sonuçlarına göre, sürdürülebilir veya yeşil ARP alanında yapılan çalışmaların amacı, iktisadi, çevresel ve sosyal kısıtlar içinde bir denge noktasını bulmak değil, mümkün olduğu kadar iktisadi boyutu göz önünde bulundurarak çevresel ve sosyal boyutlardaki zararların azaltılmasıdır. Nitekim, incelenen makalelerde Elkington'un (2001) ÜBY'si için denge noktasının hesaplanması ile ilgili bir çalışmaya da rastlanılmamıştır. Bilinen denge noktası hesaplamasının olmaması nedeniyle, ARP alanında geliştirilen modellerin ve çeşitli ARP türlerinin sürdürülebilir olup olmadığını söylemek mümkün değildir. Bu nedenle, sunulan mal veya hizmetin yaşam döngüsü (life-cycle) boyunca yarattığı değer ve zarara bakılarak yaşam döngüsü analizi (Life Cycle Assessment Analysis) yapılması gerekmektedir. Ayrıca, "yeşil" olarak adlandırılan çalışmaların önemli bir kısmının, yakıt tüketimini azalttığı için yeşil olarak adlandırıldığı tespit edilmiştir.

İktisadi, çevresel ve sosyal boyutların sınıflandırılmasında Popovic vd. (2018) ile Bloemhof ve Soysal'ın (2017) somut performans göstergeleri dikkate alınmıştır. Yapılan makale incelemelerinde, iktisadi ve çevresel boyutu dikkate alan çalışmalar "yeşil", tüm boyutları dikkate alan çalışmalar ise "sürdürülebilir" olarak nitelendirilmiştir. Yeşil olarak nitelendirilmiş olan çalışmalarda lojistik maliyetlerinde %0,5-23 arasında iyileşme sağlandığı tespit edilirken, sürdürülebilir olarak nitelendirilen çalışmalarda lojistik maliyetlerinin %2,3-38,3 arasında iyileştiği tespit edilmiştir. Sürdürülebilir olarak nitelendirilen çalışma sayısı 52 adettir ve bu çalışmalarda sosyal boyut kapsamında en fazla dikkate alınan performans göstergesi, zaman olarak tespit edilmiştir. Sosyal boyut içerisinde zaman göstergesi dışında kalan göstergeler çok az dikkate alınmıştır.

Son yıllarda sürdürülebilirlik kavramının öne çıkması ile birlikte, şehir içi SARP alanında yapılan çalışmalarda kat edilen mesafe, lojistik maliyetleri ve araç kullanım oranlarının azaltılmasının yanı sıra enerji kullanımının azaltılması da amaçlanmaya başlanmıştır. Ancak, mevcut modellerde kullanılan varsayımlar ve dikkate alınan faktörler, ulaşılan sonuçların gerçekçiliğinin önünde bir engel olarak görünmektedir. Örneğin, enerji tüketimi hesaplanırken, yük, hız, araç tipi ve yol eğimi faktörlerin dikkate alınmaması, elde edilen sonuçların gerçekçiliği konusunda kuşkuya neden olmaktadır. Dolaylı olarak, adı geçen faktörler ihmal edilerek yapılan enerji tüketimi ve sera gazı salınımı miktarları tahminleri de hatalı değerlendirmelere sebep olmaktadır.

İkinci bölümde, lojistik yönetiminde kullanılan teknolojik kaynakların sunduğu noktalar arası hız ve gerçek eğim verisi kullanılarak, yakıt tüketimini, kat edilen mesafeyi ve seyahat süresini minimize edebilen bir KDS geliştirilmiştir. Statik ve dinamik problem tiplerini çözebilen KDS’de talep güncellemeleri dikkate alınabilmektedir. Kullanılan teknolojik verilerin sağladığı avantajın gösterilebilmesi için, beş farklı amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bu amaç fonksiyonları; mesafe, seyahat süresi, noktalar arası hızlar dikkate alınarak hesaplanan yakıt tüketimi  $YT1(\phi=0)$ , noktalar arası hızlar ve ortalama eğim dikkate alınarak hesaplanan yakıt tüketimi  $YT2(\phi=Ort)$  ile noktalar arası hızlar ve gerçek eğim dikkate alınarak hesaplanan yakıt tüketimi  $YT3(\phi=Gerç)$  minimizasyonudur. İkinci bölümde yapılan çalışmanın daha önce yapılan çalışmalardan farkı şöyledir. Tavares vd. (2009), Scora vd. (2015) ve Pamucar vd. (2016) yol eğimini ortalama olarak dikkate alıp, statik problemlerin çözümünde kullanmışlardı. Bu çalışmada ise, gerçek yol eğimlerini dikkate alarak dinamik problemde yakıt tüketimi minimizasyonu yapılmıştır. Bilindiği kadarıyla, ARP alanında noktalar arası gerçek eğim ve hızlar dikkate alınarak yakıt tüketiminin hesaplandığı çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışmanın ikinci bölümünde sunulan, kapsamlı yakıt tüketimi hesaplayarak dinamik talep güncellemelerini dikkate alan bir KDS’nin geliştirilmesi, literatüre katkı sağlayacaktır. Noktalar arası gerçekçi hızlar, Google APU hizmeti kullanılarak elde edilmiştir. İstenilen rotada daha önce hareket eden araçların hızlarının ortalamasının kullanıcıya sunuluyor olması nedeni ile hız verisinin elde edilmesi aşamasında nesnelere internetinden faydalandığı söylenebilir. Ankara merkez ilçelerde bulunan ASM’lerden laboratuvar örneği toplama senaryosu için

geliştirilen KDS'nin, gerçek hız verileri ve gerçek eğim verileri kullanılarak toplam yakıt tüketimine sağladığı katkı gösterilmiştir.

Statik ve dinamik olarak, farklı nokta büyüklükleri için ASM'lerden laboratuvar örneği toplama senaryolarının sonuçlarına göre, YT3( $\phi$ =Gerç) statik senaryoda %1,15'e kadar yakıt tasarrufu ve dolayısıyla sera gazı salınımını azaltabilmektedir. Nokta sayısının 20-25 olduğu senaryolarda mesafe ve diğer yakıt tüketim minimizasyonu amaç fonksiyonları ile geliştirilen model, aynı rotalar oluşturmuştur; ancak, nokta sayısının arttığı durumlarda modelin avantaj sağladığı gösterilmektedir. Dinamik senaryolardaki sonuçlara göre, kat edilen mesafe %0-38 arasında, seyahat süresi %0-23 arasında ve yakıt tüketimi %0-32 arasında olumlu etki sağlanmaktadır. 30 noktalı statik ve dinamik senaryolarda, yakıt tüketimi ortalama eğimler ile hesaplanan amaç fonksiyonu hariç tüm amaç fonksiyonları birbiri ile aynı rotaları oluşturmuşlardır. Dinamik senaryolardaki yapılan talep güncellemelerinin, aracın daha önce ziyaret ettiği noktada olup olmaması veya yeni eklenen talebin gitmek üzere olduğu istikamette olup olmaması elde edilen sonuçları doğrudan etkilemektedir. Rastgele seçilen noktalar ile oluşturulan senaryolarda çeşitli nümerik analizler yapılarak modelin katkısı ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu analizler Tablo 22'de özetlendiği üzere, statik senaryoda talep güncellemeleri dikkate alınmadığı için ikinci bir aracın daha operasyona katılması gerekiyken, dinamik senaryoda talep güncellemeleri dikkate alınarak tek araç ile tüm talepler karşılanabilmektedir. Modelin statik olması sırasıyla mesafede ortalama %27,96, seyahat süresinde ortalama %18,28 ve gerçek eğim ile yakıt tüketimi hesaplamasında ortalama %24,98 artışa neden olmuştur. Modelin dinamik olması durumunda ise sırasıyla ortalama mesafede %8,86, seyahat süresinde %6,29 ve gerçek eğim ile yakıt tüketimi hesaplamasında %7,74 artışa neden olmuştur.

Yakıt tüketimi hesaplamalarında, noktalar arası eğimin gerçekçi bir şekilde dikkate alındığı durumun, alınmadığı duruma göre karşılaştırılması Tablo 16'te sunulmaktadır. Bu karşılaştırmaya göre, YT3( $\phi$ =Gerç) ile YT1( $\phi$ =0) 20 ve 25 noktalı statik senaryolarda aynı rotaları oluşturmuştur. YT3( $\phi$ =Gerç), 30 noktalı örnekte %0,3, 35 noktalı örnekte %0,5 ve 42 noktalı örnekte %1,15 YT1( $\phi$ =0)'ye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Nokta sayısının artması ve rotanın oluşturulduğu coğrafyanın yükselti özelliklerine göre, eğimin dikkate alınarak yakıt tüketiminin hesaplanması daha büyük



nokta sayısı olan örneklerde daha iyi sonuçlar verme potansiyeline sahiptir. Diğer yandan, YT2( $\phi$ =Ort), YT3( $\phi$ =Gerç)'ye göre, 20 noktalı örnekte %0,9, 25 noktalı örnekte %4,3, 30 noktalı örnekte %0,3, 35 noktalı örnekte %0,5 ve 42 noktalı örnekte %1 daha kötü sonuçlar vermiştir. Bir başka deyişle, ortalama eğimin dikkate alınması durumu, alınmamasına göre daha kötü sonuçlar vermektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde sunulan KDS'de, yakıt tüketimi minimizasyonu yapabilen dinamik bir GSP ele alınmıştır. ARP alanında problem çeşitliliğinin çok fazla olması nedeniyle, bu çalışma kapsamında geliştirilen model diğer ARP türlerinde uygulanarak, sağlanacak yakıt tüketimi tasarrufunun artırılacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında senaryo uygulanma alanı olarak seçilen Ankara'da rotalardaki coğrafi yükselti farklılıkları fazladır. Ankara gibi yükselti farkı fazla olan şehirlerde, bu çalışma kapsamında önerilen yakıt tüketimi hesaplama yöntemi, sürdürülebilir ve yeşil ARP alanında yeni bir çalışma konusu oluşturabilecektir. Diğer yandan, çevrimiçi veri sağlayıcıları ile ticari anlaşmalar sağlanarak, anlık verilerin kullanıcılar ile paylaşılması ile oluşturulacak rota optimizasyonları ve rekabet avantajına sebep olacak faktörlerin dikkate alınarak problemlerin çözülmesi daha etkin sonuçlar verecektir. Kullanıcı dostu olarak geliştirilen grafiksel arayüz, şehir içi lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmaların günlük rota problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Böylece, bu çalışma kapsamında geliştirilen KDS, işletmeler için ticari anlamda katma değer yaratırken, fosil yakıt tüketiminin azaltılmasına olanak sağlayarak, çevresel ve sosyal olarak da olumlu etkiler yaratacaktır.

İşletmeler için rekabet avantajı sağlayabilen lojistik yönetimi alanında karşılaşılan problemler, operasyonel seviyeden stratejik seviyeye kadar olan tüm yönetim seviyelerini ilgilendirebilen bir alandır. Bu durumun bir sonucu olarak ARP alanında yapılan çalışmaların çeşitliliği de çok fazladır. Bu çalışmanın birinci bölümünde sunulan literatür taramasında, ARP türleri gösterilmiştir. ARP çeşitliliğinin çok fazla olması nedeniyle, makale taramasının sınırları birinci bölümde gösterildiği üzere, sürdürülebilirlik, yeşil, ARP, lojistik ve sera gazı gibi anahtar kelimeler ile sınırlandırılmıştır. Makale taraması yapılırken Web of Science temel koleksiyonları kullanılmıştır ve bildiriler ile lisansüstü tezleri tarama kapsamı dışında tutulmuştur. Gelecek çalışmalarda, lisansüstü tezlerinin de dahil edildiği veya yalnızca lisansüstü

tezlerin incelendiği bir literatür taraması yapılabilir. Bu çalışmanın kısıtları, doktora tezleri, bildiriler ve Şubat 2019'dan sonra yayınlanan makalelerin inceleme dışında tutulmasıdır.

Gelecekte SARP alanında yapılacak çalışmalar için birçok araştırma problemi bulunmaktadır. Gerçekçi sonuçlara ulaşmak için sosyal boyutu dikkate alarak geliştirilen modeller ve sürücü davranışlarını dikkate alan modellere literatürde çok fazla rastlanılmamaktadır. İncelenen çalışmaların hiçbirinde, işçi sağlığı ve güvenliği, sürücülerin iş tatmini, sürücülerin çalışma şekli (tam-yarı zamanlı), sürücülerin gelir durumu, risk değerlendirmesi, sendikalılık durumu gibi göstergelerin dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Gelecek çalışmalarda, bu eksiklikler dikkate alınarak şehir içi lojistik işletmelerinin problemlerine çözüm üretilebilir. Seyahat süresi ve yakıt tüketimi performans göstergelerinin öneminin fazla olduğu şehir içi lojistik firmaları için, Google haritalar tarafından sağlanan noktalar arası anlık hızlar alınarak, rota planlarını oluşturulması işletme amaçları doğrultusunda bir avantaj yaratabilecektir. Ayrıca, dinamik talep miktarı, müşteri lokasyonu ve stokastik seyahat sürelerini dikkate alarak gerçek hayat problemlerinin çözülmesi, gelecek çalışmalarda şehir içi lojistikte karşılaşılan sorunlara önemli bir ışık tutacaktır. Yakıt tüketimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de kullanılan araç tipidir. Heterojen araç filosu, yük ve yol eğimi dikkate alınarak yakıt tüketiminin hesaplanması, lojistik şirketlerinin sorunlarından birisi olan yakıt tüketimi ve sera gazı emisyonu probleminin çözülmesine yardımcı olacaktır.

## KAYNAKÇA

- ABBATECOLA, L., FANTI, M. P., MANGINI, A. M. ve UKOVICH, W. 2016. A Decision Support Approach for Postal Delivery and Waste Collection Services. *Ieee Transactions on Automation Science and Engineering*, 13, 1458-1470.
- AGENCY, E. E. 2018. *Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)* [Online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> [Accessed 03.07.2018 2018].
- AKBEN, İ. ve BAHÇECİ, A. P. 2018. Kentsel Lojistik: Gaziantep Örneği. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5, 211-229.
- AKEB, H., MONCEF, B. ve DURAND, B. 2018. Building a collaborative solution in dense urban city settings to enhance parcel delivery: An effective crowd model in Paris. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 119, 223-233.
- AKYOL, D. E. ve DE KOSTER, R. B. M. 2018. Determining time windows in urban freight transport: A city cooperative approach. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 118, 34-50.
- ALEXIOU, D. ve KATSAVOUNIS, S. 2015. A multi-objective transportation routing problem. *Operational Research*, 15, 199-211.
- ALINAGHIAN, M. ve NADERIPOUR, M. 2016. A novel comprehensive macroscopic model for time-dependent vehicle routing problem with multi-alternative graph to reduce fuel consumption: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 210-222.
- ALONSO-MORA, J., SAMARANAYAKE, S., WALLAR, A., FRAZZOLI, E. ve RUS, D. 2017. On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114, 462-467.
- ANDERLUH, A., HEMMELMAYR, V. C. ve NOLZ, P. C. 2017. Synchronizing vans and cargo bikes in a city distribution network. *Central European Journal of Operations Research*, 25, 345-376.
- ANDO, N. ve TANIGUCHI, E. 2006. Travel time reliability in vehicle routing and scheduling with time windows. *Networks & Spatial Economics*, 6, 293-311.
- ANDROUTSOPOULOS, K. N. ve ZOGRAFOS, K. G. 2017. An integrated modelling approach for the bicriterion vehicle routing and scheduling problem with environmental considerations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 82, 180-209.
- ANSARIPOOR, A. H., OLIVEIRA, F. S. ve LIRET, A. 2014. A risk management system for sustainable fleet replacement. *European Journal of Operational Research*, 237, 701-712.
- ARAUJO, V., HAMACHER, S. ve SCAVARDA, L. F. 2010. Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils. *Bioresource Technology*, 101, 4415-4422.
- ARNOLD, F., CARDENAS, I., SÖRENSEN, K. ve DEWULF, W. 2018. Simulation of B2C e-commerce distribution in Antwerp using cargo bikes and delivery points. *European Transport Research Review*, 10, 2.
- ARTMEIER, A., HASELMAYR, J., LEUCKER, M. ve SACHENBACHER, M. The shortest path problem revisited: Optimal routing for electric vehicles. Annual Conference on Artificial Intelligence, 2010. Springer, 309-316.
- BANK, T. W. 2018a. *Fossil Fuel Energy Consumption (% of Total)* [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS> [Accessed 03.07.2018 2018].

- BANK, T. W. 2018b. *Urban population (% of total)* [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> [Accessed 03.07.2017 2018].
- BANK, W. 2018c. *Freight Transport Distance* [Online]. The World Data Bank. Available: <http://databank.worldbank.org/data/source/world-development-indicators> [Accessed 06.06.2018].
- BARCO, J., GUERRA, A., MUNOZ, L. ve QUIJANO, N. 2017. Optimal Routing and Scheduling of Charge for Electric Vehicles: A Case Study. *Mathematical Problems in Engineering*.
- BEHNKE, M. ve KIRSCHSTEIN, T. 2017. The impact of path selection on GHG emissions in city logistics. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 106, 320-336.
- BEKTAŞ, T., DEMİR, E. ve LAPORTE, G. 2016. Green vehicle routing. *Green Transportation Logistics*. Springer.
- BEKTAŞ, T. ve LAPORTE, G. 2011. The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45, 1232-1250.
- BELL, W. J., DALBERTO, L. M., FISHER, M. L., GREENFIELD, A. J., JAIKUMAR, R., KEDIA, P., MACK, R. G. ve PRUTZMAN, P. J. 1983. Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces*, 13, 4-23.
- BELLMAN, R. 1962. Dynamic programming treatment of the travelling salesman problem. *Journal of the ACM (JACM)*, 9, 61-63.
- BELTRAMI, E. J. ve BODIN, L. D. 1974. Networks and vehicle routing for municipal waste collection. *Networks*, 4, 65-94.
- BEN MOHAMED, I., KLIBI, W., LABARTHE, O., DESCHAMPS, J. C. ve BABAI, M. Z. 2017. Modelling and solution approaches for the interconnected city logistics. *International Journal of Production Research*, 55, 2664-2684.
- BEN TICHA, H., ABSI, N., FEILLET, D. ve QUILLIOT, A. 2018. Vehicle routing problems with road-network information: State of the art. *Networks*, 72, 393-406.
- BENT, R. W. ve VAN HENTENRYCK, P. 2004. Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers. *Operations Research*, 52, 977-987.
- BJÖRKLUND, M. ve JOHANSSON, H. 2018. Urban consolidation centre—a literature review, categorisation, and a future research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48, 745-764.
- BLOEMHOF, J. M. ve SOYSAL, M. 2017. Sustainable food supply chain design. *Sustainable Supply Chains*. Springer.
- BOGH, M. B., MIKKELSEN, H. ve WOHLK, S. 2014. Collection of recyclables from cubes - A case study. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48, 127-134.
- BOSCHETTI, M. ve MANIEZZO, V. 2015. A set covering based matheuristic for a real-world city logistics problem. *International Transactions in Operational Research*, 22, 169-196.
- BRAEKERS, K., RAMAEKERS, K. ve VAN NIEUWENHUYSE, I. 2016. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.
- BRUNDTLAND, G. H., KHALID, M., AGNELLI, S., AL-ATHEL, S. ve CHIDZERO, B. J. N. Y. 1987. Our common future.
- BUHRKAL, K., LARSEN, A. ve ROPKE, S. 2012. The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 241-254.

