

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEHİR İÇİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA
KULLANIMI**

DOKTORA TEZİ

Şükrü İMRE

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEHİR İÇİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA
KULLANIMI**

DOKTORA TEZİ

**Şükrü İMRE
(507152005)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS

TEMMUZ 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507152005 numaralı Doktora Öğrencisi Şükrü İMRE, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEHİR İÇİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA KULLANIMI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY**
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Umut ASAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Murat KAYA
Sabancı Üniversitesi

Teslim Tarihi : 18 Haziran 2021
Savunma Tarihi : 2 Temmuz 2021





Ülkem ve aileme,



ÖNSÖZ

Hayatımın unutulmayacak bir kısmını oluşturan bu çalışma sürecinde, ufuk açıcı öneriyle ve sürekli geliştirmeyi amaç edinen tavrıyla desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Dilay Çelebi Gonidis'e minnet duyar, saygılarımı sunarım. Değerli hocama, hem akademik hem de kişisel gelişimimde yadıslanamaz ve kıyaslanamaz katkılarından dolayı tekrar tekrar teşekkür ederim. Başta annem olmak üzere, doktora sürecinde hep destek tam destek olan aileme teşekkür ederim. Doktora çalışmam sürecinde vermiş oldukları kıymetli bilgiler, yönlendirici ve yardımsever tutumlar ve yapmış oldukları çalışmaya değer katan yorumlar için kıymetli jüri üyeleri Prof.Dr. Mehmet Mutlu Yenisey ve Doç.Dr. Hüseyin Onur Tezcan'a teşekkürü bir borç bilirim. Gerek akademik gerekse de deneyimlerinin vermiş iç görülerle tavsiyelerde bulunan değerli hocam Prof.Dr. Bersam Bolat'a da bir teşekkürü borç bilirim. Bu zorlu süreçte bilgi ve tecrübelerini paylaştıkları için Doç.Dr. Umut Asan'a ve Hakan Yorulmuş'a teşekkür ederim. Bu tezin tamamlama sürecinin bir parçası olan makale yazımı konusunda, tecrübelerini ve bilgilerini paylaşan Dr. Fatih Canitez'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın çatısını oluşturan verilerin sağlanması noktasında desteklerini esirgemeyen ve aynı zamanda doktora sürecimdeki anlayışlı yaklaşımlarından dolayı Yavuz Selim Dolaş'a, Abdurrahman Kocukcu'ya ve Gözde Tüfekçi'ye teşekkür ederim. Yük taşımacılık sektöründeki uzman ve üst düzey yöneticilerle derinlemesine görüşme imkanı sağlayan Dr. Necip Özçer'e de bir teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca derinlemesine mülakat yaparak sektör dinamiklerini anlamama ve tezin tamamlanmasında kritik rol oynayan Duygu Peyman'a ve Ayhan Türkmen'e minnetlerimi sunarım. Bu tezin kritik aşamalarından biri olan anket dağıtımı konusunda yardımcı olan değerli hocalarım; Prof.Dr. Bersam Bolat, Prof.Dr. Ömür Saatçioğlu, Doç.Dr. Nihan Yıldırım ve sektör uzmanları; Feza Kırgız, Kaner Pakiş, Salih Işık ve Eren Taybilli'ye teşekkür ederim.

Bu çalışma; İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince desteklenmiştir (Proje numarası : 41676) Ayrıca, bu çalışmada EUFAL (Electric Urban Freight and Logistics) isimli Avrupa Birliği projesi kapsamında İTÜ ve Borusan ortaklığında yapılan çalıştay sonuçları kullanılmıştır.

Temmuz 2021

Şükrü İmre
(Matematikçi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Taraması	3
1.1.1 Elektrikli yük araçları literatürü	3
1.1.2 Tür seçim modelleri	12
1.1.2.1 Fayda bazlı seçim teorisi	12
1.1.2.2 Lojit modeller	13
1.1.2.3 Katsayıların tahmini	14
1.1.2.4 Lojit modellerin performans testleri.....	14
1.1.3 Belirtilen seçim araştırması	15
1.2 Problem Tanımı	17
1.3 Tezin Amacı ve Kapsamı	19
1.4 Yöntem	19
2. MEVCUT DURUM VE MODELDE KULLANILACAK DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ.....	21
2.1 Mevcut Durum Analizi.....	21
2.1.1 Türkiye'deki yük taşımacılığı	22
2.1.2 Türkiye'de sera gazı emisyonu alanında gelişmeler	23
2.1.3 Türkiye'de şarj istasyonu altyapısı.....	24
2.1.4 Türkiye'de elektrikli araç düzenlemeleri	26
2.1.5 Türkiye'de elektrikli araç faaliyetleri.....	26
2.1.6 Elektrikli yük araçlar çalıştay ve sonuçları	27
2.2 Değişken Seçimi	32
2.2.1 Değişken seviyelerinin belirlenmesi	33
3. SEÇİM MODELİNİN OLUŞTURULMASI	37
3.1 Deney ve Anket Tasarımı	37
3.2 Anket Sonuçları	39
3.3 Seçim Modeli ve Sonuçları	44
4. EYA YAYGINLAŞMA ORANI TESPİTİ.....	51
4.1 EYA Yayılma Oranı Tahmin Sonuçları	56
4.2 Emisyon Azalma Yüzdesi Tahmini.....	69
5. SONUÇLAR	73

KAYNAKLAR.....	79
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ.....	93



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternating Current
AR-GE	: Araştırma & Geliştirme
B-EYA	: Bataryalı Elektrikli Yük Aracı
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri
CO₂	: Karbondioksit
CVO	: Corporate Vehicle Observatory
DC	: Direct Current
EA	: Elektrikli Araç
EYA	: Elektrikli Yük Aracı
GHG	: Greenhouse gas
GPS	: Global Positioning System
İMLP	: İstanbul Master Lojistik Plan
İYMA	: İçten Yanmalı Motorlu Araç
KDV	: Katma Değer Vergisi
km	: kilometre
kWh	: kilowatt-hour
l	: litre
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
MTV	: Motorlu Taşıtlar Vergisi
NO_x	: Nitrojenoksit
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
TEM	: Toplam Edinme Maliyeti
TL	: Türk Lirası
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatisti Kurumu



SEMBOLLER

Pseduo R^2	: McFadden's pseudo-R-squared
n	: Örneklem sayısı
p	: İstatistiki anlamlılık olasılığı
z	: Normal dağılıma ait z değeri





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye’de ulaşım türleri arasında taşınan yolcu ve yük payları	22
Çizelge 2.2 : Ticari amaçla kullanılan araç sayıları ve değişim oranları.....	22
Çizelge 2.3 : Türkiye’de CO ₂ emisyonlarının sektörlere göre dağılımı	24
Çizelge 2.4 : Şarj tiplerine göre şarj süreleri	25
Çizelge 2.5 : Elektrikli ve İYMA vergi oranları.....	26
Çizelge 2.6 : Türkiye’de EA kullanan firmaların listesi ve bünyesindeki EA sayısı	27
Çizelge 2.7 : Rota mesafeleri bazında varsayılan zaman ve maliyet seviyeleri.	34
Çizelge 3.1 : Durumlar	38
Çizelge 3.2 : Durum 1’e ait senaryolar.....	38
Çizelge 3.3 : Araç sayısı ve kapasitelerin tanımlayıcı istatistik bilgileri.....	41
Çizelge 3.4 : Durum 1’in ilk seçim çifti için ham veri	45
Çizelge 3.5 : Dönüşüm sonrası veri	45
Çizelge 3.6 : Model uyum bilgisi	47
Çizelge 3.7 : Sanal-R ²	47
Çizelge 3.8 : Olabilirlik oran testi.....	48
Çizelge 3.9 : Parametre tahmini.....	49
Çizelge 3.10 : Sınıflandırma matrisi.....	50
Çizelge 4.1 : Haftalık araç türü ve sektör bazında toplam yük miktarı	57
Çizelge 4.2 : Haftalık araç türü ve sektör bazında ortalama yük miktarı	57
Çizelge 4.3 : Sektör bazında araç türlerine göre sefer dağılımları (%)	57
Çizelge 4.4 : Sektör bazında yük seviyelerine göre sefer dağılımları (%)	58
Çizelge 4.5 : Araç türü bazında yük seviyelerine göre sefer dağılımları.....	59
Çizelge 4.6 : Sektör bazında mesafe seviyelerine göre sefer dağılımları (%)	60
Çizelge 4.7 : Normal dönemde yük ve mesafelere göre sefer sayısı	61
Çizelge 4.8 : Covid-19 pandemi döneminde yük ve mesafelere göre sefer sayısı	61
Çizelge 4.9 : Araç türleri ve özellikleri	62
Çizelge 4.10 : TEM girdileri ve kaynakları	63
Çizelge 4.11 : Dizel ve elektrikli araçlara ait emisyon miktarı	70



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Literatürdeki çalışmaların sıklıkları.	8
Şekil 1.2 : Finansal faktörlerin sıklıkları.	9
Şekil 1.3 : Operasyonel faktörlerin sıklıkları.	10
Şekil 1.4 : Davranışsal faktörlerin sıklıkları.	11
Şekil 1.5 : Metodoloji adımları.	20
Şekil 2.1: Yakıt türlerine göre araç stok payı	23
Şekil 2.2: Türkiye’deki şarj istasyon noktaları	25
Şekil 2.3 : Sefer uzunluklarına göre sefer sayıları dağılımı.....	34
Şekil 3.1 : EYA ve İYMA seferlerine ait kutu grafikleri sonuçları.....	42
Şekil 3.2 : Yük türü çokluk grafiği (%)	43
Şekil 3.3 : Paket türü çokluk grafiği (%)	44
Şekil 3.4 : Yakıt türüne göre firma sayısı	44
Şekil 4.1 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 1.	52
Şekil 4.2 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 2.	53
Şekil 4.3 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 3.	55
Şekil 4.4 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 4.	56
Şekil 4.5 : Araç türlerine göre araçların ortalama yıllık kilometresi	58
Şekil 4.6 : Firma için normal ve pandemi döneminde senaryo bazlı EYA oranı.	64
Şekil 4.7 : Normal dönemde senaryo bazlı yük seviyelerine göre EYA oranı.	66
Şekil 4.8 : Pandemi döneminde senaryo bazlı yük seviyelerine göre EYA oranı.	66
Şekil 4.9 : İstanbul kent içi lojistik için senaryo bazlı EYA oranı.	67
Şekil 4.10 : İstanbul kent içi lojistik için senaryo bazlı EYA oranı.	68
Şekil 4.11 : İstanbul için senaryo bazlı yük seviyelerine göre EYA oranı	68
Şekil 4.12 : Firma için senaryo bazlı emisyon miktarı azalma (%).....	71
Şekil 4.13 : İstanbul kent içi yük taşımacılığı için senaryo bazlı emisyon miktarı azalma (%).	71



ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEHİR İÇİ YÜK TAŞIMACILIĞINDA KULLANIMI

ÖZET

Tüm dünyada artan çevre kirliliği çevresel endişeleri gündeme getirmektedir. Karbondioksit emisyonu çevre kirliliğine neden olan etmenlerin başında gelmektedir. Her ne kadar fosil yakıtlar dünyada tükenmeye başlasa da halihazırda ulaşım sektörünün yoğun kullandığı yakıt türü olarak karbon emisyonuna olan olumsuz etkisi devam etmektedir. Hem azalsa da zarar verici olmaya devam eden fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltmak hem de petrol fiyatlarının artmasının getirdiği maliyet sorunlarını aşmak için ulaşım sektörü yeni arayışlara yönelmektedir. Bu noktada, gelişen teknolojiyle birlikte elektrikli araçların kullanımı bir çözüm olarak görülmektedir. Yük taşımacılığında elektrikli araçların yayılması ve dolayısıyla yaşanan çevresel kirliliğin azaltılması mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışmada, pilot bölge olarak seçilen İstanbul'da, kent içi yük taşımacılığında elektrikli araçların kullanımı potansiyelinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaca erişebilmek için elektrikli araçların kullanımıyla ilgili seçimler ve ilgili faktörlerin analitik bir analizi yapılmıştır. Bu analitik analiz yardımıyla, İstanbul'daki şehir içi yük taşımacılığında faaliyet gösteren kurumlar için mesafe ve yük bazlı elektrikli yük araç seçim modeli oluşturulmuş ve bu seçim modeli yardımıyla ilk olarak çalışma kapsamına alınan firma için filo içerisinde elektrikli araç ve geleneksel araçların birlikte yönetildiği hibrit filoya ait araç tür yüzdeleri bulunmuştur. Böylelikle, İstanbul kent içi yük ulaşımındaki sektörler ve seçilen firma için elektrikli araç kullanım potansiyeli tahmin edilmiştir. Dolayısıyla, İstanbul kent içi yük taşımacılığında faaliyet gösteren firmalar ve seçilen firmanın kent içi yük taşımacılığı faaliyetlerinde kullandığı araç filosuna, elektrikli araçların eklenmesi için bir karar modeli önerilmiştir.