- CAGLIANO, A. C., DE MARCO, A., MANGANO, G. ve ZENEZINI, G. 2017. Levers of logistics service providers' efficiency in urban distribution. *Operations Management Research*, 10, 104-117.
- CALVET, L., WANG, D., JUAN, A. ve BOVÉ, L. 2019. Solving the multidepot vehicle routing problem with limited depot capacity and stochastic demands. *International Transactions in Operational Research*, 26, 458-484.
- CARRABS, F., CERULLI, R. ve SCIOMACHEN, A. 2017. An exact approach for the grocery delivery problem in urban areas. *Soft Computing*, 21, 2439-2450.
- CATTARUZZA, D., ABSI, N. ve FEILLET, D. 2018. Vehicle routing problems with multiple trips. *Annals of Operations Research*, 271, 127-159.
- CATTARUZZA, D., ABSI, N., FEILLET, D. ve GONZÁLEZ-FELIU, J. 2017. Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6, 51-79.
- CERULLI, R., DAMERI, R. P. ve SCIOMACHEN, A. 2017. Operations management in distribution networks within a smart city framework. *Ima Journal of Management Mathematics*, 29, 189-205.
- CHANG, N. B. ve WEI, Y. L. 2002. Comparative study between the heuristic algorithm and the optimization technique for vehicle routing and scheduling in a solid waste collection system. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 19, 41-65.
- CHARRIS, E. L. S., MONTOYA-TORRES, J. R. ve GUERRERO-RUEDA, W. 2019. A decision support system for technician routing with time windows. *Academia Revista Latinoamericana de Administración*.
- CHEBBI, O. ve CHAOUACHI, J. 2016a. A Decentralized Management Approach for On-Demand Transit Transportation System. In: ABRAHAM, A., WEGRZYŃWOLSKA, K., HASSANIEN, A. E., SNASEL, V. ve ALIMİ, A. M. (eds.) *Proceedings of the Second International Afro-European Conference for Industrial Advancement*.
- CHEBBI, O. ve CHAOUACHI, J. 2016b. Reducing the wasted transportation capacity of Personal Rapid Transit systems: An integrated model and multi-objective optimization approach. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 89, 236-258.
- CHENG, R., GEN, M. ve TOZAWA, T. 1995. Vehicle routing problem with fuzzy due-time using genetic algorithms. *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems*, 7, 1050-1061.
- CHOPRA, S. ve MEINDL, P. 2007. *Supply Chain Management: strategy, planning, and operation*, Pearson.
- CHOUDHARY, A., SARKAR, S., SETTUR, S. ve TIWARI, M. K. 2015. A carbon market sensitive optimization model for integrated forward–reverse logistics. *International Journal of Production Economics*, 164, 433-444.
- CHRAPA, L., MAGAZZENI, D., MCCABE, K., MCCLUSKEY, T. L. ve VALLATI, M. 2016. Automated planning for Urban traffic control: Strategic vehicle routing to respect air quality limitations. *Intelligenza Artificiale*, 10, 113-128.
- CIMEN, M. ve SOYSAL, M. 2017. Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 54, 82-98.
- CINAR, D., GAKIS, K. ve PARDALOS, P. M. 2018. *Sustainable Logistics and Transportation: Optimization Models and Algorithms*, Springer.
- CIROVIC, G., PAMUCAR, D. ve BOZANIC, D. 2014. Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. *Expert Systems with Applications*, 41, 4245-4258.

- COOKE, K. L. ve HALSEY, E. 1966. The shortest route through a network with time-dependent internodal transit times. *Journal of mathematical analysis and applications*, 14, 493-498.
- CORREIA, N., CARVALHO, N. ve SCHUTZ, G. 2017. Planning of Vehicle Routing with Backup Provisioning Using Wireless Sensor Technologies. *Information*, 8.
- CRAINIC, T. G., RICCIARDI, N. ve STORCHI, G. 2009. Models for evaluating and planning city logistics systems. *Transportation science*, 43, 432-454.
- ÇALIK, A. 2019. Yüklenici Değerlendirme Sürecinde Aralıklı Tip-2 Bulanık Topsis Yöntemi Uygulaması: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde (Kobi'ler) Bir Örnek Olay Çalışması. *Iğdir University Journal of Social Sciences*.
- ÇAPRAZ, A. G. 2016. *Determining Speed of Vehicle for Economical Fuel Consumption on Specified Route According to the slope of the Road*. Doktora, İstanbul Üniversitesi.
- ÇİMEN, M., SEL, Ç. ve SOYSAL, M. 2020. An Approximate Dynamic Programming Approach for a Routing Problem with Simultaneous Pick-Ups and Deliveries in Urban Areas. *Food Supply Chains in Cities*. Springer.
- DANTZIG, G., FULKERSON, R. ve JOHNSON, S. 1954. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Journal of the operations research society of America*, 2, 393-410.
- DANTZIG, G. B. ve RAMSER, J. H. 1959. The truck dispatching problem. *Management science*, 6, 80-91.
- DAVIS, B. A. ve FIGLIOZZI, M. A. 2013. A methodology to evaluate the competitiveness of electric delivery trucks. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 49, 8-23.
- DE GRANCY, G. S. 2015. An Adaptive Metaheuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows and Multiple Service Workers. *Journal of Universal Computer Science*, 21, 1143-1167.
- DE MARCO, A., MANGANO, G. ve ZENEZINI, G. 2018. Classification and benchmark of City Logistics measures: an empirical analysis. *International Journal of Logistics-Research and Applications*, 21, 1-19.
- DELL'AMICO, M., DIAZ, J. C. D., HASLE, G. ve IORI, M. 2016. An Adaptive Iterated Local Search for the Mixed Capacitated General Routing Problem. *Transportation Science*, 50, 1223-1238.
- DELL'AMICO, M., HADJICOSTANTINO, E., IORI, M. ve NOVELLANI, S. 2014. The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances. *Omega-International Journal of Management Science*, 45, 7-19.
- DEMİR, E., BEKTAŞ, T. ve LAPORTE, G. 2012. An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 223, 346-359.
- DEMİR, E., BEKTAŞ, T. ve LAPORTE, G. 2014. A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 237, 775-793.
- DEMİR, E., VAN WOENSEL, T. ve IEEE 2013. Mathematical Modeling of CO(2)e Emissions in One-to-one Pickup and Delivery Problems. *2013 Ieee International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*.
- DESA, U. 2016. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.
- DYLLICK, T. ve HOCKERTS, K. 2002. Beyond the business case for corporate sustainability. *Business strategy and the environment*, 11, 130-141.
- EEA 2018. European Union Emission Inventory Report 1990 - 2016. Luxembourg.
- EHMKE, J. F., CAMPBELL, A. M. ve THOMAS, B. W. 2016. Vehicle routing to minimize time-dependent emissions in urban areas. *European Journal of Operational Research*, 251, 478-494.

- EHMKE, J. F., CAMPBELL, A. M. ve THOMAS, B. W. 2018a. Optimizing for total costs in vehicle routing in urban areas. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 242-265.
- EHMKE, J. F., CAMPBELL, A. M. ve THOMAS, B. W. 2018b. Optimizing for total costs in vehicle routing in urban areas. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 116, 242-265.
- EILON, S. ve WATSON-GANDY, C. D. T. 1971. Distribution management; mathematical modelling and practical analysis.
- EKSIOGLU, B., VURAL, A. V. ve REISMAN, A. 2009. The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57, 1472-1483.
- ELKINGTON, J. 2001. The triple bottom line for 21st century business. *The Earthscan reader in business and sustainable development*, 20-43.
- ENE, S., KUCUKOGLU, I., AKSOY, A. ve OZTURK, N. 2016. A hybrid metaheuristic algorithm for the green vehicle routing problem with a heterogeneous fleet. *International Journal of Vehicle Design*, 71, 75-102.
- ERDOGAN, S. ve MILLER-HOOKS, E. 2012. A Green Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 48, 100-114.
- ERFANI, S. M. H., DANESH, S., KARRABI, S. M. ve SHAD, R. 2017. A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system. *Waste Management & Research*, 35, 776-785.
- ERTURGUT, R., USTALI, N. K. ve BOLAT, S. KENTSEL LOJİSTİK VE SİNGAPUR ÖRNEĞİ URBAN LOGISTICS AND EXAMPLE OF SINGAPORE.
- ESMAILI, M. ve SAHRAEIAN, R. 2017. A new Bi-objective model for a Two-echelon Capacitated Vehicle Routing Problem for Perishable Products with the Environmental Factor. *International Journal of Engineering*, 30, 523-531.
- FADDA, E., GOBBATO, L., PERBOLI, G., ROSANO, M. ve TADEI, R. 2018. Waste Collection in Urban Areas: A Case Study. *Interfaces*, 48, 307-322.
- FATNASSI, E., CHAOUACHI, J. ve KLİBİ, W. 2015. Planning and operating a shared goods and passengers on-demand rapid transit system for sustainable city-logistics. *Transportation Research Part B-Methodological*, 81, 440-460.
- FAWAZ, E. G. ve SALAM, D. A. 2018. Preliminary economic assessment of the use of waste frying oils for biodiesel production in Beirut, Lebanon. *Science of The Total Environment*, 637, 1230-1240.
- FEI, H. Y. ve ZHANG, C. Y. 2018. Optimizing the Composite Cost Involved in Road Motor-Transporting Trucks by Taking into Account Traffic Condition. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- FELJAN, A. V., BARARSANI, A., GOT, N. ve IEEE 2017. Pickup Planner: A Scheduling and Dynamic Routing Service for Connected Vehicles. *2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies*.
- FENG, Y., ZHANG, R.-Q. ve JIA, G. 2017. Vehicle routing problems with fuel consumption and stochastic travel speeds. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
- FERNANDEZ, C., MANYA, F., MATEU, C. ve SOLE-MAURI, F. 2014. Modeling energy consumption in automated vacuum waste collection systems. *Environmental Modelling & Software*, 56, 63-73.
- FIGLIOZZI, M. A. 2011. The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO2 emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon. *Transportation Research Part C-Emerging Technologies*, 19, 766-778.
- FLAMINI, M., NIGRO, M. ve PACCIARELLI, D. 2018. The value of real-time traffic information in urban freight distribution. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22, 26-39.

- FORKENBROCK, D. J. 2001. Comparison of external costs of rail and truck freight transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35, 321-337.
- FRANCESCHETTI, A., DEMIR, E., HONHON, D., VAN WOENSEL, T., LAPORTE, G. ve STOBBE, M. 2017. A metaheuristic for the time-dependent pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 259, 972-991.
- FRANCESCHETTI, A., HONHON, D., VAN WOENSEL, T., BEKTAS, T. ve LAPORTE, G. 2013. The time-dependent pollution-routing problem. *Transportation Research Part B-Methodological*, 56, 265-293.
- GARZON-GARNICA, E. A., CABALLERO-MORALES, S. O. ve MARTINEZ-FLORES, J. L. 2017. Solution Approach for a Large-Scale Personnel Transport System for a Large Company in Latin America. *Journal of Industrial Engineering and Management-Jiem*, 10, 623-645.
- GEVAERS, R., VAN DE VOORDE, E. ve VANELSLANDER, T. 2011. Characteristics and typology of last-mile logistics from an innovation perspective in an urban context. *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives*, Edward Elgar Publishing, 56-71.
- GOEL, R., MAINI, R. ve BANSAL, S. 2019. Vehicle routing problem with time windows having stochastic customers demands and stochastic service times: Modelling and solution. *Journal of Computational Science*, 34, 1-10.
- GOLDEN, B., ASSAD, A. ve DAHL, R. 1984. Analysis of a large scale vehicle routing problem with an inventory component. *Large scale systems*, 7, 181-190.
- GOMES, R., DE SOUSA, J. P. ve DIAS, T. G. 2015. Sustainable Demand Responsive Transportation systems in a context of austerity: The case of a Portuguese city. *Research in Transportation Economics*, 51, 94-103.
- GOMEZ, J. R., PACHECO, J. ve GONZALO-ORDEN, H. 2015. A Tabu Search Method for a Bi-Objective Urban Waste Collection Problem. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30, 36-53.
- GROSSO, R., MUNUZURI, J., ESCUDERO-SANTANA, A. ve BARBADILLA-MARTIN, E. 2018. Mathematical Formulation and Comparison of Solution Approaches for the Vehicle Routing Problem with Access Time Windows. *Complexity*.
- GRULER, A., FIKAR, C., JUAN, A. A., HIRSCH, P. ve CONTRERAS-BOLTON, C. 2017a. Supporting multi-depot and stochastic waste collection management in clustered urban areas via simulation-optimization. *Journal of Simulation*, 11, 11-19.
- GRULER, A., QUINTERO-ARAUJO, C. L., CALVET, L. ve JUAN, A. A. 2017b. Waste collection under uncertainty: a simheuristic based on variable neighbourhood search. *European Journal of Industrial Engineering*, 11, 228-255.
- GUO, J. M. ve LIU, C. 2017. Time-Dependent Vehicle Routing of Free Pickup and Delivery Service in Flight Ticket Sales Companies Based on Carbon Emissions. *Journal of Advanced Transportation*, 1-14.
- GUPTA, A., HENG, C. K., ONG, Y. S., TAN, P. S. ve ZHANG, A. N. 2017. A generic framework for multi-criteria decision support in eco-friendly urban logistics systems. *Expert Systems with Applications*, 71, 288-300.
- GUTIERREZ, A., DIEULLE, L., LABADIE, N. ve VELASCO, N. 2018. A Hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 99, 135-147.
- GÜRÜL, B. 2019. Sürdürülebilir Üretim Göstergelerinin Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansına Etkisinin Araştırılması.
- GÜVEZ, H., DEGE, M. ve EREN, T. 2012. Kırıkkale'de araç rotalama problemi ile tıbbi atıkların toplanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4, 41-45.



- HACHICHA, W., MELLOULI, M., KHEMAKHEM, M. ve CHABCHOUB, H. 2014. ROUTING SYSTEM FOR INFECTIOUS HEALTHCARE-WASTE TRANSPORTATION IN TUNISIA: A CASE STUDY. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13, 21-28.
- HAGHANI, A. ve JUNG, S. 2005. A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Computers & operations research*, 32, 2959-2986.
- HALL, R. W. 1986. The fastest path through a network with random time-dependent travel times. *Transportation science*, 20, 182-188.
- HAN, H. ve PONCE-CUETO, E. 2015. WASTE COLLECTION VEHICLE ROUTING PROBLEM: LITERATURE REVIEW. *Promet-Traffic & Transportation*, 27, 345-358.
- HARMANŞAH, C., SEYLAN, N., SÖZERİ, V. ve ÖNAL, A. WEB TABANLI DERSLİK YERLEŞTİRME SİSTEMİ.
- HASSINI, E., SURTI, C. ve SEARCY, C. 2012. A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *International Journal of Production Economics*, 140, 69-82.
- HE, Y. Z. ve YANG, Z. Z. 2018. Parcel Delivery by Collaborative Use of Truck Fleets and Bus-Transit Vehicles. *Transportation Journal*, 57, 399-428.
- HELD, M. ve KARP, R. M. 1962. A dynamic programming approach to sequencing problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied mathematics*, 10, 196-210.
- HICKMAN, J., HASSEL, D., JOUMARD, R., SAMARAS, Z. ve SORENSON, S. 1999. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption.
- HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J., HILLIER, F. ve LIEBERMAN, G. 2004. MP Introduction to Operations Research. McGraw-Hill, New York, USA.
- HOSSAIN, M. D., NINSAWAT, S., SHARMA, S., KOOTTATEP, T. ve SARATHAI, Y. 2016. GIS oriented service optimization for fecal sludge collection. *Spatial Information Research*, 24, 235-243.
- HSU, C.-I., HUNG, S.-F. ve LI, H.-C. 2007. Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery. *Journal of food engineering*, 80, 465-475.
- HU, H., ZHANG, Y. ve ZHEN, L. 2017. A two-stage decomposition method on fresh product distribution problem. *International Journal of Production Research*, 55, 4729-4752.
- HU, L., ZHONG, Y. X., HAO, W., MOGHIMI, B., HUANG, J., ZHANG, X. ve DU, R. H. 2018. Optimal Route Algorithm Considering Traffic Light and Energy Consumption. *Ieee Access*, 6, 59695-59704.
- HU, Z. H. ve SHENG, Z. H. 2014. A decision support system for public logistics information service management and optimization. *Decision Support Systems*, 59, 219-229.
- HUANG, Y. X., ZHAO, L., VAN WOENSEL, T. ve GROSS, J. P. 2017. Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility. *Transportation Research Part B-Methodological*, 95, 169-195.
- IVANOVIC, Z. ve BAUK, S. 2014. MULTIPHASE APPROACH TO DEVELOPING MODEL OF LOGISTICS FOR COASTAL TOURIST DESTINATIONS. *Promet-Traffic & Transportation*, 26, 405-418.
- JABALI, O., VAN WOENSEL, T. ve DE KOK, A. G. 2012. Analysis of Travel Times and CO2 Emissions in Time-Dependent Vehicle Routing. *Production and Operations Management*, 21, 1060-1074.
- JABBARPOUR, M. R., NOOR, R. M. ve KHOKHAR, R. H. 2015. Green vehicle traffic routing system using ant-based algorithm. *Journal of Network and Computer Applications*, 58, 294-308.
- JAEHN, F. 2016. Sustainable Operations. *European Journal of Operational Research*, 253, 243-264.