Bu analitik analiz içerisinde ilk olarak elektrikli araçların kullanım potansiyeline etki eden değişkenler ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, elektrikli yük araçların karşılaştıkları engelleyicileri ve kolaylaştırıcıları bulmak için elektrikli araç ekosistemde bulunan paydaşlar ile bir araya gelerek bir arama toplantısı düzenlenmiştir. Bu aşamaya kadar elde edilen iç görüler literatür çalışmasının bulgularıyla birleştirilerek seçim modelinde kullanılacak değişkenler seçilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen pilot bölgede faaliyet gösteren bir perakende firmasının sefer verilerinden yararlanılarak seçim senaryolarını içeren bir seçim (stated preference) anketi oluşturulmuştur. Anket tasarımı ortogonal deney tasarımı (orthogonal design of experiment) kullanılmıştır.

Çalışmanın bulgularına göre, elektrikli araç kullanım potansiyeli araç türlerine ve sektörler için farklılık göstermektedir. Ayrıca, araç tipleri arasındaki sefer süreleri farkına göre senaryolar üretilmiştir ve bu senaryolar kapsamında araç kullanım potansiyeli değişmektedir. Kısaca oluşturulan senaryolar, geleneksel ile elektrikli aracın sefer sürelerinin eşit olmasından başlayarak sonraki her bir senaryoda kademeli

%10 arttırılmıştır. Toplamda beş farklı senaryo ile araç kullanım potansiyeli ortaya çıkarılmıştır. İstanbul'da kent içi taşımacılıkta kullanılabilecek elektrikli araç oranları, sektörlerle göre ağırlıklandırıldığında ve çalışma kapsamında değerlendirilen iki tür araç arasındaki sefer süresi farkına dayalı senaryolar dikkate alındığında %20,4, %11,6, %6,4, %3,5 ve %2,0 olarak ortaya çıkmıştır. Diğer yandan, çalışma kapsamına alınan firma filosuna ait elektrikli araç kullanma oranı senaryolar baz alınarak %31,7, %25,4, %21,0, %17,5 ve %14,6 olarak belirlenmiştir. Firma ve filo özelliklerine (barındırdığı araç türleri, taşıdığı yük türü vb.) göre bu oranlar değişkenlik göstermektedir. İstanbul geneli ve firmaya ait filo için elde edilen bu oranlar, filoların çoğuna elektrikli araç eklenebileceğini göstermektedir. Ayrıca, elde edilen bu oranlar ve ilgili diğer veriler yardımıyla İstanbul'da yük taşımacılığindeki sektörlerden ve seçilen firmadan kaynaklı karbondioksit emisyon miktarının, elektrikli araçların kullanımı ile sırasıyla %15,0 ve %25,8 oranında azalabileceği tahmin edilmiştir. Böylelikle, yük taşımacılığında kullanılan geleneksel ve elektrikli araçların bir arada olacak şekilde hibrit bir filo yapısına geçilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu geçişin ilk olarak perakende, imalat, konaklama ve yiyecek sektörlerinden başlaması diğer sektörlerle göre elektrikli araç kullanımının daha olumlu sonuçlar verme potansiyeli olduğu bulgusuna varılmış ve bu sektörlerde ulaşım da elektrikli araçların katılımını hızlandıracak düzenlemelerin yapılması önerilmiştir. Ayrıca, elektrikli araçlarla yapılan seferlerde geleneksel araçlara göre sürenin artması, kullanım potansiyelini düşürdüğünden elektrikli araçlara sefer süresini kısaltacak, özel park alanlarının tahsis edilmesi, şehir içindeki belirli noktalara sadece elektrikli araçların girmesine yönelik düzenlemelerin yapılması önerilmiştir.

THE ADOPTION OF ELECTRIC VEHICLES IN URBAN FREIGHT TRANSPORTATION

SUMMARY

Increasing environmental pollution in the world causes environmental anxieties for the world. Recently, the significant increase in carbon emissions is a one of the factors that deteriorated environmental pollution. Decreasing air quality in cities negatively affects health and quality of life. With rapid urbanization, the more the internal combustion engine vehicles are used in urban roads, the more greenhouse gas emission and extracting particles from those vehicles damage the air quality. There are many sectors such as energy, manufacturing, transportation, etc. that increase emissions. The carbon emissions stemming from transportation play an important role in contributing to overall greenhouse gas emissions in the world. On the other hand, fossil-fuel resources have been depleted and the price of fossil-fuel is rising and therefore, the transportation sector is in search of alternative sources of energy. Rising demand for passenger and freight transport as well as rising urbanization has led to air and noise pollution, and health problems and aggravated the quality of life.

On the other hand, the freight transportation has been recently under transformation by increasing delivery frequency and shrinking package volume with wide spreading activities of e-commerce. As a response to related environmental and economic issues brought about by this increase, the electrification of the fleets that are operating in urban transport has become a pressing issue. Nevertheless, developments in technology sector provide an opportunity for the adoption of electric vehicles in the transportation sector. Accordingly, the issue of the suitability of electric vehicles for freight fleets has emerged as a prominent research topic for improving sustainability of cities.

This study aims at exploring the potential adoption and diffusion rate of electric vehicles for a pilot area. To achieve this objective, this study developed an analytical approach to estimate the electric freight vehicle (EFV) adoption rates in urban delivery fleets. The study differs from the previous literature by taking trip characteristics into account, as it examines how time, cost and environmental variables impact the inclusion of EFVs in transport fleets for various payload and trip distance categories. This study has used conjoint analysis to estimate the trade-offs among various EFV related attributes and predict EFV adoption probabilities in urban freight fleets, based on real delivery data. Conjoint analysis is a stated preference-based technique which is largely used and discussed in transportation studies on freight and passenger transportation. The study conducted a stated-preference survey to analyze the preferences of companies engaged in urban freight transport. Based on the results of the survey, the study developed six choice models for different cases defined by trip distances and payload. Then, a choice model is used to predict the adoption probability of EFVs for delivery operations of a retail company, located in Istanbul, Turkey.

In addition to these steps, the study approach consists of the selection of the variables that will serve as the input of the EFV choice model, experimental design, survey generation and execution, creation of a choice model in line with the results produced by the survey, and prediction of the potential rate of adoption of EFVs based on the choice model. From among the long list of mode choice variables, the study first identified the ones that may contribute to the increased use of EFVs and help distinguishing them from conventional vehicles. These are route distance, transportation costs, time, freight load amount and the environmental impact, because their values are likely to differ between EFVs and conventional vehicles. In addition, to facilitate the participants' responses to the survey, the levels of the variables are determined to reflect real-life values. The study used the inter-city delivery data of a leading retail transport company in Istanbul to estimate the levels of variables. The environmental impact of the vehicles is represented based on emission levels, which are considered dummy variables and categorized into two levels: low emissions and high emissions. A stated preference survey is developed to model the carriers' decision mechanisms on the basis of various combination levels of the decision variables as discussed above. Those combinations also indicate of the values inherent to the preference scenarios presented to participants in the survey. An orthogonal design is used for developing the survey, in which every variable level can be assessed independently of the other variable levels.

Since the primary aim of this study is to create an EFV choice model for firms engaged in the urban freight transportation, the target group of the survey consists of firms and organizations of all sizes that are involved in this form of transport. A purposive sampling technique is used in order to reach participants from the target group. In purposive sampling, participants are chosen deliberately with the expectation that each participant will provide unique and rich information for the research. The questionnaire is responded by 35 decision makers who are responsible for logistics operations in their companies. These companies include retail, automotive, third party logistics, public institutions (waste management etc.). According to the results of the questionnaire, the fleet belonging to only a few of those companies include electric vehicles that are light commercial vehicles and their payload is lower than 3,5 tons and thus, a limited information about the usage of electric vehicles is obtained from the questionnaire. The results of the questionnaire provide insights on the inner-city logistics activities, for example, the usage of package types, the fleet composition and firm attributes.

The study used choice models to calculate the potential adoption rate of EFVs in the fleet of a retail company and urban freight transportation in Istanbul. The adoption rate methodology is developed with the help of choice models for each modes and secondary data resources. This analytics approach incorporates how to obtain related data for reaching adoption rate of a firm's fleet, calculate cost of selected vehicles (electric vehicles and internal combustion engine vehicles), determine the use of variables in choice-model and generalize the results for finding electric vehicles' adoption rate. With this analytics approach, the potential of the use of electric vehicles in freight transportation for both the firm and Istanbul's city logistics is predicted. The adoption rates of the usage of electric vehicles in both the selected company and inner-city logistics in Istanbul are forecasted based on the scenarios set outs based on the duration of running a typical route. The first scenario assumes that travel time of conventional vehicles is the equal electric vehicles' travel time. The travel times in other scenarios are gradually increased by %10. The potential of electric vehicle's

adoption has been totally obtained with five different scenarios. According to the adoption rates obtained for each scenario, quite a high number of electric vehicles would start to be operated in roads, for both the fleet of the selected company and the fleets of other companies operating in urban freight transportation in Istanbul. According to the results, the adoption rates for the selected company's fleet are respectively %31,7, %25,4, %21,0, %17,5 and %14,6. In other words, all vehicles in the fleet of the company have internal combustion engine vehicles and therefore, it can be concluded that between %14,6 and %31,7 of those vehicles in the fleet of the company can be electric vehicles. On the other hand, the adoption rates for Istanbul are found to be %20,4, %11,6, %6,4, %3,5 and %2,0. The adoption rates of those vehicles vary based on their load categories. The study shows that a significant number of electric vehicles would be in roads. As a matter of fact, most fleet of companies that serve city logistics would be electric vehicles. The emission rates stemming from the urban freight transportation in Istanbul will decrease by these rates. Likewise, the amount of emissions generated by the fleet of the company is estimated to decrease from the current situation. There is a reduction by 15,0% and 25,8% in the amount of emissions emitted by Istanbul's urban freight transportation and the selected company fleet, respectively. Consequently, it has been concluded that the transition to a hybrid fleet structure in freight transportation with conventional and electric vehicles together has led to a reduction in environmental pollution. The study found that the transition to electric vehicles in retail, manufacturing and accommodation and food sectors is more potential than other sectors in freight transportation of Istanbul. With this information, it has been suggested to make regulations that will accelerate the participation to fleets of electric vehicles in these sectors. In addition, since the increase in the time of the trips with electric vehicles decreases the usage potential of electric vehicles, it is recommended to make regulations to decrease the trips time of electric vehicles. To reach this aim, it is suggested to make regulations such as allocating private parking areas, entrying of only electric vehicles to certain areas inner-city.



1. GİRİŞ

Tüm dünyada artan çevre kirliliği çevresel endişeleri gündeme getirmektedir. Çevresel anlamda kirliliğe neden olan etkenlerin biri de sera gazı emisyonunun artmasıdır. Sera gazının artmasına neden olan sektörlerin başında enerji, sanayi ve ulaşım sektörü gelmektedir. Özellikle karayolundaki yolcu ve yük taşımacılığı sera gazı emisyonunun oluşmasına neden olmakta ve dolayısıyla çevreyi doğrudan kirletmektedir. Düşük hava kalitesi şehirde yaşayanların sağlığını ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Tüm bunların yanında, dünyada artan hızlı şehirleşmeyle birlikte şehir içi yollarda yüksek sayıda ticari araç kullanılmaya başlamıştır (Whang ve Thoben, 2017). Şehirlerdeki hava kalitesinin artırılması ve dolayısıyla emisyonun azaltılmasına yönelik olası çözüm yollarından biri de şehir içi yolcu ve yük taşımacılığının geliştirilmesinden ve değiştirilmesinden geçmektedir (Quak ve diğ., 2016a).