- JAMISON, A. 2001. *The making of green knowledge: Environmental politics and cultural transformation*, Cambridge University Press.
- JAMISON, A. 2003. The making of green knowledge: the contribution from activism. *Futures*, 35, 703-716.
- JOVANOVIĆ, A. D., PAMUCAR, D. S. ve PEJČIĆ-TARLE, S. 2014. Green vehicle routing in urban zones - A neuro-fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 41, 3189-3203.
- JUNG, J., JAYAKRISHNAN, R. ve CHOI, K. 2017. Dually sustainable urban mobility option: Shared-taxi operations with electric vehicles. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11, 567-581.
- JUNG, J., JAYAKRISHNAN, R. ve PARK, J. Y. 2016. Dynamic Shared-Taxi Dispatch Algorithm with Hybrid-Simulated Annealing. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 31, 275-291.
- KANCHARLA, S. R. ve RAMADURAI, G. 2018. Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. *Sustainable cities and society*, 40, 214-221.
- KAZEMIAN, I., RABBANI, M. ve FARROKHI-ASL, H. 2018. A way to optimally solve a green time-dependent vehicle routing problem with time windows. *Computational and Applied Mathematics*, 37, 2766-2783.
- KHOUADJIA, M. R., SARASOLA, B., ALBA, E., JOURDAN, L. ve TALBI, E.-G. 2012. A comparative study between dynamic adapted PSO and VNS for the vehicle routing problem with dynamic requests. *Applied Soft Computing*, 12, 1426-1439.
- KIM, G., ONG, Y. S., HENG, C. K., TAN, P. S. ve ZHANG, N. A. 2015. City Vehicle Routing Problem (City VRP): A Review. *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16, 1654-1666.
- KINOBE, J. R., BOSONA, T., GEBRESENBET, G., NIWAGABA, C. B. ve VINNERAS, B. 2015. Optimization of waste collection and disposal in Kampala city. *Habitat International*, 49, 126-137.
- KIRIŞ, S. B. ve BÖREKÇİ, D. Y. 2018. Sürdürülebilir Liman İşletmeciliğini Yönlendirici ve Engelleyici Faktörler: Bir Üçlü Bilanço Yaklaşımı. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5, 192-220.
- KOC, C. ve KARAOĞLAN, I. 2016. The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach. *Applied Soft Computing*, 39, 154-164.
- KONG, L., LI, H., LUO, H., DING, L. ve ZHANG, X. 2018a. Sustainable performance of just-in-time (JIT) management in time-dependent batch delivery scheduling of precast construction. *Journal of Cleaner Production*, 193, 684-701.
- KONG, L. L., LI, H., LUO, H. B., DING, L. Y. ve ZHANG, X. L. 2018b. Sustainable performance of just-in-time (JIT) management in time-dependent batch delivery scheduling of precast construction. *Journal of Cleaner Production*, 193, 684-701.
- KUO, Y. 2010. Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 157-165.
- KUSCU, O. ve KUCUKSILLE, E. U. 2011. Heuristic Methods in Vehicle Routing Systems. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 65-70.
- LACOMME, P., PRINS, C. ve SEVAUX, M. 2003. Multiobjective Capacitated Arc Routing Problem. In: FONSECA, C. M., FLEMING, P. J., ZITZLER, E., DEB, K. ve THIELE, L. (eds.) *Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Proceedings*.
- LAMB, H. 2017. *Electric Bus Sets World Record for range on a single charge* [Online]. Available: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2017/09/proterra-electric-bus-sets-world-record-for-range-on-a-single-charge/> [Accessed 10.07.2018 2018].

- LANG, Z. F., YAO, E. J., HU, W. S. ve PAN, Z. 2014. A Vehicle Routing Problem Solution Considering Alternative Stop Points. *In: MAO, B., TIAN, Z., GAO, Z., HUANG, H. ve FENG, X. (eds.) 9th International Conference on Traffic and Transportation Studies.*
- LAPORTE, G. 2009. Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43, 408-416.
- LEE, A. ve SAVELSBERGH, M. 2017. An extended demand responsive connector. *Euro Journal on Transportation and Logistics*, 6, 25-50.
- LEE, S. ve HWANG, T. 2018. Estimating Emissions from Regional Freight Delivery under Different Urban Development Scenarios. *Sustainability*, 10, 1188.
- LENSTRA, J. K. ve KAN, A. 1981. Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11, 221-227.
- LEVIN, A. 1971. Scheduling and fleet routing models for transportation systems. *Transportation Science*, 5, 232-255.
- LI, H., LIU, Y., JIAN, X. ve LU, Y. 2018. The two-echelon distribution system considering the real-time transshipment capacity varying. *Transportation Research Part B: Methodological*, 110, 239-260.
- LI, H. Q., YUAN, J. L., LV, T. ve CHANG, X. Y. 2016. The two-echelon time-constrained vehicle routing problem in linehaul-delivery systems considering carbon dioxide emissions. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 49, 231-245.
- LI, J. Q. 2014. Transit Bus Scheduling with Limited Energy. *Transportation Science*, 48, 521-539.
- LIN, C. H., CHOY, K. L., HO, G. T. S., CHUNG, S. H. ve LAM, H. Y. 2014a. Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41, 1118-1138.
- LIN, C. H., CHOY, K. L., HO, G. T. S. ve NG, T. W. 2014b. A Genetic Algorithm-based optimization model for supporting green transportation operations. *Expert Systems with Applications*, 41, 3284-3296.
- LIU, G., GE, Y. F., QIU, T. Z. ve SOLEYMANI, H. R. 2014a. Optimization of snow plowing cost and time in an urban environment: A case study for the City of Edmonton. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41, 667-675.
- LIU, W.-Y., LIN, C.-C., CHIU, C.-R., TSAO, Y.-S. ve WANG, Q. 2014b. Minimizing the carbon footprint for the time-dependent heterogeneous-fleet vehicle routing problem with alternative paths. *Sustainability*, 6, 4658-4684.
- LODI, A., MALAGUTI, E., STIER-MOSES, N. E. ve BONINO, T. 2016. Design and Control of Public-Service Contracts and an Application to Public Transportation Systems. *Management Science*, 62, 1165-1187.
- LU, J. W., CHANG, N. B. ve LIAO, L. 2013. Environmental Informatics for Solid and Hazardous Waste Management: Advances, Challenges, and Perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43, 1557-1656.
- LU, J. W., CHANG, N. B., LIAO, L. ve LIAO, M. Y. 2017. Smart and Green Urban Solid Waste Collection Systems: Advances, Challenges, and Perspectives. *Ieee Systems Journal*, 11, 2804-2817.
- LU, Y. 2017. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10.
- LUND, K., MADSEN, O. B. ve RYGAARD, J. M. 1996. *Vehicle routing problems with varying degrees of dynamism*, IMM Institute of Mathematical Modelling.
- LV, Y., DUAN, Y., KANG, W., LI, Z. ve WANG, F.-Y. 2014. Traffic flow prediction with big data: a deep learning approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16, 865-873.

- MA, Z. J., WU, Y. ve DAI, Y. 2017. A combined order selection and time-dependent vehicle routing problem with time windows for perishable product delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 101-113.
- MAPS, G. 2019. *Google Maps Platform* [Online]. Available: <https://cloud.google.com/maps-platform/> [Accessed December 2019].
- MARGARITIS, D., ANAGNOSTOPOULOU, A., TROMARAS, A. ve BOILE, M. 2016. Electric commercial vehicles: Practical perspectives and future research directions. *Research in Transportation Business and Management*, 18, 4-10.
- MARKS, D. H. ve STRICKER, R. 1971. Routing for public service vehicles. *Journal of Urban Planning and Development*.
- MASSON, R., TRENTINI, A., LEHUEDE, F., MALHENE, N., PETON, O. ve TLAHIG, H. 2017. Optimization of a city logistics transportation system with mixed passengers and goods. *Euro Journal on Transportation and Logistics*, 6, 81-109.
- MAT, N. A., BENJAMIN, A. M. ve ABDUL-RAHMAN, S. 2018. ENHANCED HEURISTIC ALGORITHMS WITH A VEHICLE TRAVEL SPEED MODEL FOR TIME-DEPENDENT VEHICLE ROUTING: A WASTE COLLECTION PROBLEM. *Journal of ICT*, 17, 55-78.
- MATAI, R., SINGH, S. ve MITTAL, M. L. 2010. Traveling salesman problem: an overview of applications, formulations, and solution approaches. *Traveling salesman problem, theory and applications*. InTech.
- MATULKA, R. 2018. *Timeline: History of the Electric Car* [Online]. US Department of Energy. Available: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car> [Accessed 06.07.2018 2018].
- MELO, S., MACEDO, J. ve BAPTISTA, P. 2017. Guiding cities to pursue a smart mobility paradigm: An example from vehicle routing guidance and its traffic and operational effects. *Research in Transportation Economics*, 65, 24-33.
- MILLER-HOOKS, E. D. ve MAHMASSANI, H. S. 2000. Least expected time paths in stochastic, time-varying transportation networks. *Transportation Science*, 34, 198-215.
- MILLER, C. E., TUCKER, A. W. ve ZEMLIN, R. A. 1960. Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of the ACM (JACM)*, 7, 326-329.
- MIN, H., KO, H. J. ve KO, C. S. 2006. A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*, 34, 56-69.
- MIRHEDAYATIAN, S. M. ve YAN, S. Y. 2018. A framework to evaluate policy options for supporting electric vehicles in urban freight transport. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 58, 22-38.
- MONTERO, A., MÉNDEZ-DÍAZ, I. ve MIRANDA-BRONT, J. J. 2016. An Integer Programming approach for the Time-Dependent Traveling Salesman Problem with Time Windows.
- MONTOYA-TORRES, J. R., MUNOZ-VILLAMIZAR, A. ve VEGA-MEJIA, C. A. 2016a. On the impact of collaborative strategies for goods delivery in city logistics. *Production Planning & Control*, 27, 443-455.
- MONTOYA-TORRES, J. R., MUÑOZ-VILLAMIZAR, A. ve VEGA-MEJÍA, C. A. 2016b. On the impact of collaborative strategies for goods delivery in city logistics. *Production Planning & Control*, 27, 443-455.
- MUNOZ-VILLAMIZAR, A., MONTOYA-TORRES, J. R. ve FAULIN, J. 2017. Impact of the use of electric vehicles in collaborative urban transport networks: A case study. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 50, 40-54.
- MUNUZURI, J., GROSSO, R., CORTES, P. ve GUADIX, J. 2013. Estimating the extra costs imposed on delivery vehicles using access time windows in a city. *Computers Environment and Urban Systems*, 41, 262-275.

- NADERIPOUR, M. ve ALINAGHIAN, M. 2016. Measurement, evaluation and minimization of CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and CO emissions in the open time dependent vehicle routing problem. *Measurement*, 90, 443-452.
- NAOUM-SAWAYA, J., COGILL, R., GHADDAR, B., SAJJA, S., SHORTEN, R., TAHERI, N., TOMMASI, P., VERAGO, R. ve WIRTH, F. 2015. Stochastic optimization approach for the car placement problem in ridesharing systems. *Transportation Research Part B-Methodological*, 80, 173-184.
- NATIONS, U. 2017. *World Population Prospects 2017* [Online]. Available: <https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/> [Accessed].
- NG, C. Y., LAM, S. S. ve SAMUEL, C. P. M. 2019. Logistic sequencing for improving environmental performance using ant colony optimization. *Environmental Impact Assessment Review*, 77, 182-190.
- NGUYEN-TRONG, K., NGUYEN-THI-NGOC, A., NGUYEN-NGOC, D. ve DINH-THI-HAI, V. 2017. Optimization of municipal solid waste transportation by integrating GIS analysis, equation-based, and agent-based model. *Waste management*, 59, 14-22.
- NOROUZI, N., SADEGH-AMALNICK, M. ve TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. 2017. Modified particle swarm optimization in a time-dependent vehicle routing problem: minimizing fuel consumption. *Optimization Letters*, 11, 121-134.
- NOWAKOWSKI, P. 2017. A proposal to improve e-waste collection efficiency in urban mining: Container loading and vehicle routing problems - A case study of Poland. *Waste Management*, 60, 494-504.
- NOWAKOWSKI, P., SZWARC, K. ve BORYCZKA, U. 2018. Vehicle route planning in e-waste mobile collection on demand supported by artificial intelligence algorithms. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 1-22.
- OSVALD, A. ve STIRN, L. Z. 2008. A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of food engineering*, 85, 285-295.
- OUHADER, H. ve EL KYAL, M. 2017. Combining Facility Location and Routing Decisions in Sustainable Urban Freight Distribution under Horizontal Collaboration: How Can Shippers Be Benefited? *Mathematical Problems in Engineering*.
- OZDAMAR, L., EKINCI, E. ve KUCUKYAZICI, B. 2004. Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of Operations Research*, 129, 217-245.
- PAMUCAR, D., GIGOVIC, L., CIROVIC, G. ve REGODIC, M. 2016. Transport spatial model for the definition of green routes for city logistics centers. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 72-87.
- PAN, S. L., GIANNIKAS, V., HAN, Y. F., GROVER-SILVA, E. ve QIAO, B. 2017. Using customer-related data to enhance e-grocery home delivery. *Industrial Management & Data Systems*, 117, 1917-1933.
- PEARL, J. 1984. Heuristics: intelligent search strategies for computer problem solving.
- PEKEL, E. 2018. *Talep Belirsizliği Altında Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi için Hibrit Sezgisel bir Çözüm Önerisi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- PELLETIER, S., JABALI, O. ve LAPORTE, G. 2016. 50th Anniversary Invited Article Goods Distribution with Electric Vehicles: Review and Research Perspectives. *Transportation Science*, 50, 3-22.
- PILLAC, V., GENDREAU, M., GUÉRET, C. ve MEDAGLIA, A. L. 2013. A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225, 1-11.
- PISSINOU, N., RADEV, I. ve MAKKI, K. 2001. Spatio-temporal modeling in video and multimedia geographic information systems. *Geoinformatica*, 5, 375-409.

- POPOVIC, T., BARBOSA-PÓVOA, A., KRASLAWSKI, A. ve CARVALHO, A. 2018. Quantitative indicators for social sustainability assessment of supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 180, 748-768.
- POURRAHMANI, E., DELAVAR, M. R. ve MOSTAFAVI, M. A. 2015. Optimization of an evacuation plan with uncertain demands using fuzzy credibility theory and genetic algorithm. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 357-372.
- PSARAFTIS, H. N. 1988. Dynamic vehicle routing problems. *Vehicle routing: Methods and studies*, 16, 223-248.
- PSYCHAS, I. D., MARINAKI, M., MARINAKIS, Y. ve MIGDALAS, A. 2017. Non-dominated sorting differential evolution algorithm for the minimization of route based fuel consumption multiobjective vehicle routing problems. *Energy Systems Optimization Modeling Simulation and Economic Aspects*, 8, 785-814.
- PU, K. ve WANG, J. 2017. Research on Vehicle Routing Optimization of Urban Logistics Distribution Based on Carbon Trading Mechanism. In: PAVLOVA, M., LIU, J. ve ZENG, X. Y. (eds.) *2nd International Conference on Education, E-Learning and Management Technology*.
- QI, W., LI, L., LIU, S. ve SHEN, Z.-J. M. 2018. Shared Mobility for Last-Mile Delivery: Design, Operational Prescriptions, and Environmental Impact. *Manufacturing & Service Operations Management*.
- QIAN, J. ve EGLESE, R. 2016. Fuel emissions optimization in vehicle routing problems with time-varying speeds. *European Journal of Operational Research*, 248, 840-848.
- QIAN, J. N. ve EGLESE, R. 2014. Finding Least Fuel Emission Paths in a Network with Time-Varying Speeds. *Networks*, 63, 96-106.
- QUAK, H. J. ve DE KOSTER, M. B. M. 2007. Exploring retailers' sensitivity to local sustainability policies. *Journal of Operations Management*, 25, 1103-1122.
- QUAK, H. J. ve DE KOSTER, M. B. M. 2009. Delivering Goods in Urban Areas: How to Deal with Urban Policy Restrictions and the Environment. *Transportation Science*, 43, 211-227.
- RAGHAVENDRA, A., KRISHNAKUMAR, T. S., MURALIDHAR, R., SARVANAN, D. ve RAGHAVENDRA, B. G. 1992. A PRACTICAL HEURISTIC FOR A LARGE-SCALE VEHICLE-ROUTING PROBLEM. *European Journal of Operational Research*, 57, 32-38.
- RANIERI, L., DIGIESI, S., SILVESTRI, B. ve ROCCOTELLI, M. 2018. A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*, 10.
- REYES, D., SAVELSBERGH, M. ve TORIELLO, A. 2017. Vehicle routing with roaming delivery locations. *Transportation Research Part C-Emerging Technologies*, 80, 71-91.
- RITZINGER, U., PUCHINGER, J. ve HARTL, R. F. 2016. A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems. *International Journal of Production Research*, 54, 215-231.
- RODRIGUE, J.-P., COMTOIS, C. ve SLACK, B. 2016. *The geography of transport systems*, Routledge.
- ROSSI, F., ZHANG, R., HINDY, Y. ve PAVONE, M. 2018. Routing autonomous vehicles in congested transportation networks: structural properties and coordination algorithms. *Autonomous Robots*, 42, 1427-1442.
- RUSSELL, R. A. 1977. An effective heuristic for the m-tour traveling salesman problem with some side conditions. *Operations Research*, 25, 517-524.

- SABERI, M. ve VERBAS, I. O. 2012. Continuous Approximation Model for the Vehicle Routing Problem for Emissions Minimization at the Strategic Level. *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 138, 1368-1376.
- SANTOS, L., COUTINHO-RODRIGUES, J. ve ANTUNES, C. H. 2011. A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. *Decision Support Systems*, 51, 1-9.
- SANTOS, L., COUTINHO-RODRIGUES, J. ve CURRENT, J. R. 2008. Implementing a multi-vehicle multi-route spatial decision support system for efficient trash collection in Portugal. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 42, 922-934.
- SARIKLIS, D. ve POWELL, S. 2000. A heuristic method for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 51, 564-573.
- SAVRUN, B. ve MUTLU, H. M. 2019. Kent Lojistiği Üzerine Bibliyometrik Analiz. *Kent Akademisi*, 12, 364-386.
- SBIHI, A. ve EGGLESE, R. W. 2007. The relationship between vehicle routing & scheduling and green logistics-A literature survey.
- SCHRÖDER, M. ve CABRAL, P. 2019. Eco-friendly 3D-Routing: A GIS based 3D-Routing-Model to estimate and reduce CO<sub>2</sub>-emissions of distribution transports. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 40-55.
- SCORA, G., BORIBOONSOMSIN, K. ve BARTH, M. 2015. Value of eco-friendly route choice for heavy-duty trucks. *Research in Transportation Economics*, 52, 3-14.
- SERT, E., OSMANLI, N., ERUC, R. ve UYAN, M. 2017. DETERMINATION OF TRANSPORTATION NETWORKS BASE ON THE OPTIMAL PUBLIC TRANSPORTATION POLICY USING SPATIAL AND NETWORK ANALYSIS METHODS: A CASE OF THE KONYA, TURKEY. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2, 27-34.
- SHAFIEE, S. ve TOPAL, E. 2009. When will fossil fuel reserves be diminished? *Energy policy*, 37, 181-189.
- SHAO, S., GUAN, W. ve BI, J. 2017. Electric Vehicle Routing Problem with Charging Demands and Energy Consumption. *IET Intelligent Transport Systems*.
- SICILIA-MONTALVO, J. A., ESCUIN-FINOL, D., ROYO-AGUSTIN, B. ve LARRODE-PELLICER, E. 2013. Smart system for freight distribution planning. Based on variable neighbourhood search and tabu search metaheuristics. *Dyna*, 88, 414-423.
- SICILIA, J. A., QUEMADA, C., ROYO, B. ve ESCUIN, D. 2016. An optimization algorithm for solving the rich vehicle routing problem based on Variable Neighborhood Search and Tabu Search metaheuristics. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 291, 468-477.
- SIMONI, M. D., BUJANOVIC, P., BOYLES, S. D. ve KUTANOGLU, E. 2018. Urban consolidation solutions for parcel delivery considering location, fleet and route choice. *Case Studies on Transport Policy*, 6, 112-124.
- SINGLETON, A. 2014. A GIS approach to modelling CO<sub>2</sub> emissions associated with the pupil-school commute. *International Journal of Geographical Information Science*, 28, 256-273.
- SMITH, S. L., PAVONE, M., BULLO, F. ve FRAZZOLI, E. 2010. Dynamic vehicle routing with priority classes of stochastic demands. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 48, 3224-3245.
- SON, L. H. ve LOUATI, A. 2016. Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows. *Waste Management*, 52, 34-49.
- SOYSAL, M. 2015. Decision support modeling for sustainable food logistics management.