Avrupa’da emisyon miktarları açısından ulaşım sektörü birinci sıradadır ve bu sektörün payı %27 olarak hesaplanmaktadır (European Environment Agency, 2019). Yük taşımacılığından kaynaklı emisyonun düşürülmesi, yolcu taşımacılığına kıyasla daha kolaydır. Bunun nedeni yük araçlarının sabit rotalara ve etkili küresel konum belirleme (Global Positioning System-GPS) sistemine sahip olması ve uydu ile iletişimde olmaları sebebiyle daha kolay izlenmesi ve yönetilmesidir (Whang ve Thoben, 2016).

Son yıllarda ayrıca e-ticaret hacminde yaşanan artışa bağlı olarak küçük ölçekli yük taşımacılığına olan talep ve taşıma sıklığı artmaktadır (Fiori ve Marzano, 2018). Özellikle şehir içi yük ulaşımında e-ticaret yüklerin taşındığı araç sayısında ciddi bir artış meydana gelmektedir. Buna ek olarak, kentlerde kullanılan araçların yaşlı olması, karbondioksit (CO₂), nitrojen oksit (NO_x) ve partikül maddelerden kaynaklı küresel ve yerel çevre kirliliğinin daha da artmasına neden olmaktadır (Camilleri ve Dablanç, 2017). Bu durum karşısında, Avrupa Birliği (AB) 2030 yılında şehir içi yük taşımacılığında sıfır emisyon hedefi belirlemiştir (Dey ve diğ., 2018). Tüm bu

nedenlerden dolayı, sıfır ya da düşük emisyonlu araçlar, ulaşımdan kaynaklı çevre kirliliğine bir çözüm alternatifi olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, Avrupa ülkelerinin İçten Yanmalı Motorlu Araçlar (İYMA) ile ilgili (özellikle yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan araçlar için) aldığı yasaklayıcı kararlar da alternatif yakıtlı araçların yakın gelecekte hızlı bir şekilde yaygınlaşmasını teşvik etmektedir (Dey ve diğ., 2018). Tüm bu gelişmeler, şehir içi yolcu ve yük taşımacılığında yoğun olarak ticari ve binek araçların elektrikli olmasını gündeme getirmektedir.

Bu çalışma kapsamında kentiçi yük taşımacılığında Elektrikli Yük Araç (EYA)'ların kullanımına odaklanılmaktadır. Çalışma kapsamında, EYA'ların şehir içi yük taşımacılığında kullanımı değerlendirilerek, EYA'ların ne kadar yaygınlaşacağını ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında, EYA'ların yaygınlaşmasına etki eden faktörlerin ve iç görülerin keşfedilmesi, yük taşımacılık filolarında EYA'ların potansiyel kullanımlarını ortaya çıkarmak için seçim modellerinin oluşturulması ve EYA'ların belirlenen oranlarda kullanılması durumunda, pilot bölgedeki sera gazı (Green House Gas - GHG) emisyon değişiminin ne olacağını belirlenmesi yer almaktadır. EYA'ların potansiyel kullanımlarını belirlemek için lojit modellerden yararlanılmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde EYA'lara yönelik bir yazın taraması yapılmış, tür seçim modeli ve belirtilen seçim deney (stated preference survey) literatürü incelenmiş, çalışmanın problem tanımı ve kapsamı ve tezin yöntemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. İkinci bölümde, ülkemizdeki yük taşımacılık faaliyetleri, sera gazı emisyon durumu, EA'lar için verilen teşvikler, EA'ların şarj istasyon altyapısı ve EA faaliyetleri ve sayıları mevcut durum analizi başlığı altında incelenmektedir. Ayrıca bu bölümde, potansiyel EYA'ların kullanım oranlarını belirlemede etkili olan literatür ve çalıştay bulgularına süzülerek ve detaylandırılarak elde edilen değişkenlerin, firma verisi dikkate alınarak oluşturulan seçim modellerinde hangilerinin kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde, seçim modellerine girdi olacak anket tasarımının yapılması, anket yöntemi ve sonuçlarının paylaşılması ve seçim modellerinin oluşturulması detaylandırılmaktadır. Dördüncü bölümde, potansiyel EYA yaygınlaşma oranının tahmin edilmesi, bu tahminden elde edilen oranlarla pilot bölgedeki sera gazı emisyonundaki değişim oranlarının keşfedilmesine yönelik detaylar ve hesaplamalar ve beşinci bölümde çalışmanın sonuçları ve elde ettiği iç görüler paylaşılmaktadır.

1.1 Literatür Taraması

1.1.1 Elektrikli yük araçları literatürü

Tüm dünyada EA'ların bileşenleri (batarya, yedek parça vb.) başta olmak üzere, EA'ların teknik açıdan geliştirilmesine yönelik çalışmalar 2012'den sonra hız kazanmıştır. Bu çalışmaların paralelinde uluslararası bir EA yazını oluşmaya başlamış olmasına rağmen, literatürde yük taşımacılığı için EYA'ların kullanımına ve gelişimlerine yönelik yapılan araştırmalar sınırlıdır.

Literatürde sıklıkla EA'ların yük taşımacılığına uygunluğunun, İYMA'larla karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları EYA'ların karşılaştıkları engellere odaklanırken, bazıları da doğrudan rekabet koşullarının ne olacağını araştırmaya odaklanmaktadır. Browne ve diğ. (2012) alternatif yakıtlı araçların benimsenmesi alanında yaptığı çalışmada EYA'ların karşılaştığı engelleri, finansal, kurumsal ve idari, teknik, düzenleyici ve yasal ve fiziksel engeller başlıkları altında sınıflamaktadır. Talebian ve diğ. (2018) devletlerin katı filo emisyon düzenlemelerini dayatması ve erken pazara giren aktörlere (EYA üreticileri, müşteriler ve altyapı sağlayıcılar) kolaylıklar, teşvikler ve ayrıcalıklar dağıtması gerektiğini vurgulamaktadır. Wikström ve diğ. (2016) EYA'ların karşılaştığı teknik ve ekonomik engellere ek olarak, operasyonel engellerin (sürüş tecrübesi, organizasyonel bakış, araç altyapısı vb.) önemini vurgulamışlar ve EYA'ların benimsenmesinde örgütsel koşulların ve kullanıcı özelliklerinin etkili olacağını göstermişlerdir.

Kaplan ve diğ. (2016) küçük ve orta ölçekli firmaların filolarına EYA'ları ekleme noktasındaki destekleyicileri ve engelleri araştırmışlardır. Araştırma kapsamında yapılan anket sonucunda, EYA'lara karşı olumlu tutum, öznel normlar, algılanan operasyonel kolaylık gibi tüketici temelli etkenlerin EYA'ların filolara girişini etkilediği bulunmuştur. Globisch ve diğ. (2018a) teknoloji kabul modeli (technology acceptance model) altında tüketicilerin EYA'lara olan davranış ve tutumlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, Kaplan ve diğ. (2016) tarafından belirlenen etkenlere ek olarak, algılanan örgütsel faydanın da (çevreci imaj, araç kullanım kolaylığı vb.) EA'ların benimsenmesini olumlu yönde etkilediği bulunmuştur (Globisch ve diğ., 2018a). Globisch ve diğ. (2018b) firmalar içinde EA'ları ilk benimseyenlerin EA'ların filolara katılım sürecini başlattığını, organizasyon karar süreçlerini etkilediğini ve örgütün yenilikçi görünmesinde rol oynadığı sonucuna

varmışlardır. Altenburg ve diğ. (2017), EYA'ları filolarına katan firmaların karar süreçlerindeki iç görüleri ortaya çıkarmayı amaçladığı çalışmada, EYA'ların yeni teknolojiler olduğunu ve bu teknolojinin girişimciler (innovator) ve erken uyum sağlayanlar (early adapter) aşamasında olduğunu belirtmişlerdir. Bu aşamada olan firmaların sosyal ve çevresel sorumlulukları yüksek olduğu için EYA'ları filolarına katmaya istekli olduklarını görülmüştür. Farklı sektörlerdeki bu firmaların taşıdığı yük türlerine göre EYA ihtiyacı farklılaştığı için EYA'ların mutlaka çeşitlendirilmesi gerektiğini belirtmiş ve yerel yönetimlerin EYA'ların üretilmesinde sürdürülebilir bir kampanya yapması gerektiğinin altını çizmişlerdir. Ayrıca, EYA'ların çalışma kapsamına alınan sektörlerdeki firmaların filolarına katılmasının kamusal imaja önemli katkı yapması beklenmekte ve bu firmaları filolarında EYA bulundurmaya yönlendirmektedir (Altenburg ve diğ., 2017). Gıda, inşaat ve hizmet sektöründeki firmalarla gerçekleştiren derinlemesine görüşme sonrasında; firmaların İYMA'ların çevreye ciddi ölçüde zarar verdiğinin farkında olmalarına rağmen genellikle EYA'lar hakkında yapılan düzenlemeler ve teşviklerden haberdar olmadıkları gözlenmiştir. EYA'ların onarım sürelerinin uzunluğu, sektör bazında farklılaşan ihtiyacı karşılayan EYA çeşidinin bulunmaması (örneğin gıda sektöründe EYA'larda dondurucu eksikliği olması, inşaat sektöründe ağır ve büyük parçaları taşıyacak EYA bulunmaması, vb.), filo büyüklüğü ve teslimat alan genişliği, EYA'ların filolalara katılma sürecinde alınan kararları etkilemektedir (Altenburg ve diğ., 2017).

Hackbarth ve Madlener (2013) alternatif yakıtlı araçların benimsenmesinde etkili olan tüketici grubunun iyi eğitilmiş, genç ve çevre farkındalığı yüksek olan bireyler olduğunu bulmuştur. Sierzhula ve diğ. (2014) çalışma kapsamındaki firmalara ait filoların çevresel etkilerin nasıl azaltılabileceğini, devlet teşviklerinden yararlanmanın ve kuruluşun toplumsal imajını iyileştirmenin EYA'ların benimsemesinde etkili olup olmadığını araştırmışlardır ve bu etkenlerin EYA'ların yayılımında olumlu yönde bir etkisi olduğunu bulgulamışlardır. EYA'ları filolara katma kararındaki diğer olumlu etkenler düşük operasyonel maliyetler, ilk giren avantajı, düşük çevresel etki, devlet düzenlemeleri ve firmanın kamu imajını güçlendirmesi olarak bulgulanmıştır. Diğer taraftan filolara katılma kararını engelleyen etkenler arasında şarj etme işlemlerindeki zaman kaybı, araçların beklenenden daha düşük menzile sahip olması ve şarj istasyonlarında beklentileri tolayacak bir iş modelinin yokluğu yer almaktadır (Sierzhula ve diğ., 2014).

Mirhedayatian ve Yan'ın (2018) EYA'ların şehir için yük taşımacılığında kullanımı ile ilgili bir çerçeve çalışması gerçekleştirmişlerdir. EYA ve İYMA'lar için belirlenen senaryolar kapsamında yapılmış çalışma sonucunda EYA'lar için belirlenen şehir bölgelerine ücretsiz giriş ayrıcalığı ile İYMA'lar için bölge ücretini arttırmanın, firmaların toplam lojistik maliyetini arttırmasına rağmen, sosyal refahı yükselttiği bulgulanmıştır. Hükümetler tarafından EYA'lara verilen satın alma teşviği ve vergi indirimleri, firma ve toplumda aynı derecede önemsenmediği bulunmuştur.