- SOYSAL, M., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M. ve BEKTAS, T. 2015. The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations. *International Journal of Production Economics*, 164, 366-378.
- SOYSAL, M. ve CIMEN, M. 2017. A Simulation Based Restricted Dynamic Programming approach for the Green Time Dependent Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 88, 297-305.
- SOYSAL, M., CIMEN, M. ve DEMİR, E. 2018. On the mathematical modeling of green one-to-one pickup and delivery problem with road segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1664-1678.
- SOYSAL, M., ÇİMEN, M. ve BELBAĞ, S. 2020. Pickup and delivery with electric vehicles under stochastic battery depletion. *Computers & Industrial Engineering*, 106512.
- SOYSAL, M., ÇİMEN, M., ÖMÜRGÖNÜLŞEN, M. ve BELBAĞ, S. 2019. Performance Comparison of Two Recent Heuristics for Green Time Dependent Vehicle Routing Problem. *International Journal of Business Analytics (IJBAN)*, 6, 1-11.
- SPEIDEL, V. EDP-assisted fleet scheduling in tramp and coastal shipping. Proceedings of the 2nd International Ship Operation Automation Symposium, Washington, DC, August 30-September 2, 1976. Proceedings expected to be available about December 1976., 1976.
- SRINIVAS, S. S. ve GAJANAND, M. S. 2017. Vehicle routing problem and driver behaviour: a review and framework for analysis. *Transport Reviews*, 37, 590-611.
- SUN, S. C., DUAN, Z. Y. ve YANG, D. Y. 2015. Urban Freight Management with Stochastic Time-Dependent Travel Times and Application to Large-Scale Transportation Networks. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- SUZUKI, Y. 2016. A dual-objective metaheuristic approach to solve practical pollution routing problem. *International Journal of Production Economics*, 176, 143-153.
- SZCZEPANSKI, E., ZAK, J., JACYNA-GOLDA, I. ve MURAWSKI, J. 2017. Simulation Support of Freight Delivery Schedule in Urban Areas. In: BUREIKA, G., YATSKIV, I., PRENTKOVSKIS, O. ve MARUSCHAK, P. (eds.) *Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology*.
- TANIGUCHI, E. ve THOMPSON, R. 2002. Modeling city logistics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 45-51.
- TANIGUCHI, E., THOMPSON, R. G., TRB ve TRB 2002. Modeling city logistics. *Freight Transportation 2002: Freight Transportation*.
- TANIGUCHI, E. ve VAN DER HEIJDEN, R. 2000. An evaluation methodology for city logistics. *Transport Reviews*, 20, 65-90.
- TANIGUCHI, E. ve YAMADA, T. 2003. *Reliable vehicle routing and scheduling with time windows towards city logistics*.
- TARR, J. A. 1971. Coalition to Ban Horse - Drawn Carriages. *American Heritage Magazine*. New York.
- TAŞ, D., DELLAERT, N., VAN WOENSEL, T. ve DE KOK, T. 2014. The time-dependent vehicle routing problem with soft time windows and stochastic travel times. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 48, 66-83.
- TAVARES, G., ZSIGRAIOVA, Z., SEMIAO, V. ve CARVALHO, M. D. G. 2009. Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29, 1176-1185.
- TEIXEIRA, J., ANTUNES, A. P. ve DE SOUSA, J. P. 2004. Recyclable waste collection planning - a case study. *European Journal of Operational Research*, 158, 543-554.
- TEKİN, M., DÜNDAR, A. O. ve ŞAHMAN, M. A. 2011. Şehir İçi Dağıtım Şirketlerinde Gezgin Satıcı Problemi Uygulaması.



- TEO, J. S. E., TANIGUCHI, E. ve QURESHI, A. G. 2012. Evaluation of Distance-Based and Cordon-Based Urban Freight Road Pricing in E-Commerce Environment with Multiagent Model. *Transportation Research Record*, 127-134.
- TEPIĆ, J., TANACKOV, I. ve STOJIĆ, G. 2011. Ancient logistics–historical timeline and etymology. *Tehnički vjesnik*, 18, 379-384.
- TILLMAN, F. A. 1969. The multiple terminal delivery problem with probabilistic demands. *Transportation Science*, 3, 192-204.
- TIRKOLAEI, E. B., HADIAN, S., WEBER, G. W. ve MAHDAVI, I. 2019. A robust green traffic-based routing problem for perishable products distribution. *Computational Intelligence*.
- TORIELLO, A., HASKELL, W. B. ve POREMBA, M. 2014. A dynamic traveling salesman problem with stochastic arc costs. *Operations Research*, 62, 1107-1125.
- TOTH, P. ve TRAMONTANI, A. 2008. An integer linear programming local search for capacitated vehicle routing problems. *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges*. Springer.
- TOTH, P. ve VIGO, D. 2002. *The vehicle routing problem*, SIAM.
- TU, W., LI, Q. Q., FANG, Z. X. ve ZHOU, B. D. 2015. A Novel Spatial-Temporal Voronoi Diagram-Based Heuristic Approach for Large-Scale Vehicle Routing Optimization with Time Constraints. *Isprs International Journal of Geo-Information*, 4, 2019-2044.
- TU, W., LI, Q. Q., LI, Q. P., ZHU, J. S., ZHOU, B. D. ve CHEN, B. Y. 2017. A spatial parallel heuristic approach for solving very large-scale vehicle routing problems. *Transactions in Gis*, 21, 1130-1147.
- ULMER, M. W., GOODSON, J. C., MATTFELD, D. C. ve HENNIG, M. 2019. Offline–online approximate dynamic programming for dynamic vehicle routing with stochastic requests. *Transportation Science*, 53, 185-202.
- ULUSOY, B. 2019. *The Vehicle Routing Problem in Urban Logistics: Route Balancing with Time Windows*. Koç University.
- USGS. 2019. *What are digital elevation models (DEMs)?* [Online]. Available: [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-digital-elevation-models-dems?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-digital-elevation-models-dems?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products) [Accessed 10.12.2019].
- VAN DER AALST, W. 2016. Data science in action. *Process mining*. Springer.
- VAN ECK, N. J. ve WALTMAN, L. 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84, 523-538.
- WANG, H. ve ODONI, A. 2016. Approximating the Performance of a "Last Mile" Transportation System. *Transportation Science*, 50, 659-675.
- WANG, K. Z., SHAO, Y. M. ve ZHOU, W. H. 2017. Matheuristic for a two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations in city logistics service. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 57, 262-276.
- WANG, Y., PENG, S., ASSOGBA, K., LIU, Y., WANG, H., XU, M. ve WANG, Y. 2018a. Implementation of Cooperation for Recycling Vehicle Routing Optimization in Two-Echelon Reverse Logistics Networks. *Sustainability (2071-1050)*, 10.
- WANG, Y., YUAN, Y., ASSOGBA, K., GONG, K., WANG, H., XU, M. ve WANG, Y. 2018b. Design and Profit Allocation in Two-Echelon Heterogeneous Cooperative Logistics Network Optimization. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
- WANG, Y., ZHANG, J., ASSOGBA, K., LIU, Y., XU, M. Z. ve WANG, Y. H. 2018c. Collaboration and transportation resource sharing in multiple centers vehicle routing optimization with delivery and pickup. *Knowledge-Based Systems*, 160, 296-310.
- WANG, Z., LI, J. Q., FANG, M. L. ve LI, Y. 2015. A Multimetric Ant Colony Optimization Algorithm for Dynamic Path Planning in Vehicular Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.

- WASIAK, M., JACYNA, M., LEWCZUK, K. ve SZCZEPANSKI, E. 2017. THE METHOD FOR EVALUATION OF EFFICIENCY OF THE CONCEPT OF CENTRALLY MANAGED DISTRIBUTION IN CITIES. *Transport*, 32, 348-357.
- WATSON-GANDY, C. ve DOHRN, P. 1973. Depot location with van salesmen—a practical approach. *Omega*, 1, 321-329.
- WCED, S. W. S. 1987. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press London.
- WEN, L. ve EGLESE, R. 2015. Minimum cost VRP with time-dependent speed data and congestion charge. *Computers & Operations Research*, 56, 41-50.
- WHO. 2018. *Ambient Air Pollution: Health Impacts* [Online]. Switzerland: World Health Organization. Available: <http://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/> [Accessed 12.03.2018 2018].
- WILSON, N. H., WEISSBERG, R. W. ve HAUSER, J. 1976. Advanced dial-a-ride algorithms research project.
- WINSTON, W. L. ve GOLDBERG, J. B. 2004. *Operations research: applications and algorithms*, Thomson Brooks/Cole Belmont.
- XIA, Y. J., ZHU, M. Z., GU, Q. P., ZHANG, L. M. ve LI, X. L. 2016. Toward solving the Steiner travelling salesman problem on urban road maps using the branch decomposition of graphs. *Information Sciences*, 374, 164-178.
- XIAO, Y., ZHAO, Q., KAKU, I. ve XU, Y. 2012. Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 39, 1419-1431.
- XIAO, Y. Y. ve KONAK, A. 2015. A simulating annealing algorithm to solve the green vehicle routing & scheduling problem with hierarchical objectives and weighted tardiness. *Applied Soft Computing*, 34, 372-388.
- XIAO, Y. Y. ve KONAK, A. 2017. A genetic algorithm with exact dynamic programming for the green vehicle routing & scheduling problem. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1450-1463.
- YANG, B., HU, Z. H., WEI, C., LI, S. Q., ZHAO, L. ve JIA, S. 2015. Routing with time-windows for multiple environmental vehicle types. *Computers & Industrial Engineering*, 89, 150-161.
- YAO, E., LANG, Z., YANG, Y. ve ZHANG, Y. 2015. Vehicle routing problem solution considering minimising fuel consumption. *IET Intelligent Transport Systems*, 9, 523-529.
- YEŞİLYURT, E. 2019. KENTSEL LOJİSTİK, DAĞITIM LOJİSTİĞİ VE FİRMA PERFORMANSI İLİŞKİSİ: KASTAMONU İLİNDE BİR ÇALIŞMA. *The International New Issues in Social Sciences*, 7, 31-58.
- YOU, S. I., CHOW, J. Y. J. ve RITCHIE, S. G. 2016. Inverse vehicle routing for activity-based urban freight forecast modeling and city logistics. *Transportmetrica a-Transport Science*, 12, 650-673.
- YU, J. J. Q. ve LAM, A. Y. S. 2018. Autonomous Vehicle Logistic System: Joint Routing and Charging Strategy. *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19, 2175-2187.
- ZAIDI, A. A., KULCSAR, B. ve WYMEERSCH, H. 2016. Back-Pressure Traffic Signal Control With Fixed and Adaptive Routing for Urban Vehicular Networks. *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17, 2134-2143.
- ZHANG, D., YU, C. H., DESAI, J., LAU, H. Y. K. ve SRIVATHSAN, S. 2017. A time-space network flow approach to dynamic repositioning in bicycle sharing systems. *Transportation Research Part B-Methodological*, 103, 188-207.

- ZHANG, R. ve PAVONE, M. 2016. Control of robotic mobility-on-demand systems: A queueing-theoretical perspective. *International Journal of Robotics Research*, 35, 186-203.
- ZISSIS, D., AKTAS, E. ve BOURLAKIS, M. 2018. Collaboration in urban distribution of online grocery orders. *International Journal of Logistics Management*, 29, 1196-1214.
- ZSIGRAIOVA, Z., SEMIAO, V. ve BEIJOCO, F. 2013. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal. *Waste management*, 33, 793-806.

## EKLER

### EK – 1. ASM İsimleri ve Numaraları

Nokta No	Adı
0	Çankaya 1 Nolu Aile Sağlığı Merkezi
1	Çankaya 4 Nolu Aile Sağlığı Merkezi
2	Çankaya Hilal Aile Sağlığı Merkezi
3	Çankaya 5 Nolu Aile Sağlığı Merkezi
4	Cebeci Aile Sağlığı Merkezi
5	T.C. Sağlık Bakanlığı Atakule Aile Sağlığı Merkezi
6	Mürsel Uluç Aile Sağlığı Merkezi
7	Tınaztepe Aile Sağlığı Merkezi
8	Çankaya 2 Nolu ASM
9	Çankaya 7 No'lu Aile Sağlığı Merkezi
10	19 Mayıs Aile Sağlığı Merkezi
11	Asya aile sağlığı merkezi
12	Ayvalı Zeki Polat Aile Sağlığı Merkezi
13	Emrah Aile Sağlığı Merkezi
14	Keçiören Baltacılar Aile Sağlık Merkezi
15	Keçiören Kuşcağız Aile Sağlığı Merkezi
16	Keçiören Kamil Ocak 2 Nolu Aile Sağlık Mrk.
17	Keçiören Aşağıteğlence Asm
18	Adnan Yüksel ASM Aile Sağlığı Merkezi
19	Yenimahalle 1 Nolu Aile Sağlık Merkezi
20	Yenimahalle Havacılar Aile Sağlığı Merkezi
21	Kaletepe Aile Sağlığı Merkezi
22	Elife Mehmet Kahraman Aile Sağlığı Merkezi

- 23 Yenimahalle Varlık Aile Sağlık Merkezi
- 24 Yenimahalle Arif Göçmen Aile Sağlık Mrk.
- 25 Bestepe Aile Sağlığı Merkezi
- 26 Etimesgut 1 Nolu Aile Sağlığı Merkezi
- 27 Ahimesut Aile Sağlığı Merkezi
- 28 T.C. Sağlık Bakanlığı Etimesgut Alsancak Aile Sağlığı Merkezi
- 29 Eryaman 2 Nolu Aile Sağlığı Merkezi
- 30 Eryaman 4 No'lu Aile Sağlığı Merkezi
- 31 Etimesgut Türkkonut Osman Arıoğlu Eryaman 7 No Asm
- 32 Altındağ Müzeyyen Şükrü İlhan Aile Sağlık Merkezi
- 33 Altındağ Merkez Sağlık Ocağı- Aile Sağlığı Merkezi
- 34 Altındağ Durmuş Ali Yaman Aile Sağlık Merkezi
- 35 T.C. Sağlık Bakanlığı Altındağ Zübeyde Hanım Aile Sağlığı Merkezi
- 36 Altındağ Anafartalar Aile Sağlığı Merkezi
- 37 Altındağ Seyfi Demirsoy Mahallesi Aile Sağlık Merkezi
- 38 Baglica aile sagligi merkezi
- 39 T.C. Sağlık Bakanlığı Cevzlidere Aile Sağlığı Merkezi
- 40 Batıkent 4 Nolu Aile Sağlığı Merkezi
- 41 Yenimahalle Umut Aile Sağlığı Merkezi
- 42 Yenimahalle 4 Nolu Aile Sağlığı Merkezi