Tretvik ve diğ. (2017), Freight Electric Vehicles in Urban Europe (FREVIEW) projesi kapsamında EYA'ların lojistik sistemler için teknik uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada, EYA'ların menzilin çok soğuk ve çok sıcak havalardan olumsuz olarak etkilendiği sonucuna varılmıştır. Hafif EYA'lar için en iyi menzilin sıcaklık aralığı 10-15 °C bulunmuş ve 25 °C ve üstü sıcaklıklarda menzilin düştüğü (%39 menzil kaybı) tespit edilmiştir.

Davis ve Figliozzi (2013) yapmış oldukları çalışmada, EYA'ların dağıtım alanında İYMA'larla rekabet edebilirliğini incelemişlerdir. Kurdukları modelde, rota kısıtları, hız profilleri, enerji tüketimi ve araç sahipliği maliyetleri gibi değişkenleri dikkate almışlardır. Sonuç olarak filo büyüklüğü, rota mesafesi, batarya ömrü, satın alma maliyetleri gibi etkenlerin EYA'ların rekabetçiliğini etkilediği bulunmuştur. Bu bulgulara ek olarak, Wikström ve diğ. (2014) yapmış olduğu çalışmada, sürücülerin zamanla EYA'lardan edindikleri tecrübeyle, araç şarjının daha etkin kullanıldığını ve böylelikle sürüş mesafesinin arttırıldığını tespit etmişlerdir. Dolayısıyla, zaman içerisinde EYA'ların İYMA'larla rekabet etme potansiyeline erişebileceği sonucuna varmışlardır. Aynı alanda araştırma yapan Feng ve Figliozzi (2013), çalışma bağlamında kurulan model sonrasında, bir yılda yüksek kilometrede yapılan sürüşler için EYA'ların rekabetçi hale geldiğini bulgulamışlardır.

EYA ve İYMA'ların karşılaştırılmasında sera gazı emisyonu bakımından ve ekonomik açıdan değerlendirme yapan daha yeni çalışmalar bulunmaktadır. Falcão ve diğ. (2017) yapmış olduğu çalışmada, sera gazı emisyonu açısından Brazilya'daki EYA ve İYMA'ları kıyasladığında, EYA'ların 4,6 kat daha az emisyonla sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Buna ek olarak, gerçekleştirilen ekonomik analiz ile EYA'ların sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasının, yüksek döviz kurlarına sahip ithal parçalardan kaynaklı olarak pek mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada, EYA'ların geri ödeme süresi 13 yıl olarak bulunmuştur.

Figenbaum (2018) yapmış olduğu çalışma kapsamına aldığı örneklem üzerinden Norveç'teki 170 km menzilli EYA'ların, İYMA'ların %42'si ile değiştirilebileceğini tahmin etmiştir. Camilleri ve Dablanc (2017) ve Lebeau ve diğ. (2015) günlük 80 km altı planlanan rotalarda EYA'ların uygun olmadığı sonucuna ulaşmıştır. Morganti ve Browne (2018) çalışmasında, Paris ve Londra'daki günlük operasyon yapan firmaların yetkili filo yöneticileriyle derinlemesine mülakat yaparak keşfettikleri teknik ve operasyonel bilgiler ışığında 3,5 tonluk EYA'ların rekabetçi olduğu sonucuna erişmişlerdir. Fakat, EYA'ların sınırlı çeşitlilikte ve kısıtlı hacimde üretilmesi, tercih edilmesini engellemektedir (Wang ve diğ., 2018). Macharis ve diğ. (2013) EYA ile İYMA'ların toplam edinme maliyetlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan detaylı maliyet çalışması ile filo yöneticilerinin sadece EYA'ların satın alma maliyetini dikkate almasının doğru olmadığını, bunun yanında diğ er maliyetleri de hesaba katması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu maliyetler arasında, bakım, sigorta ve batarya maliyetleri yer almaktadır. Yapılan çalışmada, EYA'ların bir tonun altındaki taşıma kapasitelerinde İYMA'lara göre daha rekabetçi olduğu bulunmuştur. Bir tonun üstündeki tüm kategorilerde İYMA'ların EYA'lara göre daha rekabetçi olduğu ortaya çıkmıştır (Macharis ve diğ., 2013).

Giordano ve diğ. (2018) İYMA'lar ile Bataryalı Elektrikli Yük Araçlarının (B-EYA) sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan yaptığı karşılaştırmada, çevresel değerlendirme, ilgili araçların yaşam döngüsüne bakılarak yapılmıştır. B-EYA'ların İYMA'lara göre %44-47 oranında emisyon miktarını azalttığı bulunmuştur. İYMA'ların taşımacılıktaki payının azaltılması için vergilerinin arttırılması, B-EYA'nın vergilerinin düşürülmesi ve şehirlerdeki elektrik şebekelerine erişimlerin yaygınlaştırılması gerektiğine vurgu yapmışlardır. Diğ er yandan, firmalar için B-EYA'ların İYMA'lara göre maliyetlerin daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, B-EYA'ların üretimi daha karmaşık olduğu için üretim performansı da İYMA'ların üretimine göre kötü seviyelerde olduğunu ifade etmişlerdir (Giordano ve diğ., 2018).

Talebian ve diğ. (2018) yapmış oldukları çalışmada British Columbia'daki yük taşımacılığından kaynaklı sera gazı emisyon miktarını tahmin etmişlerdir. Bu tahmin sonucunda, eğer 2040'a kadar İYMA'lar kullanırsa, hafif yük araçlarında %39, orta yük araçlarında %53 ve ağır yük araçlarında %84 oranında sera gazı emisyonunda artış olacağını ve öte yandan bütün araçların EYA olması durumunda ise sera gazı emisyonunun %64 oranında azalacağını bulmuşlardır. Duarte ve diğ. (2016) B-EYA