## EK – 2. Noktalar Arası Mesafe Verisi

Nokta	METRE																																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
0	0	5852	7873	5647	4522	5744	14072	5424	1790	4334	8328	9983	8840	7380	11108	10107	9069	6370	7236	6057	8287	14398	7718	4154	14161	6398	18129	22525	20411	20972	24279	23288	12324	6249	9218	4483	3534	7534	22722	8310	18247	14849	21760
1	6162	0	4293	7599	6474	3695	4811	5074	4306	4600	16849	18507	17073	15335	19063	18062	17586	14603	15469	13158	14830	18282	17947	11101	18045	8640	21977	26363	25794	25042	28349	27358	20669	8344	17735	11430	7258	15879	22368	4941	22316	19998	25829
2	8983	4150	0	7628	8516	2402	4925	5463	7137	7782	20350	17192	15696	18836	22564	21563	15102	13226	14092	14228	18874	22326	21991	11459	22089	11990	25242	30407	29838	29086	32393	31402	18181	10386	15250	14931	9300	18595	26412	11196	26360	24042	29873
3	4915	9664	7911	0	1753	7213	12802	2862	5730	8351	11446	11714	10576	9932	13660	12659	10117	8106	8973	9688	11609	17720	12514	8158	17483	9943	21451	25848	23733	24295	27601	26611	8270	2747	10265	6772	4186	5723	26044	13998	21569	18171	25082
4	4424	9421	8823	1384	0	8847	19328	3422	5239	7859	10547	10814	9677	9033	12761	11760	9217	7207	8073	8788	11117	12772	10449	6885	16991	9511	20959	25356	23242	23803	27110	26119	7370	1848	9366	5873	3287	4823	25553	13566	21077	17680	24590
5	7586	3492	2942	6794	7119	0	6089	4914	5094	5380	17630	19288	17853	16115	19844	18843	13705	15383	16250	13938	16304	19757	19421	11881	19520	9421	22672	27837	27269	26516	29823	28832	21449	8989	13853	12210	7903	16660	23843	5721	23791	21473	27304
6	13461	3683	5135	18683	17558	5582	0	14264	8774	9462	20832	22490	21055	19317	23046	22045	21569	18585	19452	17140	16042	19494	19159	15083	19257	12141	23188	27575	27006	26254	29561	28570	24651	19191	21717	15412	16690	19862	23580	6095	23528	21210	27041
7	5136	6266	5182	2483	2768	4493	11181	0	3813	6461	12943	13676	11557	11429	15157	14156	10159	8283	9150	9097	11830	17940	10758	6754	17704	8666	21672	26068	23954	24515	27822	26831	10138	3948	10308	7523	3835	7591	26265	9924	21790	18392	25303
8	2254	5144	6699	3671	2546	4570	8599	2710	0	4706	10184	11839	10696	9236	12964	11963	9757	8226	9092	8883	13795	17247	16912	6115	17011	6912	20163	25328	24760	24007	27314	26323	14180	3726	9906	5813	3956	9390	21334	8170	21281	18963	24795
9	4819	4720	7963	10042	8917	5834	9586	5622	4858	0	12190	13848	12414	10676	14404	13403	12927	9944	10810	8498	10865	14317	13982	6441	14080	3981	17322	22397	21829	21077	24383	23393	16010	10550	13076	6770	8048	11220	18403	3219	18351	16033	21864
10	8839	17322	15594	12128	11003	13465	20917	12100	10003	13558	0	1466	4678	2327	2414	2104	4065	3384	3722	8871	11756	8000	8177	6252	14324	11100	24028	28425	26311	24451	29194	31065	12603	8114	7412	6123	7205	5706	26221	15155	22803	18318	21233
11	9509	17991	16264	12798	11673	14135	21586	12769	10672	14228	1400	0	6058	3420	2178	1868	4592	4683	5204	9957	12991	9047	9158	7337	14088	11769	24698	35727	26980	29279	28958	30829	8042	8784	6315	6793	7875	8483	26891	15824	22567	23765	20997
12	8939	16638	15225	10498	11103	13096	20233	12200	10103	12875	5271	5317	0	3503	6847	3570	15830	3722	1971	3195	6302	3313	3480	4907	6512	10416	21329	34227	35404	27779	27458	29329	13940	8023	9844	6223	7114	9150	26215	14471	21067	9995	19497
13	7233	15629	13988	10522	9397	11859	19224	10494	8397	11866	2105	3554	3513	0	4110	2733	6370	1597	2402	6595	9479	6835	6677	3975	15364	9407	20966	28523	24705	22175	25482	24491	10919	6508	6518	4517	5599	6129	24529	13462	19450	16042	22043
14	11189	19398	17944	14478	13353	15815	22993	14450	12353	15635	2444	2189	6848	4082	0	1898	5754	5417	5179	10090	13740	9838	10337	8236	15161	13176	26277	34578	35755	28130	27809	29680	14052	10464	9256	8473	9555	10164	28298	17231	21418	22616	19847
15	9744	18141	16500	13034	11909	14371	21736	13005	10908	14377	2029	1782	4327	2693	1810	0	5653	4028	3397	6006	12483	7317	7351	6979	12358	11919	23969	34503	35680	28055	27734	29605	13430	9020	9068	7029	8111	8640	27040	15974	21342	14207	19772
16	9131	17527	14873	12420	11295	12744	21122	10884	10295	13763	5435	4351	9430	6293	5839	7003	0	6960	7827	10206	12526	13140	12364	7233	23022	11305	24320	30421	29852	25222	35669	27538	6022	8406	2739	6415	6700	5260	26426	15360	29278	19088	27708
17	6545	14244	12831	8104	8709	10702	17839	9806	7709	10481	3003	4539	3313	1247	5095	3717	7301	0	2092	4123	8017	6791	6015	2513	13901	8022	19504	27138	22672	20713	24020	23029	11546	5629	7450	3829	4720	6757	23144	12077	17987	14580	21500
18	7376	15075	13662	8935	9540	11533	18670	10637	8540	11312	3800	5185	1984	2454	5165	3438	8132	2159	0	3186	6293	4768	4531	3344	7548	8853	20334	35764	22818	21544	28995	23860	12377	6460	8281	4660	5551	7587	23975	12908	22604	11032	21034
19	6215	13331	13493	9504	8379	11364	16926	9503	7379	9567	9221	7740	3172	7650	7720	5993	10356	3714	2976	0	3168	3834	2109	3919	5700	7109	16737	22809	20695	17947	21254	20263	14798	8869	10505	5559	6525	10009	21619	11164	10246	9730	18734
20	8609	14494	15347	11747	10622	13218	18120	11719	9773	11422	11075	12733	5617	9561	15548	13845	12211	7861	8727	3380	0	3280	2220	5773	5226	6756	14667	20538	18424	15876	19183	18192	16653	10723	12359	7414	8616	11863	19548	12576	7773	7257	10773
21	9550	18693	16828	14485	13360	14699	22319	12839	10714	17088	8507	9312	3227	6738	9853	6550	22156	6040	4638	3371	3051	0	1481	6379	4044	13627	19028	31277	21405	20238	24508	26379	17366	10655	12965	8894	9746	12576	23747	16775	9922	7527	16547
22	8128	16490	15406	11417	10292	13277	20116	11417	9292	11481	10533	9153	3511	6714	14290	7406	21837	5682	4390	1949	1720	1439	0	6021	3724	11423	16825	30958	19202	18035	24189	20351	16712	10296	12607	7472	8438	11922	21544	14572	9211	7208	16227
23	5713	11974	12991	9002	7877	10862	15569	9001	6877	8211	6304	7962	4979	4790	8518	7517	7440	3090	3956	3218	5538	6721	4879	0	11422	5752	17024	22307	20193	18233	21540	20549	11989	5952	7588	2432	5043	7199	21905	9807	15508	12100	19021
24	14718	16338	25387	17856	16731	19645	19965	17826	15882	16278	17230	16008	6484	15716	13036	11333	20583	14016	7536	5640	5669	4011	3691	11929	0	11272	16674	25386	19050	11990	13082	20199	22163	16703	21542	12924	13835	17373	21392	14420	6168	3773	7867
25	4386	7478	10755	8766	7641	8626	11073	6807	6043	3715	10914	12573	11138	12137	13128	12127	11652	8668	9534	7223	8818	12270	11934	5166	12033	0	15545	20031	19463	19030	22336	21346	14734	9274	11800	5495	6772	9944	16037	5311	16304	13986	19817
26	18070	20111	29180	21208	20083	22670	23737	20851	19234	17759	23351	25009	22439	21837	31079	24564	24765	21105	21971	15859	15486	18939	18603	17602	18702	15044	0	4240	2474	5466	9085	7803	27171	21945	24913	17931	18794	22381	6623	18193	6545	7845	8396
27	22172	25457	29100	25310	24185	26971	29084	25152	24388	22059	33562	35218	31782	27549	32246	32045	39792	25849	33383	21904	20591	24043	23708	23762	27404	20063	4265	0	1685	9649	9470	7838	33996	28536	40751	24757	25668	29206	4700	23540	12590	13890	12697
28	20274	24732	28374	23411	22286	26245	28358	24427	23620	21334	25555	36446	33010	24041	33474																												

## EK – 3. Noktalar Arası Seyahat Süresi Verisi

Nokta	SANİYE																																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
0	0	881	1057	775	605	714	1182	696	364	683	993	1185	1028	833	1279	1196	991	712	822	829	909	1278	1149	574	1184	797	1217	1670	1568	1494	1684	1653	1122	721	996	549	678	799	1421	862	1495	1513	1552
1	806	0	671	1069	899	478	647	676	616	580	1337	1593	1415	1167	1613	1530	1418	1098	1209	1130	1093	1401	1296	851	1306	814	1452	1721	1681	1657	1847	1815	1513	1143	1422	826	982	1189	1458	615	1658	1630	1714
2	1063	622	0	1005	1118	388	566	861	925	1033	1707	1945	1848	1537	1983	1900	1718	1531	1642	1525	1441	1748	1644	1276	1653	1141	1809	2068	2028	2004	2194	2162	1451	1362	1723	1196	1201	1348	1805	809	2005	1977	2061
3	758	1332	1037	0	247	951	1333	424	916	1183	1298	1493	1304	1129	1574	1492	1225	987	1098	1184	1207	1577	1428	885	1482	1061	1516	1968	1867	1793	1983	1951	1188	496	1230	884	730	821	1720	1310	1794	1812	1850
4	722	1319	1214	281	0	1094	1570	627	881	1148	1177	1372	1182	1007	1453	1370	1104	866	977	1063	1172	1577	1382	807	1447	1000	1481	1933	1831	1757	1947	1916	1067	375	1108	763	608	699	1684	1249	1758	1776	1815
5	833	517	483	923	889	0	835	709	736	645	1402	1658	1480	1232	1678	1595	1488	1163	1274	1194	1178	1486	1382	916	1391	879	1547	1806	1766	1742	1932	1900	1578	1133	1493	890	972	1254	1543	680	1743	1715	1799
6	1103	573	650	1387	1217	780	0	1117	1165	685	1473	1730	1551	1304	1749	1667	1554	1235	1346	1266	1235	1542	1438	987	1448	1014	1594	1863	1823	1799	1988	1957	1650	1313	1559	962	1274	1326	1599	477	1800	1771	1856
7	743	1002	857	399	409	689	1229	0	799	915	1310	1543	1344	1140	1586	1503	1295	1108	1219	1080	1193	1562	1399	905	1468	1016	1502	1954	1853	1779	1969	1937	1476	719	1299	799	693	1108	1706	1095	1780	1797	1836
8	488	758	875	694	524	532	1276	514	0	656	1290	1483	1326	1131	1576	1494	1248	1009	1120	1056	1056	1364	1259	807	1269	757	1424	1684	1644	1620	1810	1778	1420	834	1253	821	732	1096	1420	836	1621	1593	1677
9	618	632	1055	901	731	712	838	631	622	0	988	1244	1066	818	1264	1181	1069	749	860	781	765	1072	968	502	977	465	1133	1392	1352	1328	1518	1486	1164	827	1073	477	788	840	1129	483	1329	1301	1385
10	888	1432	1656	1138	968	1314	1493	1216	1088	1151	0	282	728	342	334	303	722	624	638	1015	1174	1265	1169	649	1332	924	1577	2029	1928	1735	1662	1908	1100	792	869	596	804	796	1693	1172	1591	1779	1415
11	1007	1551	1775	1257	1088	1433	1613	1336	1207	1270	266	0	790	539	358	321	753	814	793	1137	1248	1288	1286	770	1350	1043	1696	2039	2047	1800	1686	1933	1176	911	862	715	923	896	1813	1292	1616	1732	1440
12	967	1473	1800	1305	1047	1458	1534	1295	1167	1191	702	831	0	545	681	555	977	559	254	473	876	536	501	601	803	964	1493	1685	1769	1446	1333	1580	1247	838	1084	675	851	924	1773	1213	1263	1203	1087
13	755	1282	1523	1005	835	1180	1344	1083	955	1001	305	546	581	0	566	376	742	343	450	762	921	1118	963	396	1171	774	1371	1807	1795	1482	1672	1640	953	658	747	462	671	630	1544	1023	1483	1525	1446
14	1210	1729	1978	1460	1290	1635	1790	1538	1410	1448	354	378	674	574	0	298	869	863	738	1152	1430	1173	1176	904	1067	1221	1647	1757	1841	1518	1405	1651	1272	1113	1143	918	1126	1098	1991	1470	1334	1450	1158
15	1049	1576	1817	1299	1129	1474	1638	1377	1249	1295	301	332	519	348	303	0	995	637	502	924	1277	1018	996	751	1080	1068	1727	1766	1850	1527	1414	1660	1247	952	1067	756	965	924	1838	1317	1343	1478	1167
16	892	1405	1698	1142	972	1356	1466	1337	1092	1124	720	687	1040	704	848	953	0	723	834	971	1102	1409	1253	698	1294	897	1581	1930	1890	1662	1632	1820	729	796	491	600	797	669	1666	1145	1561	1706	1386
17	700	1206	1534	1039	781	1191	1267	1029	900	925	535	767	589	263	786	596	813	0	364	648	860	965	809	335	1110	698	1310	1731	1690	1421	1611	1579	981	572	818	408	584	657	1467	946	1422	1464	1478
18	810	1316	1644	1149	891	1302	1377	1139	1010	1035	638	796	284	429	730	521	923	402	0	539	943	791	610	445	1051	808	1420	1871	1792	1531	1518	1689	1091	682	928	518	695	767	1577	1056	1448	1451	1272
19	764	1201	1442	1014	844	1100	1262	1081	964	920	986	1201	461	798	1134	925	1105	647	535	0	523	579	413	524	938	693	1170	1655	1554	1281	1470	1439	1223	895	1109	536	819	900	1417	942	1226	1127	1338
20	869	1166	1586	1092	922	1244	1278	1171	1069	1064	1131	1387	822	961	1180	1222	1249	844	955	546	0	528	341	669	564	682	1007	1551	1449	1118	1308	1276	1368	1039	1254	680	952	1044	1254	893	878	779	1139
21	1286	1459	1964	1573	1403	1621	1571	1603	1486	1347	1227	1329	524	1070	1148	1054	1309	962	771	562	563	0	241	852	577	1042	1335	1712	1707	1446	1360	1607	1645	1206	1437	1058	1219	1321	1547	1186	1208	977	1114
22	1068	1317	1746	1318	1148	1403	1429	1385	1268	1224	1178	1304	504	1000	1134	1029	1244	848	639	344	354	265	0	738	512	900	1192	1647	1564	1303	1295	1462	1527	1092	1323	839	1123	1203	1405	1044	1122	912	1049
23	599	1019	1277	849	679	934	1080	916	798	738	640	897	650	471	916	834	759	354	465	427	558	877	747	0	808	511	1008	1489	1388	1119	1309	1277	971	549	764	273	562	647	1255	759	1120	1163	1176
24	1055	1158	1698	1278	1108	1338	1270	1280	1255	1046	1325	1333	793	1156	1061	1103	1170	1039	1059	838	529	595	494	863	0	741	1033	1509	1405	1134	1252	1303	1526	1189	1358	839	1098	1203	1246	885	704	473	806
25	630	742	1095	856	686	752	803	694	686	461	942	1199	1021	773	1218	1136	1023	704	815	735	601	909	805	456	814	0	961	1191	1151	1165	1355	1323	1119	782	1028	431	743	795	928	882	1166	1138	1222
26	1168	1316	1857	1390	1221	1494	1428	1436	1367	1203	1518	1774	1553	1349	1674	1712	1632	1280	1391	1222	951	1258	1154	1032	1164	899	0	588	431	512	837	678	1694	1362	1637	1007	1345	1371	720	1043	655	773	703
27	1682	1695	2169	1905	1735	1827	1807	1769	1760	1535	1942	1975	1561	1755	1703	1741	1813	1638	1751	1576	1291	1598	1494	1462	1372	1242	570	0	225	718	725	813	2125	1788	2000	1438	1697	1802	387	1422	1009	1127	906
28	1510	1668	2142	1733	1563	1800	1780	1742	1710	1508	1861	2069	1655	1691	1797	1835	1907	1622	1733	1583	1293	1601	1496	1375	1465	1215	399	231	0	812	819	906	2037	1705	1980	1350	1688	1713	446	1395	1016	1134	1000
29	1388	1520	2061	1611	1441	1736	1632	1642	1588	1408	1648	1750	1336	1479	1478	1516	1588	1362	1472	1300	1015	1322	1218	1186	1123	1103	481	814	853	0	455	433	1849	1512	1771	1162	1421	1525	1142	1247	683	791	478
30	1659	1792	2332	1882	1713	2007	1903	1913	1859	1680	1801	1834	1420	1750	1562	1600	1672	1633	1610	1571	1286	1519	1418	1457	1230	1374	768	743	827	439	0	351	2059	1783	1859	1433	1692	1797	964	1518	866	974	661
31	1583	1716	2256	1806	1637	1931	1827	1837	1783	1604	1843	2062																															

## EK – 4. Noktalar Arası Yakıt Tüketimi Verisi (YT1)

Nokta	Litre																																											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
0	0,0000	0,4811	0,6077	0,4409	0,3484	0,4276	0,9697	0,4993	1,1806	0,3664	0,6094	0,7292	0,6408	0,5294	0,8023	0,7374	0,6440	0,4555	0,5202	0,4722	0,5891	0,9900	0,6304	0,3255	0,9763	0,4767	1,3301	1,5897	1,4269	1,5002	1,7552	1,6681	0,8479	0,4517	0,6525	0,3316	0,3415	0,5306	1,7330	0,5822	1,2608	1,0362	1,5558	
1	0,4696	0,0000	0,3611	0,6011	0,5086	0,2801	0,3717	0,3902	0,3438	0,3446	1,1699	1,2734	1,1781	1,0745	1,3129	1,2439	1,2178	1,0265	1,0772	0,9054	1,0486	1,2788	1,2775	0,7764	1,2835	0,5959	1,6252	1,9619	1,9213	1,8505	2,1119	2,0189	1,4646	0,6508	1,2292	0,8134	0,5625	1,1175	1,6659	0,3680	1,5740	1,3827	1,9059	
2	0,6554	0,3403	0,0000	0,5833	0,6501	0,2063	0,3555	0,4619	0,5415	0,5973	1,4025	1,2342	1,1430	1,3021	1,5516	1,4827	1,0862	0,9571	1,0222	1,0049	1,3214	1,5542	1,5483	0,8184	1,5547	0,8278	1,8016	2,2173	2,1765	2,1088	2,3667	2,2774	1,2611	0,7924	1,0943	1,0350	0,7044	1,3219	1,9218	0,7968	1,8472	1,6604	2,1646	
3	0,4100	0,7562	0,6035	0,0000	0,1388	0,5518	0,8976	0,2331	0,4888	0,6631	0,8224	0,8818	0,7846	0,7142	0,9869	0,9222	0,7449	0,5982	0,6635	0,7160	0,8137	1,2185	0,9010	0,5781	1,2040	0,7014	1,5391	1,8109	1,6506	1,7171	1,9682	1,8847	0,6618	0,2542	0,7526	0,5155	0,3781	0,4576	1,9264	0,9648	1,4877	1,2629	1,7730	
4	0,3824	0,7433	0,6897	0,1395	0,0000	0,6571	1,3370	0,3199	0,4618	0,6349	0,7538	0,8124	0,7150	0,6454	0,9181	0,8530	0,6757	0,5290	0,5943	0,6468	0,7818	0,9481	0,8006	0,5005	1,1697	0,6684	1,5039	1,7759	1,6160	1,6822	1,9335	1,8495	0,5924	0,1862	0,6833	0,4461	0,3094	0,3879	1,8922	0,9339	1,4534	1,2304	1,7378	
5	0,5395	0,2843	0,2553	0,5276	0,5310	0,0000	0,4752	0,3942	0,4090	0,3945	1,2237	1,3272	1,2319	1,1279	1,3668	1,2977	0,9714	1,0797	1,1309	0,9592	1,1603	1,3886	1,3898	0,8299	1,3961	0,6492	1,6508	2,0785	2,0381	1,9667	2,2286	2,1350	1,5174	0,6733	0,9799	0,8664	0,5857	1,1707	1,7827	0,4181	1,6853	1,4893	2,0220	
6	0,9301	0,3089	0,3854	1,3181	1,2697	0,4400	0,0000	0,9929	0,6735	0,6729	1,4944	1,5717	1,4889	1,4135	1,6159	1,5472	1,5366	1,3704	1,4077	1,2111	1,1209	1,3543	1,3474	1,1210	1,3536	1,8371	1,6828	2,0170	1,9762	1,9800	2,1670	2,0767	1,8112	1,3957	1,5491	1,1769	1,1685	1,4612	1,7218	0,4243	1,6464	1,4624	1,9638	
7	0,4126	0,5346	0,4518	0,2125	0,2251	0,3735	0,7954	0,0000	0,3936	0,5130	0,9020	0,9809	0,8377	0,7943	1,0640	0,9973	0,7648	0,6382	0,7036	0,6645	0,8239	1,2338	0,8175	0,5208	1,2215	0,6300	1,5673	1,8339	1,6718	1,7421	1,9951	1,9101	0,8174	0,3675	0,7720	0,5301	0,3551	0,6130	1,9599	0,7068	1,5061	1,2740	1,7982	
8	0,2386	0,4176	0,5101	0,3510	0,2592	0,3314	0,7010	0,2597	0,0000	0,3704	0,7645	0,8843	0,7953	0,6832	0,9560	0,8924	0,7357	0,6089	0,6742	0,6492	0,9652	1,1983	1,1921	0,4680	1,1284	0,4912	1,4470	1,8671	1,8265	1,7570	2,0169	1,9256	0,9862	0,4048	0,7432	0,4608	0,3725	0,6816	1,5718	0,5706	1,4908	1,3068	1,8127	
9	0,3638	0,3638	0,6106	0,6906	0,6161	0,4309	0,6592	0,4026	0,3665	0,0000	0,8435	0,9524	0,8542	0,7468	0,9905	0,9216	0,8922	0,6986	0,7502	0,5850	0,7807	1,0075	1,0116	0,4488	1,0177	0,2890	1,2775	1,7148	1,6750	1,6003	1,8649	1,7676	1,1370	0,7342	0,9033	0,4863	0,5577	0,7896	1,4207	0,2641	1,3050	1,1092	1,6548	
10	0,6151	1,1956	1,0987	0,8361	0,7566	0,9326	1,4951	0,8421	0,7094	0,9336	0,0000	1,1419	0,3924	0,1886	0,1993	0,1686	0,3719	0,1178	0,3323	0,6393	0,8172	0,6778	0,6526	0,4381	0,9868	0,7656	1,7830	2,0318	1,8637	1,7516	2,3780	2,3965	0,8667	0,5620	0,5389	0,4239	0,5149	0,4493	1,9630	1,0578	1,6445	1,2678	1,5634	
11	0,6695	1,2378	1,1545	0,8872	0,8043	0,9854	1,5200	0,8963	0,7661	0,9784	0,1343	0,0000	0,4610	0,2891	0,1891	0,1671	0,3982	0,4221	0,4310	0,7171	0,8978	0,7204	0,7237	0,5154	0,9734	0,8092	1,7932	2,9044	1,8919	2,2573	2,3186	2,3476	0,6501	0,6153	0,4916	0,4775	0,5725	0,5969	1,9689	1,0938	1,6112	1,6864	1,5254	
12	0,6330	1,1440	1,1104	0,7815	0,7658	0,9353	1,4191	0,8595	0,7305	0,8866	0,4052	0,4472	0,0000	0,2938	0,4756	0,2993	1,2174	0,3056	0,1491	0,2601	0,4953	0,2848	0,2788	0,3630	0,4831	0,7173	1,5361	3,1836	3,2434	2,4449	2,5917	2,5016	0,9586	0,5630	0,7007	0,4410	0,5212	0,6374	1,9166	0,9974	1,6517	0,7341	1,6150	
13	0,5074	1,0797	0,9923	0,7267	0,6462	0,8239	1,3852	0,7343	0,6039	0,8174	0,1693	0,2958	0,3063	0,0000	0,3214	0,2136	0,4620	0,1680	0,2282	0,4769	0,6561	0,5917	0,5355	0,2762	1,0761	0,6496	1,5588	2,1586	1,7549	1,6305	1,8912	1,7991	0,7509	0,4535	0,4700	0,3155	0,4105	0,4285	1,8635	0,9436	1,3622	1,1074	1,6362	
14	0,7922	1,3339	1,2776	1,0083	0,9235	1,1071	1,6025	1,0187	0,8895	1,0768	0,1965	0,1964	0,4749	0,3228	0,0000	0,1601	0,4740	0,4611	0,4126	0,7266	0,9633	0,7199	0,7435	0,5856	1,0896	0,9075	2,0014	3,1150	3,1798	2,3958	2,5194	2,4631	0,9666	0,7376	0,6871	0,6002	0,6960	0,7194	2,0339	1,1861	1,6377	1,6998	1,5866	
15	0,6890	1,2477	1,1744	0,9058	0,8218	1,0043	1,5269	0,9156	0,7863	0,9888	0,1654	0,1686	0,3174	0,2040	0,1591	0,0000	0,5139	0,3413	0,2763	0,5003	0,8718	0,5754	0,5701	0,4934	0,8499	0,8197	1,7075	3,0862	3,1520	2,3715	2,4902	2,4409	0,9251	0,6345	0,6602	0,4969	0,5930	0,6099	1,9723	1,1029	1,6217	0,9959	1,5673	
16	0,6325	1,2149	1,0710	0,8550	0,7772	0,8983	1,5266	0,8062	0,7251	0,9513	0,4167	0,3683	0,6715	0,4501	0,4701	0,5443	0,0000	0,4877	0,5519	0,7046	0,8613	0,9282	0,8619	0,5002	1,8944	0,7850	1,8139	2,3003	2,2601	1,8678	3,5951	0,7046	0,2062	0,4433	0,5800	0,2522	0,4421	0,4898	0,3956	2,0057	1,0823	2,5205	1,3126	2,5355
17	0,4620	0,9810	0,9399	0,6117	0,5989	0,7642	1,2775	0,6888	0,5596	0,7207	0,2753	0,4014	0,3033	0,1294	0,4251	0,3177	0,5215	0,0000	0,1887	0,3480	0,5664	0,5402	0,4647	0,1933	0,9641	0,5517	1,4306	2,0457	1,5976	1,5045	1,7631	1,6732	0,7950	0,3926	0,5298	0,2700	0,3507	0,4677	1,7510	0,8406	1,2498	1,0146	1,5603	
18	0,5246	1,0367	1,0034	0,6754	0,6574	0,8274	1,3198	0,7511	0,6229	0,7785	0,3346	0,4313	0,1585	0,2221	0,4096	0,2838	0,5844	0,2042	0,0000	0,2820	0,5160	0,4166	0,3502	0,2570	0,5938	0,6092	1,4659	3,1330	1,5875	1,5425	2,5382	1,7108	0,8511	0,4545	0,5926	0,3326	0,4145	0,5286	1,7771	0,8920	1,6997	0,8429	1,6394	
19	0,4605	0,9169	0,9522	0,6704	0,5834	0,7862	1,1926	0,6835	0,5620	0,6613	0,6508	0,6481	0,2555	0,6744	0,6257	0,5002	0,7305	0,3315	0,2745	0,0000	0,2759	0,3158	0,2069	0,3019	0,4954	0,4923	1,2061	1,6209	1,4552	1,2829	1,5384	1,4511	1,0214	0,6177	0,7390	0,3844	0,4878	0,6884	1,6054	0,7691	0,7508	0,7043	1,3388	
20	0,5997	1,0041	1,0742	0,8092	0,7306	0,9115	1,3011	0,8148	0,6942	0,7870	0,7732	0,9034	0,4542	0,6654	1,0902	0,9520	0,8528	0,5555	0,6200	0,2902	0,0000	0,2810	0,1847	0,4179	0,3698	0,4706	1,0650	1,4419	1,2814	1,1407	1,3972	1,3091	1,1503	0,7419	0,8617	0,5103	0,6139	0,8157	1,4688	0,9007	0,5577	0,5128	0,7582	
21	0,7383	1,3021	1,2214	1,0268	0,9387	1,0467	1,6039	0,9576	0,8411	1,1880	0,6823	0,7954	0,2780	0,5724	0,7147	0,5611	1,7551	0,5140	0,4057	0,2955	0,2867	0,0000	0,1278	0,4911	0,3224	0,9537	1,3692	2,6311	1,4849	1,4461	2,0380	2,0459	1,1983	0,7651	0,9246	0,6502	0,7275	0,8836	1,7692	1,2034	0,7322	0,5715	1,2140	
22	0,6207	1,1437	1,1067	0,8254	0,7355	0,9343	1,4404	0,8412	0,7233	0,8097	0,8127	0,7291	0,2808	0,5485	0,9922	0,5819	1,7778	0,4648	0,3539	0,1775	0,1751	0,1350	0,0000	0,4455	0,2910	0,7942	1,2060	2,6704	1,3278	1,2835	2,0747	1,4513	1,1500	0,7252	0,8856	0,5351	0,6485	0,8304	1,6041	1,0402	0,6798	0,5408	1,2140	
23	0,4012	0,8244	0,9007	0,6209	0,5419	0,7474	1,1255	0,6280	0,4981	0,5647	0,4396	0,5708	0,3791	0,3321	0,6021	0,5363	0,5193	0,2228	0,2879	0,2469	0,3856	0,5116	0,4052	0,0000	0,8192	0,3955	1,3464	1,6412	1,4655	1,4073	1,6733	1,5734	0,8297	0,4098	0,5283	0,1741	1,3603	0,4951	1,7754	0,6844	1,1039	0,8363	1,4611	
24	1,0504	1,1709	1,7458	1,2751	1,2358	1,4316	1,5074	1,2714	1,1036	1,1659	1,2042	1,1040	0,4794	1,1119	0,9015	0,7846	1,6786	0,9892	0,5958	0,4601	0,3906	0,3269	0,2845	0,8																				



## EK – 5. Noktalar Arası Yakıt Tüketimi Verisi (YT2)

Nokta	Litre																																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
0	0,0000	0,7152	1,0423	0,6355	0,3948	0,7842	1,4322	0,3927	0,1979	0,4235	0,7458	0,9077	0,8150	0,6180	1,2026	0,8268	0,7228	0,4828	0,6091	0,4896	0,6393	1,2629	0,6923	0,2378	1,0417	0,5047	1,2558	1,5235	1,3868	1,4437	1,7210	1,5883	1,0334	0,4738	0,8055	0,3059	0,3894	0,5879	1,7607	0,7404	1,2419	1,0387	1,5768
1	0,2502	0,0000	0,4583	0,5566	0,3242	0,3907	0,5871	0,2722	0,1471	0,2005	1,1133	1,2324	1,1377	0,9459	1,4940	1,2725	1,0810	0,8411	0,9497	0,7022	0,8316	1,3174	1,0822	0,5194	1,1112	0,3942	1,3217	1,7206	1,6638	1,5588	1,7866	1,7050	1,4387	0,4763	1,1658	0,5714	0,3713	0,9611	1,4627	0,3214	1,3215	1,0701	1,6935
2	0,3077	0,2613	0,0000	0,4405	0,3461	0,1397	0,6175	0,2230	0,2090	0,3166	1,2288	1,0588	0,9525	1,0547	1,6190	1,3959	0,7881	0,6128	0,7381	0,6607	0,9831	1,4735	1,1318	0,4197	1,2622	0,4971	1,3928	1,8617	1,8034	1,6985	1,9859	1,8454	1,0123	0,5050	0,8745	0,6707	0,3940	0,9493	1,6054	0,6575	1,4764	1,2275	1,8348
3	0,2403	0,8063	0,7617	0,0000	0,0037	0,7070	1,3271	0,1745	0,3436	0,5651	0,7792	0,8585	0,7570	0,6077	1,1602	0,9559	0,6274	0,4420	0,5575	0,5580	0,6867	1,3038	0,7709	0,3510	1,0875	0,5151	1,2843	1,5624	1,4301	1,4817	1,7577	1,6267	0,6742	0,1125	0,7024	0,3252	0,2603	0,3179	1,7774	0,9384	1,2909	1,0873	1,6146
4	0,3319	0,9150	0,9667	0,2767	0,0000	0,9655	1,7688	0,4157	0,4454	0,6703	0,8355	0,9149	0,8144	0,6633	1,2172	1,0118	0,6859	0,4981	0,6156	0,6256	0,7853	1,1436	0,8211	0,4249	1,1869	0,6198	1,3829	1,6624	1,5290	1,5792	1,8532	1,7234	0,7390	0,1757	0,7594	0,3764	0,3203	0,3859	1,8735	1,0578	1,3881	1,1879	1,7118
5	0,2766	0,2405	0,3397	0,4758	0,3113	0,0000	0,6458	0,2561	0,1392	0,1794	1,1108	1,2314	1,1359	0,9397	1,4993	1,2733	0,7602	0,8323	0,9437	0,6918	0,8868	1,3774	1,1121	0,5042	1,1696	0,3808	1,3060	1,7864	1,7288	1,6212	1,9122	1,6965	1,4375	0,4693	0,8475	0,5565	0,3591	0,9544	1,5293	0,3143	1,3792	1,1206	1,7575
6	0,4110	0,0810	0,1433	1,0252	0,8086	0,2859	0,0000	0,5982	0,2285	0,2216	1,1487	1,2465	1,1607	0,9881	1,5235	1,2938	1,1066	0,8836	0,9826	0,7003	0,6029	1,0833	0,8746	0,5477	0,8780	0,3433	1,0892	1,4927	1,4323	1,3208	1,6116	1,4686	1,5040	0,9066	1,1982	0,6196	0,6987	1,0087	1,2408	0,0924	1,0994	0,8353	1,4555
7	0,3116	0,6437	0,6852	0,2471	0,1649	0,5955	1,3545	0,0000	0,3096	0,4790	0,9434	1,0463	0,8987	0,7651	1,3404	1,1225	0,7215	0,5515	0,6747	0,5648	0,7694	1,3912	0,7599	0,3784	1,1789	0,5426	1,3877	1,6610	1,5259	1,5807	1,8570	1,7259	0,9014	0,2954	0,8020	0,3899	0,2837	0,5489	1,8610	0,7737	1,3827	1,1718	1,7130
8	0,2163	0,6165	0,9191	0,5243	0,2836	0,6610	1,1379	0,3526	0,0000	0,4257	0,8812	1,0453	0,9520	0,7529	1,3411	1,1207	0,7854	0,6166	0,7438	0,6495	0,9681	1,4668	1,2629	0,4147	1,2476	0,4899	1,3650	1,8287	1,7744	1,6777	1,9612	1,8226	1,1550	0,4163	0,8685	0,4212	0,4036	0,7201	1,5679	0,7343	1,4505	1,2075	1,8139
9	0,3005	0,5324	0,9663	0,8426	0,6079	0,7078	1,0747	0,4448	0,3219	0,0000	0,9473	1,0699	0,9750	0,7765	1,3400	1,1129	0,9122	0,6681	0,7819	0,5364	0,7250	1,2212	1,0082	0,3394	1,0093	0,2318	1,1411	1,6244	1,5700	1,4654	1,7553	1,6095	1,2691	0,6986	0,9988	0,3944	0,6164	0,7888	1,3659	0,3815	1,2092	0,9530	1,6006
10	0,4683	1,2815	1,4059	0,9039	0,6688	1,1615	1,8291	0,8218	0,5832	0,8481	0,0000	0,1677	0,4687	0,1144	0,4230	0,2470	0,3049	0,2009	0,3251	0,4715	0,6783	0,9527	0,5611	0,2275	0,9149	0,6156	1,5695	1,8261	1,6857	1,5039	2,1716	1,2159	0,9107	0,4448	0,5667	0,2525	0,4077	0,3778	1,8491	1,0771	1,4689	1,0797	1,4077
11	0,4802	1,2780	1,4152	0,9118	0,6745	1,1681	1,8055	0,8320	0,5971	0,8490	0,1047	0,0000	0,5146	0,1994	0,3773	0,2234	0,3199	0,2727	0,4073	0,5487	0,7623	0,8073	0,6654	0,2984	0,8886	0,6181	1,5373	2,6593	1,6713	2,0387	2,1036	2,0688	0,6867	0,4569	0,4536	0,2658	0,4250	0,4704	1,8144	1,0664	1,4236	1,4721	1,3579
12	0,4437	1,1995	1,3935	0,7837	0,6383	1,1392	1,7243	0,7985	0,5626	0,7685	0,3468	0,4138	0,0000	0,1990	0,6724	0,3225	1,1990	1,1488	0,0614	0,0946	0,3417	0,4654	0,1651	0,1399	0,3572	0,5349	1,2767	2,9214	3,0474	2,2190	2,3674	2,2093	0,9734	0,4055	0,6690	0,2257	0,3749	0,5234	1,7124	0,9835	1,4573	0,5179	1,4413
13	0,4234	1,2270	1,3572	0,8515	0,6177	1,1110	1,7838	0,7747	0,5396	0,7933	0,2385	0,3694	0,4013	0,0000	0,6213	0,3687	0,4502	0,1138	0,2571	0,4273	0,6378	0,8783	0,5315	0,1728	1,0730	0,5577	1,4268	2,0644	1,6354	1,5050	1,7896	1,6504	0,8544	0,3952	0,5295	0,2055	0,3605	0,4061	1,8046	1,0258	1,2751	1,0406	1,5795
14	0,3988	1,1733	1,3405	0,8389	0,5976	1,0913	1,6808	0,7532	0,5180	0,7498	0,0441	0,0101	0,2972	0,0142	0,0000	0,0544	0,1993	0,1186	0,1486	0,4057	0,5857	0,5936	0,4817	0,1388	0,7407	0,4777	1,5057	2,6058	2,7713	1,9360	2,0595	1,9375	0,8489	0,3825	0,4496	0,1872	0,3565	0,3969	1,6590	0,8900	1,2080	1,2436	1,1809
15	0,5772	1,3186	1,4667	0,9788	0,7570	1,2224	1,8351	0,9105	0,6899	0,8986	0,0950	0,1177	0,2996	0,1640	0,2516	0,0000	0,3521	0,2478	0,2599	0,4082	0,7731	0,5944	0,5183	0,3252	0,6763	0,6707	1,4952	2,7776	2,9100	2,1024	2,2215	2,1046	0,9604	0,5195	0,6532	0,3383	0,4876	0,5283	1,7771	1,1102	1,3828	0,7194	1,3497
16	0,5429	1,3594	1,4461	0,9740	0,7433	1,1951	1,9195	0,8472	0,6560	0,9253	0,4688	0,4637	0,7499	0,4491	0,7578	0,6833	0,0000	0,4249	0,4546	0,6459	0,8206	1,1108	0,8445	0,3806	1,8554	0,6899	1,6538	2,0032	2,1487	1,7204	3,4475	1,8658	0,5568	0,5160	0,3175	0,3278	0,4595	0,3461	1,9440	1,1608	2,4035	1,2238	2,4379
17	0,4298	1,1924	1,3747	0,7586	0,6196	1,1213	1,7419	0,7810	0,5468	0,7594	0,3870	0,5305	0,4355	0,1779	0,7632	0,5163	0,5633	0,0000	0,2524	0,3408	0,5758	0,7890	0,5166	0,1235	0,9894	0,5179	1,2381	2,0082	1,5273	1,4081	1,6898	1,5536	0,7297	0,4689	0,6393	0,2100	0,3510	0,4994	1,7479	0,9895	1,1913	0,9763	1,5416
18	0,4288	1,1858	1,3783	0,7651	0,6190	1,1239	1,7210	0,7820	0,5476	0,7541	0,3327	0,4647	0,2359	0,2272	0,6779	0,4081	0,5691	0,1319	0,0000	0,2181	0,4744	0,6780	0,3336	0,1256	0,7149	0,5163	1,3042	2,9520	1,4576	1,3876	2,3914	1,5330	0,9521	0,3883	0,6469	0,2104	0,3570	0,5028	1,7183	0,9759	1,5833	0,8958	1,5427
19	0,4413	1,1336	1,3772	0,8565	0,6163	1,1334	1,6647	0,7809	0,5621	0,7035	0,7768	0,7532	0,4231	0,7317	0,9709	0,7006	0,7804	0,3400	0,3380	0,0000	0,2839	0,5493	0,2564	0,2444	0,5383	0,4611	1,1189	1,5317	1,3926	1,2015	1,4793	1,3469	1,1885	0,6192	0,8577	0,3414	0,5100	0,7278	1,5907	0,9239	0,7339	0,6698	1,3334
20	0,5776	1,2488	1,4952	0,9854	0,7572	1,2560	1,7697	0,9104	0,6902	0,8373	0,9045	1,0483	0,4893	0,7303	1,4476	1,2055	0,9106	0,5665	0,6863	0,2879	0,0000	0,5109	0,2536	0,3733	0,4349	0,4652	0,9777	1,3533	1,2193	1,0598	1,3400	1,2050	1,3225	0,7524	0,9860	0,4794	0,6234	0,8630	1,4574	1,0562	0,5368	0,4723	0,7632
21	0,4549	1,2902	1,3878	0,9796	0,7446	1,1357	1,8274	0,7970	0,5857	0,9794	0,4129	0,7168	0,1068	0,2930	0,8344	0,5500	1,6339	0,2802	0,1534	0,1026	0,0815	0,0000	0,0033	0,1822	0,1569	0,6865	1,0273	2,2929	1,1799	1,1142	1,7416	1,6813	1,1162	0,5157	0,7977	0,3499	0,4909	0,6763	1,5188	1,0987	0,4970	0,3133	0,9658
22	0,5661	1,3247	1,4990	0,9761	0,7266	1,2480	1,9029	0,8968	0,6778	0,8067	0,8971	0,7973	0,2423	0,5569	1,2613	0,7353	1,7950	0,4173	0,3754	0,1335	0,1331	0,2690	0,0000	0,3524	0,2827	0,7303	1,0842	2,5122	1,2297	1,1674	1,9644	1,3126	1,2742	0,6666	0,9643	0,4566	0,6323	0,8297	1,5533	1,1360	0,6209	0,4432	1,1541
23	0,4482	1,0797	1,3822	0,8634	0,6352	1,1513	1,6324	0,7877	0,5629	0,6512	0,6179	0,7610	0,6372	0,4425	1,0129	0,7962	0,6212	0,2776	0,4037	0,3082	0,4635	0,8365	0,5091	0,0000	0,9170	0,4086	1,3154	1,6159	1,4657	1,3815	1,6693	1,5239	0,8010	0,4643	0,6987	1,1758	0,4174	0,5844	1,8165	0,8822	1,1157	0,8679	1,5132
24	0,9807	1,3807	2,0057	1,4198	1,2199	1,7422	1,9463	1,3204	1,0537	1,1771	1,3056	1,2185	0,5935	1,1418	1,1804	0,9641	1,7585	0,9601	0,6303	0,4279	0,3432	0,5092	0,2946	0,7573	0,0000	0,7798</																	

## EK – 6. Noktalar Arası Yakıt Tüketimi Verisi (YT3)

Nokta	Litre																																											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
0	0,0000	0,7560	1,0006	0,6489	0,4119	0,7396	1,5447	0,4489	0,2018	0,4594	0,8160	0,9568	0,8943	0,6713	1,2284	1,0620	0,7871	0,5309	0,6675	0,5279	0,6879	1,3436	0,7158	0,3190	1,1477	0,5339	1,4717	1,7957	1,6307	1,6042	1,9167	1,7458	1,1056	0,5230	0,8461	0,3404	0,3988	0,6388	2,0678	0,7994	1,4078	1,1711	1,7145	
1	0,3405	0,0000	0,6200	0,6528	0,4161	0,4083	0,7102	0,3703	0,2207	0,2604	1,2680	1,4192	1,3245	1,1056	1,6331	1,4576	1,2627	0,9894	1,1145	0,8625	1,1302	1,5796	1,3830	0,6676	1,3977	0,5218	1,6720	2,0790	1,9950	1,8879	2,0459	2,0306	1,6114	0,5772	1,3238	0,7140	0,4754	1,1190	1,8387	0,4405	1,6648	1,4653	1,9986	
2	0,5209	0,4415	0,0000	0,5919	0,5494	0,1814	0,5772	0,3274	0,4118	0,4834	1,5036	1,3314	1,2554	1,3375	1,8735	1,6981	1,0878	0,8923	1,0290	0,9288	1,2965	1,7473	1,0960	0,6914	1,5627	0,7500	1,7380	2,2700	2,2049	2,0434	2,3574	2,1858	1,4990	0,7105	1,1600	0,7830	0,6200	1,1440	2,0040	0,7931	1,8312	1,6345	2,1542	
3	0,3391	0,9625	0,8981	0,0000	0,0799	0,8211	1,4120	0,2711	0,4477	0,6889	0,9056	0,9846	0,9131	0,7324	1,2892	1,1164	0,7607	0,5487	0,6859	0,6810	0,8363	1,4959	0,8243	0,5157	1,2993	0,7283	1,6067	1,9413	1,7787	1,7454	2,0545	1,8865	0,7270	0,1590	0,8194	0,4169	0,3021	0,4135	2,1890	1,1761	1,5588	1,3216	1,8559	
4	0,3811	1,0285	1,1194	0,2778	0,0000	0,9895	1,9684	0,4649	0,4918	0,7294	0,9240	1,0045	0,9323	0,7508	1,3076	1,1350	0,7799	0,5679	0,7052	0,7003	0,8682	1,2060	0,8860	0,4922	1,3287	0,7611	1,6368	1,9706	1,8081	1,7752	2,0847	1,9161	0,7501	0,1901	0,8383	0,4373	0,3310	0,4361	2,2210	1,2094	1,5881	1,3270	1,8854	
5	0,4578	0,3421	0,3525	0,6156	0,4824	0,0000	0,8343	0,3499	0,2777	0,3066	1,3173	1,4687	1,3739	1,1546	1,6826	1,5071	1,0228	1,0382	1,1637	0,9120	1,1309	1,5786	1,0986	0,7167	1,3996	0,5709	1,5805	2,1218	2,0576	1,8944	2,2117	2,0550	1,6597	0,6428	1,0820	0,7626	0,5422	1,1678	1,8459	0,4864	1,6652	1,4610	2,0051	
6	0,6690	0,2027	0,3965	1,2727	1,0708	0,4292	0,0000	0,8517	0,5308	0,4464	1,4263	1,5580	1,4731	1,2737	1,7759	1,6002	1,4161	1,1617	1,2773	1,0061	1,1070	1,5587	1,1582	0,8375	1,3719	0,7692	1,6815	2,0758	2,0107	1,8497	2,1638	1,9922	1,7874	1,1958	1,4784	0,8983	0,9774	1,2915	1,8000	0,2990	1,6411	1,4482	1,9606	
7	0,3979	0,7726	0,7105	0,4010	0,2289	0,6310	1,1513	0,0000	0,3863	0,5847	1,0966	1,1830	1,0234	0,9246	1,4775	1,3036	0,8893	0,6970	0,8347	0,7114	0,8963	1,5597	0,8956	0,4960	1,3650	0,6805	1,6819	2,0118	1,8475	1,8181	2,1288	1,9596	0,9802	0,3611	0,9475	0,5312	0,3686	0,6661	1,9280	0,9046	1,6251	1,3823	1,9286	
8	0,2279	0,6630	0,8813	0,5252	0,2874	0,6211	1,2248	0,3687	0,0000	0,4554	0,9631	1,1042	1,0413	0,8168	1,3747	1,2030	0,8595	0,6765	0,8139	0,6956	1,0846	1,5350	0,8320	0,4617	1,3510	0,5527	1,5291	2,0664	2,0017	1,8388	2,1552	1,9814	1,2387	0,4264	0,9180	0,4630	0,4021	0,7825	1,7905	0,7778	1,6191	1,4234	1,9495	
9	0,3207	0,5606	0,9512	0,8765	0,6558	0,6908	1,1422	0,4826	0,3459	0,0000	1,0095	1,1648	1,0678	0,8466	1,3775	1,2021	1,0048	0,7305	0,8557	0,6086	0,8254	1,2710	0,7918	0,4087	1,0958	0,2783	1,2816	1,8319	1,7690	1,6038	1,9238	1,7456	1,3531	0,7720	1,0658	0,4563	0,5970	0,8601	1,5586	0,4002	1,3588	1,1533	1,7140	
10	0,6120	1,5065	1,4856	1,0224	0,7976	1,2378	2,0755	0,9654	0,7341	1,0601	0,0000	0,1766	0,5070	0,1281	0,4122	0,2791	0,3530	0,2340	0,3546	0,6363	0,8595	0,9034	0,6170	0,3731	1,2074	0,8169	1,8772	2,1934	2,0246	1,7920	2,4804	2,4917	1,0549	0,5735	0,6363	0,3738	0,5225	0,4465	2,1814	1,2869	1,7984	1,3460	1,7144	
11	0,6364	1,4246	1,5118	1,0445	0,8170	1,2614	2,0756	0,9901	0,7604	1,0772	0,1234	0,0000	0,6161	0,2386	0,3797	0,2441	0,3969	0,3292	0,4621	0,7046	0,9146	0,9422	0,7774	0,4409	1,1607	0,8329	1,8664	2,9780	2,0281	2,3247	2,3931	2,4163	0,7351	0,5968	0,5328	0,3971	0,5492	0,6057	2,1671	1,2965	1,7363	1,8211	1,6485	
12	0,5503	1,3789	1,4170	0,8563	0,7296	1,1621	1,9267	0,9038	0,6749	0,9362	0,4421	0,5357	0,0000	0,2500	0,8234	0,3799	1,5794	1,9174	0,1139	0,1828	0,4608	0,3954	0,2980	0,2165	0,5590	0,6913	1,5550	3,1860	3,2886	2,4464	2,5925	2,5111	1,0749	0,4922	0,7475	0,3100	0,4450	0,6038	2,1692	1,1513	1,7288	0,8076	1,6808	
13	0,5196	1,4064	1,3948	0,9286	0,7030	1,1447	1,9785	0,8731	0,3473	0,6435	0,9571	0,2427	0,4095	0,4536	0,0000	0,6137	0,3916	0,5376	0,1540	0,2878	0,5206	0,7441	0,8496	0,5353	0,2575	1,2296	0,7157	1,6031	2,3691	1,9305	1,7107	2,0274	1,8533	0,9463	0,4794	0,5966	0,2796	0,4317	0,4744	2,0943	1,1873	1,4907	1,2310	1,8535
14	0,6829	1,5632	1,5584	1,0906	0,8619	1,3078	2,1053	1,0366	0,8066	1,1207	0,0934	0,0866	0,6357	0,1771	0,0000	0,1337	0,3949	0,2677	0,2974	0,7202	0,8663	0,8530	0,8312	0,4100	1,0262	0,8451	1,8609	2,9641	3,0676	2,2449	2,3677	2,3187	1,2504	0,6428	0,6771	0,4431	0,5946	0,6516	2,1475	1,3040	1,5604	1,6351	1,9186	
15	0,6950	1,5136	1,5709	1,1019	0,8734	1,3193	2,0621	1,0484	0,8199	1,0672	0,1381	0,1439	0,3972	0,1319	0,3173	0,0000	0,4287	0,2194	0,2329	0,4581	0,8728	0,7210	0,5508	0,3865	0,9584	0,8238	1,6758	3,0507	3,1589	2,3345	2,4542	2,4093	1,0577	0,5954	0,7181	0,3957	0,5479	0,5907	2,1492	1,2863	1,6547	1,0290	1,5922	
16	0,6638	1,5624	1,4822	1,0754	0,8520	1,2287	2,1428	0,9545	0,7853	1,1146	0,5453	0,5145	0,8983	0,5427	0,8165	0,7825	0,0000	0,5367	0,6725	0,7659	0,9441	1,1955	0,9361	0,4903	0,2549	0,8720	1,9413	2,5319	2,4683	1,9382	3,8067	2,0807	0,6065	0,6254	0,3412	0,4259	0,5242	0,4579	2,2576	1,3468	2,8160	1,4312	2,8144	
17	0,4816	1,3153	1,5304	0,7918	0,6629	1,0938	1,8834	0,8351	0,6073	0,8703	0,3982	0,5610	0,2867	0,7638	0,5409	0,6207	0,0000	0,2648	0,3773	0,6329	0,7599	0,4879	0,1507	1,1303	0,6257	1,4615	2,2695	1,7760	1,5705	1,7805	1,8858	1,7130	0,8684	0,1949	0,6792	0,2418	0,3788	0,5353	1,9950	1,0933	1,3612	1,1172	1,6812	
18	0,4977	1,3263	1,3666	0,8076	0,6762	1,1103	1,8818	0,8512	0,6235	0,8155	0,4285	0,5716	0,2852	0,2560	0,7017	0,4516	0,6369	0,1235	0,0000	0,2835	0,5621	0,6050	0,3735	0,1664	0,7638	0,6384	1,4546	3,2847	1,7298	1,5658	2,6898	1,7078	1,0224	0,4396	0,6956	0,2581	0,3952	0,5507	1,9803	1,1007	1,9167	1,0091	1,8494	
19	0,4780	1,2492	1,3631	0,8790	0,6474	1,1142	1,7989	0,8335	0,6071	0,7569	0,8255	0,8970	0,4515	0,7681	1,0272	0,7769	0,8552	0,3671	0,3809	0,0000	0,3126	0,5479	0,2417	0,2721	0,5806	0,5642	1,2336	1,7745	1,6071	1,3448	1,6577	1,4867	1,2592	0,6746	0,9140	0,3750	0,5456	0,7786	1,8509	1,0216	0,8497	0,7807	1,4555	
20	0,6698	1,3515	1,5152	1,0651	0,8410	1,2698	1,9570	1,0080	0,7928	0,9642	0,9789	1,1522	0,7375	0,8071	1,4980	1,3655	1,0085	0,6336	0,7699	0,3375	0,0000	0,5342	0,2769	0,4207	0,4461	0,5468	1,0861	1,6273	1,4644	1,1967	1,5101	1,3388	1,4174	0,8289	1,0672	0,5307	0,7216	0,9355	1,7063	1,2218	0,6323	0,5649	0,8679	
21	0,6658	1,6198	1,5573	1,1974	0,9656	1,3024	2,0470	1,0299	0,8039	1,2944	0,7637	0,9045	0,3245	0,5736	1,0210	0,7852	2,1088	0,4305	0,3821	0,2429	0,1810	0,0000	0,1086	0,3688	0,2993	0,9650	1,3082	2,6267	1,4831	1,4197	2,0338	2,0379	1,3571	0,7251	1,0128	0,5565	0,6812	0,8910	1,9224	1,4399	0,7461	0,5452	1,2567	
22	0,6071	1,5670	1,4510	0,9671	0,7334	1,1979	1,8890	0,9227	0,6959	0,8911	0,9556	0,9405	0,4973	0,5845	1,4165	0,8205	1,0313	0,4438	0,4221	0,1194	0,1731	0,3510	0,0000	0,3777	0,3730	0,5754	1,2406	1,9108	1,5262	1,3524	2,1698	1,4937	1,3661	0,7441	1,0242	0,4990	0,6752	0,8966	1,8673	1,3846	0,7513	0,6179	1,3543	
23	0,4877	1,2009	1,3785	0,8962	0,6717	1,1407	1,7742	0,8456	0,6133	0,7564	0,6436	0,8183	0,6208	0,4720	1,0255	0,8525	0,6734	0,2995	0,4366	0,3307	0,4908	0,7890	0,5182	0,0000	0,9897	0,5123	1,4043	1,8514	1,6756	1,5022	1,8233	1,6430	0,9622	0,4955	0,7328	1,9660	0,4447	0,6161	2,0443	0,9801	1,2488	0,9777	1,6120	
24	1,1064	1,5262	1,1964	1,5151	1,3243	1,7893	2,1127	1,4577	1,1953	1,3264	1,4205	1,3929	0,6685	1,2615	1,2596	1,1493	2,0792	1,0776	0,8089	0,4924	0,4145	0,5417	0,3681	0,																				

## EK – 7. Noktalar Arası Hız Verisi

Nokta	metre/saniye																																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
0	0,0	6,6	7,4	7,3	7,5	8,0	11,9	7,8	4,9	6,3	8,4	8,4	8,6	8,9	8,7	8,5	9,2	8,9	8,8	7,3	9,1	11,3	6,7	7,2	12,0	8,0	14,9	13,5	13,0	14,0	14,4	14,1	11,0	8,7	9,3	8,2	5,2	9,4	16,0	9,6	12,2	9,8	14,0
1	7,6	0,0	6,4	7,1	7,2	7,7	7,4	7,5	7,0	7,9	12,6	11,6	12,1	13,1	11,8	11,8	12,4	13,3	12,8	11,6	13,6	13,0	13,8	13,0	13,8	10,6	15,1	15,3	15,3	15,1	15,3	15,1	13,7	7,3	12,5	13,8	7,4	13,4	15,3	8,0	13,5	12,3	15,1
2	8,5	6,7	0,0	7,6	7,6	6,2	8,7	6,3	7,7	7,5	11,9	8,8	8,5	12,3	11,4	11,3	8,8	8,6	8,6	9,3	13,1	12,8	13,4	9,0	13,4	10,5	14,0	14,7	14,7	14,5	14,8	14,5	12,5	7,6	8,9	12,5	7,7	13,8	14,6	13,8	13,1	12,2	14,5
3	6,5	7,3	7,6	0,0	7,1	7,6	9,6	6,8	6,3	7,1	8,8	7,8	8,1	8,8	8,7	8,5	8,3	8,2	8,2	9,6	11,2	8,8	9,2	11,8	9,4	14,1	13,1	12,7	13,5	13,9	13,6	7,0	5,5	8,3	7,7	5,7	7,0	15,1	10,7	12,0	10,0	10,0	13,6
4	6,1	7,1	7,3	4,9	0,0	8,1	12,3	5,5	5,9	6,8	9,0	7,9	8,2	9,0	8,8	8,6	8,3	8,3	8,3	9,5	8,1	7,6	8,5	11,7	9,5	14,2	13,1	12,7	13,5	13,9	13,6	6,9	4,9	8,5	7,7	5,4	6,9	15,2	10,9	12,0	10,0	13,5	
5	9,1	6,8	6,1	7,4	8,0	0,0	7,3	6,9	6,9	8,3	12,6	11,6	12,1	13,1	11,8	11,8	9,2	13,2	12,8	11,7	13,8	13,3	14,1	13,0	14,0	10,7	14,7	15,4	15,4	15,2	15,4	15,2	13,6	7,9	9,3	13,7	8,1	13,3	15,5	8,4	13,6	12,5	15,2
6	12,2	6,4	7,9	13,5	14,4	7,2	0,0	12,8	7,5	13,8	14,1	13,0	13,6	14,8	13,2	13,2	13,9	15,0	14,5	13,5	13,0	12,6	13,3	15,3	13,3	12,0	14,5	14,8	14,8	14,6	14,9	14,6	14,9	14,6	13,9	16,0	13,1	15,0	14,7	12,8	13,1	12,0	14,6
7	6,9	6,3	6,0	6,2	6,8	6,5	9,1	0,0	4,8	7,1	9,9	8,9	8,6	10,0	9,6	9,4	7,8	7,5	7,5	8,4	9,9	11,5	7,7	7,5	12,1	8,5	14,4	13,3	12,9	13,8	14,1	13,9	6,9	5,5	7,9	9,4	5,5	6,9	15,4	9,1	12,2	10,2	13,8
8	4,6	6,8	7,7	5,3	4,9	8,6	6,7	5,3	0,0	7,2	7,9	8,0	8,1	8,2	8,2	8,0	7,8	8,2	8,1	8,4	13,1	12,6	13,4	7,6	13,4	9,1	14,2	13,0	12,9	14,8	15,1	14,8	10,0	4,5	7,9	7,1	5,4	8,6	15,0	9,8	13,1	11,9	14,8
9	7,8	7,5	7,5	11,1	12,2	8,2	11,4	8,9	7,8	0,0	12,3	11,1	11,6	13,1	11,4	11,3	12,1	13,3	12,6	10,9	14,2	13,4	14,4	12,8	14,4	8,6	15,2	16,1	16,1	15,9	16,1	15,7	13,8	12,8	12,2	14,2	10,2	13,4	16,3	6,7	13,8	12,3	15,8
10	10,0	12,1	9,4	10,7	11,4	10,2	14,0	10,0	9,2	11,8	0,0	5,2	6,4	6,8	7,2	6,9	5,6	5,4	5,8	8,7	10,0	6,3	7,0	9,6	10,8	12,0	15,2	14,0	13,6	14,1	17,6	16,3	11,5	10,2	8,5	10,3	9,0	7,2	15,5	12,9	14,3	10,3	15,0
11	9,4	11,6	9,2	10,2	10,7	9,9	13,4	9,6	8,8	11,2	5,3	0,0	7,7	6,3	6,1	5,8	6,1	5,8	6,6	8,8	10,4	7,0	7,1	9,5	10,4	11,3	14,6	17,5	13,2	16,3	17,2	15,9	6,8	9,6	7,3	9,5	8,5	9,5	14,8	12,2	14,0	13,7	14,6
12	9,2	11,3	8,5	8,0	10,6	9,0	13,2	9,4	8,7	10,8	7,5	6,4	0,0	6,4	10,1	6,4	16,2	6,7	7,8	6,8	7,2	6,2	6,9	8,2	8,1	10,8	14,3	20,3	20,2	19,2	20,6	18,6	11,2	9,6	9,1	9,2	8,4	9,9	14,8	11,9	16,7	8,3	17,9
13	9,6	12,2	9,2	10,5	11,3	10,1	14,3	9,7	8,8	11,9	6,9	6,5	6,0	0,0	7,3	7,3	8,6	4,7	5,3	8,7	10,3	6,1	6,9	10,0	13,1	12,2	15,3	15,8	13,8	15,0	15,2	14,9	11,5	9,9	8,7	9,8	8,3	9,7	15,9	13,2	13,1	10,5	15,2
14	9,2	11,2	9,1	9,9	10,4	9,7	12,8	9,4	8,8	10,8	6,9	5,8	10,2	7,1	0,0	6,4	6,6	6,3	7,0	8,8	9,6	8,4	8,8	9,1	14,2	10,8	16,0	19,7	19,4	18,5	19,8	18,0	11,0	9,4	8,1	9,2	8,5	9,3	14,2	11,7	16,1	15,6	17,1
15	9,3	11,5	9,1	10,0	10,5	9,7	13,3	9,4	8,7	11,1	6,7	5,4	8,3	7,7	6,0	0,0	5,7	6,3	6,8	6,5	9,8	7,2	7,4	9,3	11,4	11,2	13,9	19,5	19,3	18,4	19,6	17,8	10,8	9,5	8,5	9,3	8,4	9,4	14,7	12,1	15,9	9,6	16,9
16	10,2	12,5	8,8	10,9	11,6	9,4	14,4	8,1	9,4	12,2	7,5	6,3	9,1	8,9	6,9	7,3	0,0	9,6	9,4	10,5	11,4	9,3	9,9	10,4	17,8	12,6	15,4	15,8	15,8	15,2	21,9	15,1	8,3	10,6	5,6	10,7	8,4	7,9	15,9	13,4	18,8	11,2	20,0
17	9,4	11,8	8,4	7,8	11,2	9,0	14,1	9,5	8,6	11,3	5,6	5,9	5,6	4,7	6,5	6,2	9,0	0,0	5,7	6,4	9,3	7,0	7,4	7,5	12,5	11,5	14,9	15,7	13,4	14,6	14,9	14,6	11,8	9,8	9,1	9,4	8,1	10,3	15,8	12,8	12,6	10,0	14,5
18	9,1	11,5	8,3	7,8	10,7	8,9	13,6	9,3	8,5	10,9	6,0	6,5	7,0	5,7	7,1	6,6	8,8	5,4	0,0	5,9	6,7	6,0	7,4	7,5	7,2	11,0	14,3	19,1	12,7	14,1	19,1	14,1	11,3	9,5	8,9	9,0	8,0	9,9	15,2	12,2	15,6	7,6	16,5
19	8,1	11,1	9,4	9,4	9,9	10,3	13,4	8,8	7,7	10,4	9,4	6,4	6,9	9,6	6,8	6,5	9,4	5,7	5,6	0,0	6,1	6,6	5,1	7,5	6,1	10,3	14,3	13,8	13,3	14,0	14,5	14,1	12,1	9,9	9,5	10,4	8,0	11,1	15,3	11,9	8,4	8,6	14,0
20	9,9	12,7	9,7	10,8	11,5	10,6	14,2	10,0	9,1	10,7	9,8	9,2	6,8	9,9	13,2	11,3	9,8	9,3	9,1	6,2	0,0	6,2	6,5	8,6	9,3	9,9	14,6	13,8	12,7	14,2	14,7	14,3	12,2	10,3	9,9	10,9	9,1	11,4	15,6	14,1	8,9	9,3	9,5
21	7,4	12,8	8,6	9,2	9,5	9,1	14,2	8,0	7,2	12,7	6,9	7,0	6,2	6,3	8,6	6,2	16,9	6,3	6,0	6,0	5,4	0,0	6,1	7,5	7,0	13,1	14,3	18,3	12,5	14,0	18,0	16,4	10,6	8,8	9,0	8,4	8,0	9,5	15,4	14,1	8,2	7,7	14,9
22	7,6	12,5	8,8	8,7	9,0	9,5	14,1	8,2	7,3	9,4	8,9	7,0	7,0	6,7	12,6	7,2	17,6	6,7	6,9	5,7	4,9	5,4	0,0	8,2	7,3	12,7	14,1	18,8	12,3	13,8	18,7	13,9	10,9	9,4	9,5	8,9	7,5	9,9	15,3	14,0	8,2	7,9	15,5
23	9,5	11,8	10,2	10,6	11,6	11,6	14,4	9,8	8,6	11,1	9,9	8,9	7,7	10,2	9,3	9,0	9,8	8,7	8,5	7,5	9,9	7,7	6,5	0,0	14,1	11,3	16,9	15,0	14,5	16,3	16,5	16,1	12,3	10,8	9,9	8,9	9,0	11,1	17,5	12,9	13,8	10,4	16,2
24	14,0	14,1	15,0	14,0	15,1	14,7	15,7	13,9	12,7	15,6	13,0	12,0	8,2	13,6	12,3	10,3	17,6	13,5	7,1	6,7	10,7	6,7	7,5	13,8	0,0	15,2	16,1	16,8	13,6	10,6	10,4	15,5	14,5	14,0	15,9	15,4	12,6	14,4	17,2	16,3	8,8	8,0	9,8
25	7,0	10,1	9,8	10,2	11,1	11,5	13,8	9,8	8,8	8,1	11,6	10,5	10,9	15,7	10,8	10,7	11,4	12,3	11,7	9,8	14,7	13,5	14,8	11,3	14,8	0,0	16,2	16,8	16,9	16,3	16,5	16,1	13,2	11,9	11,5	12,7	9,1	12,5	17,3	11,0	14,0	12,3	16,2
26	15,5	15,3	15,7	15,3	16,4	15,2	16,6	14,5	14,1	14,8	15,4	14,1	14,4	16,2	18,6	14,3	15,2	16,5	15,8	13,0	16,3	15,1	16,1	17,1	16,1	16,7	0,0	7,2	5,7	10,7	10,9	11,5	16,0	16,1	15,2	17,8	14,0	16,3	9,2	17,4	10,0	10,1	11,9
27	13,2	15,0	13,4	13,3	13,9	14,8	16,1	14,2	13,9	14,4	17,3	17,8	20,4	15,7	18,9	18,4	21,9	15,8	19,1	13,9	15,9	15,0	15,9	16,3	20,0	16,2	7,5	0,0	7,5	13,4	13,1	9,6	16,0	16,0	20,4	17,2	15,1	16,2	12,1	16,6	12,5	12,3	14,0
28	13,4	14,8	13,2	13,5	14,3	14,6	15,9	14,0	13,8	14,1	13,7	17,6	19,9	14,2	18,6	18,1	21,5	14,4	13,9	11,5	13,7	13,2	13,9	14,4	19,5	15,9	5,9	7,4	0,0	13,4	13,1	10,0	14,4	14,2	13,7	14,9	12,4	14,4	11,0	16,4	8,7	8,9	13,9
29	15,0	15,5	15,8	14,9	15,8	14,9	16,6	15,2	13,8	16,7	14,7	16,5	19,0	15,4	17,5	17,0	21,1	15,4	14,9	13,1	15,5	14,5	15,5	16,0	10,7	16,7	10,1	11,2	8,5	0,0	8,1	7,5	15,8	15,7	14,4	17,1	18,0	16,0	10,0	17,3	10,7	11,2	11,6
30	14,8	15,2	15,6	14,7	15,5	14,8	16,2	15,0	13,8	16,2	16,0	16,6	19,1	15,1	17,6	17,1	21,0	15,1	17,8	13,2	15,1	15,8	16,7	15,5	18,4	16,1	11,3	13,2	13,3	8,5	0,0	6,5	18,3	15,3	19,4	16,5	14,5	15,6	14,5	16,7	10,5	10,9	11,1
31	14,8	15,2	15,6	14,7	15,5	14,8	16,3	15,0	13,8	16,2	14,5	15,4	17,2	15,1	16,1	15,7</																											

## EK – 8. Geliştirilen KDS'nin Python Kodları

```

from gurobipy import *
from datas import *
import numpy as np

class Matrix:
    def __init__(self):
        self.mesafe = mesafe
        self.zaman = zaman
        self.fuel1 = fuel1
        self.fuel2 = fuel2
        self.fuel3 = fuel3

    @staticmethod
    def signal_list(sublist):
        master_set = set([x for x in range(43)])
        sub_set = set(sublist)
        signal = list(master_set - sub_set)
        signal.sort()
        return signal

    def create_submatrix(self, sublist, matrix):
        a = self.signal_list(sublist)
        copy = matrix
        count = 0
        for i in a:
            copy = np.delete(copy, [i - count], 0)
            copy = np.delete(copy, [i - count], 1)
            count += 1
        return copy

    def main(self, sublist, depot=0, order=None):
        sublist.sort()

        matrix_mesafe = self.create_submatrix(sublist,
self.mesafe)
        matrix_zaman = self.create_submatrix(sublist,
self.zaman)
        matrix_fuel1 = self.create_submatrix(sublist,
self.fuel1)
        matrix_fuel2 = self.create_submatrix(sublist,
self.fuel2)
        matrix_fuel3 = self.create_submatrix(sublist,
self.fuel3)

        if order:
            matrix_mesafe = np.append([matrix_mesafe[order, :]],
matrix_mesafe, axis=0)
            first_col_mesafe = [[x] for x in
matrix_mesafe[:, order]]
            matrix_mesafe = np.append(first_col_mesafe,
matrix_mesafe, axis=1)
            matrix_mesafe = np.delete(matrix_mesafe, [order+1],
0)
            matrix_mesafe = np.delete(matrix_mesafe, [order+1],
1)
            matrix_mesafe = np.delete(matrix_mesafe, [1], 0)
            matrix_mesafe = np.delete(matrix_mesafe, [1], 1)

```

```

        matrix_zaman = np.append([matrix_zaman[order,:]],
matrix_zaman, axis=0)
        first_col_zaman = [[x for x in matrix_zaman[:,order]]
matrix_zaman = np.append(first_col_zaman,
matrix_zaman, axis=1)
        matrix_zaman = np.delete(matrix_zaman, [order+1], 0)
matrix_zaman = np.delete(matrix_zaman, [order+1], 1)
matrix_zaman = np.delete(matrix_zaman, [1], 0)
matrix_zaman = np.delete(matrix_zaman, [1], 1)

        matrix_fuell1 = np.append([matrix_fuell1[order,:]],
matrix_fuell1, axis=0)
        first_col_fuell1 = [[x for x in matrix_fuell1[:,order]]
matrix_fuell1 = np.append(first_col_fuell1,
matrix_fuell1, axis=1)
        matrix_fuell1 = np.delete(matrix_fuell1, [order+1], 0)
matrix_fuell1 = np.delete(matrix_fuell1, [order+1], 1)
matrix_fuell1 = np.delete(matrix_fuell1, [1], 0)
matrix_fuell1 = np.delete(matrix_fuell1, [1], 1)

        matrix_fuel2 = np.append([matrix_fuel2[order,:]],
matrix_fuel2, axis=0)
        first_col_fuel2 = [[x for x in matrix_fuel2[:,order]]
matrix_fuel2 = np.append(first_col_fuel2,
matrix_fuel2, axis=1)
        matrix_fuel2 = np.delete(matrix_fuel2, [order+1], 0)
matrix_fuel2 = np.delete(matrix_fuel2, [order+1], 1)
matrix_fuel2 = np.delete(matrix_fuel2, [1], 0)
matrix_fuel2 = np.delete(matrix_fuel2, [1], 1)

        matrix_fuel3 = np.append([matrix_fuel3[order,:]],
matrix_fuel3, axis=0)
        first_col_fuel3 = [[x for x in matrix_fuel3[:,order]]
matrix_fuel3 = np.append(first_col_fuel3,
matrix_fuel3, axis=1)
        matrix_fuel3 = np.delete(matrix_fuel3, [order+1], 0)
matrix_fuel3 = np.delete(matrix_fuel3, [order+1], 1)
matrix_fuel3 = np.delete(matrix_fuel3, [1], 0)
matrix_fuel3 = np.delete(matrix_fuel3, [1], 1)
    else:
        pass
    return matrix_mesafe, matrix_zaman, matrix_fuell1, matrix_fuel2,
matrix_fuel3

class Program():
    def __init__(self):
        self.vehicle_route = []
        self.value_route = []
        self.total_distance = 0
        self.total_time = 0
        self.total_fuel = 0

    def start(self, N, mesafe, zaman, fuell1, fuel2, fuel3,
source=None, second_point=None):
        nodes=range(N)
        print(N)
        print('mesafe :', len(mesafe))
        print('nodes :', list(nodes))

        m = Model("tsp1")

```

```

U=m.addVars(nodes, lb=0, vtype=GRB.INTEGER, name="U")

X=m.addVars(nodes, nodes, vtype=GRB.BINARY, name="X")

m.addConstr(X[N-1,0]==1)

if second_point:
    for i in nodes:
        if i == second_point:
            m.addConstr(U[i] == 1)

for i in nodes:
    m.addConstr(sum(X[j,i] for j in nodes if i != j) == 1)
for i in nodes:
    m.addConstr(sum(X[i,j] for j in nodes if i != j) == 1)
for i in nodes:
    for j in nodes:
        if i >= 1 and j >= 1 and i != j:
            m.addConstr(U[i] - U[j] + N*X[i,j] <= N - 1)
for
i in nodes:
    if i>=1:
        m.addConstr(U[i]<=N-1-(N-2)*X[0,i])
for i in nodes:
    if i>=1:
        m.addConstr(U[i]>=1+(N-2)*X(HARMANŞAH vd.))

if source == 'mesafe':
    m.setObjective(sum(X[i, j] * mesafe[i, j] for i in nodes for j
in nodes if i != j), GRB.MINIMIZE)
elif source == 'zaman':
    m.setObjective(sum(X[i, j] * zaman[i, j] for i in nodes for j
in nodes if i != j), GRB.MINIMIZE)
elif source == 'fuel1':
    m.setObjective(sum(X[i, j] * fuel1[i, j] for i in nodes for j
in nodes if i != j), GRB.MINIMIZE)
elif source == 'fuel2':
    m.setObjective(sum(X[i, j] * fuel2[i, j] for i in nodes for j
in nodes if i != j), GRB.MINIMIZE)
elif source == 'fuel3':
    m.setObjective(sum(X[i, j] * fuel3[i, j] for i in nodes for j
in nodes if i != j), GRB.MINIMIZE)

m.optimize()
time = sum(X[i, j] * zaman[i, j] for i in nodes for j in nodes if i
!= j)
fuel = sum(X[i, j] * fuel3[i, j] for i in nodes for j in nodes if i
!= j)

if m.status == GRB.OPTIMAL:
    self.vehicle_route = [round(U[i].x) for i in nodes]
    self.vehicle_route += [0]
    print('nodes:', nodes)
    print(self.vehicle_route)
    self.total_distance = m.objVal
    self.value_route = [self.vehicle_route.index(i) for i in nodes]
    print(m.objVal)
    self.value_route[-1] = 0

    print('value_route in model :', self.value_route)
    self.vehicle_route[-1] = 0
    self.total_distance = m.objVal
    self.total_time = time.getValue()

```

```

        self.total_fuel = fuel.getValue()
    else:
        print("No feasible Solution")

class Run:
    def __init__(self):
        self.insMatrix = Matrix()
        self.insProgram = Program()

        self.signal_list = []
        self.route_list = []
        self.value_route = []
        self.il_isim = []

        self.total_distance = 0
        self.total_time = 0
        self.total_fuel = 0

    def rename(self, order):
        self.signal_list.sort()
        print('en son liste :', self.signal_list)
        new = self.signal_list
        if order:
            new.remove(self.signal_list[order])
            print('son durum : ', new)
            new.sort()
        else:
            new = self.signal_list
        for i in self.value_route:
            a = new[i]
            self.il_isim.append(node_code.get(a))

    def run(self, signal_list, source, order=None, second_point=None):
        self.signal_list = [0] + signal_list
        if second_point:
            a = self.signal_list
            a.sort()
            second_point = a.index(second_point)
            a += [order]
            a.sort()
            order = a.index(order)
            N = len(self.signal_list)
        else:
            N = len(self.signal_list) + 1
            a = self.signal_list
        self.insProgram.start(N,
                               *self.insMatrix.main(a, order=order),
                               source=source,
                               second_point=second_point)
        self.route_list = self.insProgram.vehicle_route
        self.total_distance = self.insProgram.total_distance
        self.total_time = self.insProgram.total_time
        self.value_route = self.insProgram.value_route
        self.total_fuel = self.insProgram.total_fuel
        print('total distance :', self.total_distance)
        print('total time :', self.total_time)
        print('value_route :', self.value_route)
        self.rename(order=order)

```