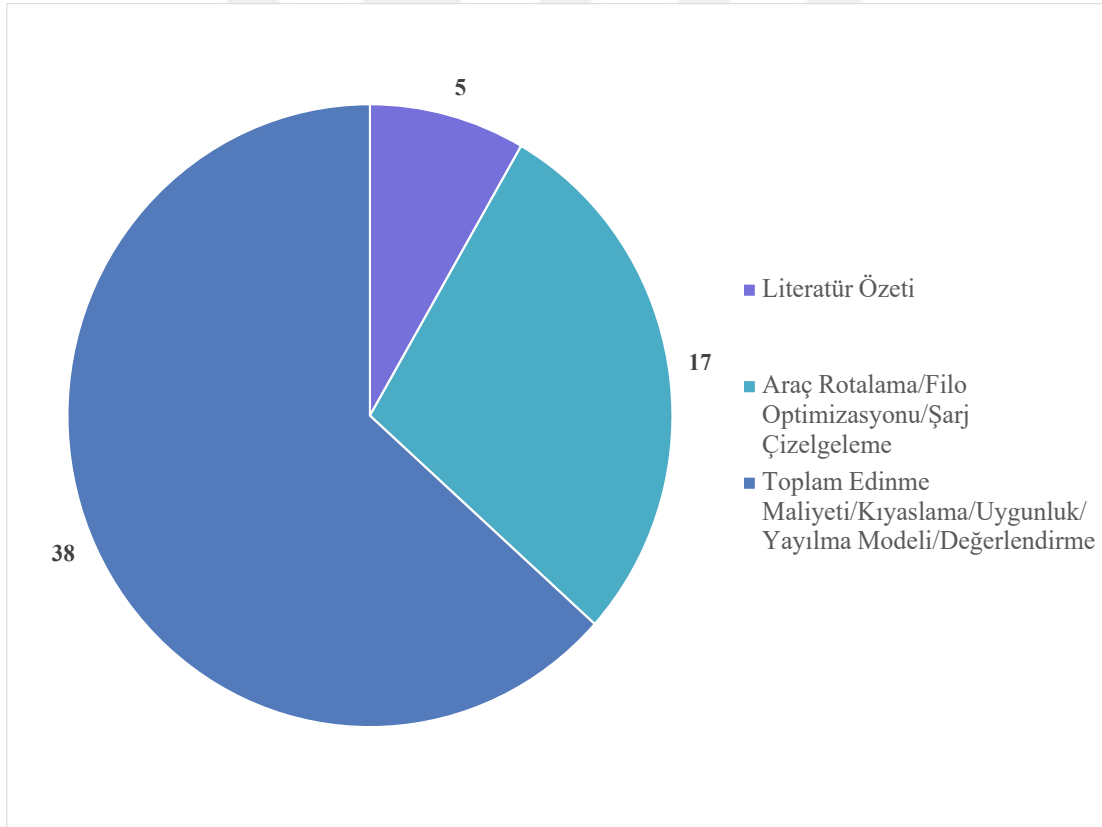
ve İYMA'ların kıyaslamasını yapmış bir diğer çalışmadır. İYMA ve B-EYA araçlarına takılan bir ekipman yardımıyla, sırasıyla yedi ay ve üç ay boyunca sürüş dinamiklerini gösteren veriler toplanmıştır. B-EYA'nın ortalama hızının İYMA'dan %18 daha fazla olduğunu ve B-EYA'nın İYMA'ların günlük sürüş mesafesi açısından benzer olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Schücking ve diğ. (2017) çalışmalarında, Almanya'da EYA'lar için beş farklı şarj etme stratejisini sahada test etmişlerdir. Bu stratejilerin dördü hızlı şarj sistemini içermektedir. EYA'ların yıllık yüksek kilometrelerde kullanılması durumunda, doğrudan şarj (direct charge-DC) hızlı şarjın batarya üzerindeki zararlı etkisinin sınırlandırdığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca EYA'ların teknolojik özelliklerinin şarj etme stratejisi üzerinde ciddi etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. EYA'ların merkezi depolarında, teslimat rotası üzerindeki şarj istasyonlarında ve teslimat yaptıkları alanlarda şarj edilebilme imkânının var olması, EYA'ların hedeflerini aksatmadan gerçekleştirebilmeleri (İYMA'larla rekabet açısından) için kritiktir. Bu bağlamda, Pelletier ve diğ. (2018) EYA'ların şarj etme çizelgesini oluşturmaya odaklanmışlardır. Depodaki şarj programları oluşturulması ve hedeflenen rotaların tamamlanabilmesi amacıyla şarj çizelgelerinin oluşturulması için bir matematiksel model kurmuşlardır. Şarj altyapısının etkin kullanılmasına yönelik çalışmalardan bir tanesi de Janjic ve diğ. (2017) yapmış olduğu Plug-in EYA'ların günlük çizelgelemesidir. Çalışma kapsamında küçük ticari araç filosu için araçların en uygun şebeke bağlantısını sağlayan zaman çizelgesi ortaya çıkarılmışlardır. Ancak, şarj etme sürecinde, çizelgelenen zaman dilimi için talep edilen enerji miktarıyla arz edilen enerji miktarının farklılaşması, şarj soket farklılığı gibi farklı problemler ortaya çıkabilmektedir.

Matgaritis ve diğ. (2016), EYA'ların kullanımı ve teknik özelliklerin değerlendirilmesini ve işletme açısından uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır. Yük taşımacılığında şarj etme tekniklerinin EYA'lara uygun olmayan farklı şarj ve fiş yapılarından dolayı kritik bir problem ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan, Talebian ve diğ. (2018) yapmış oldukları çalışmada, bataryalarda enerji yoğunluğunda iyileştirmeler yapılmasının, B-EYA'ların 150 ile 400 km arasında olan menzillerini ve araçların taşıma kapasitesini yükselteceği sonucuna erişmişlerdir. Buna ek olarak, batarya teknolojilerinin kısıtlamalarına rağmen, şehir içinde kısa ve uygun rotalarla B-EYA'ların potansiyel olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Öte yandan enerji

tüketimini azaltacak rota yönlendirilmesinin, EYA rota tahmini ve şarjın etkin kullanılmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Fiori ve Marzano (2018) yapmış oldukları çalışmada çekiş gücü için gerekli enerjiyi, enerji tüketimini ve şarj durumunu (state of charge) tahmin etmişlerdir. Tüm bunların tahminini gerçekleştirebilmek için araç, operasyon, yol ve güç aktarım mekanizmasında özellikler girdi olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada ayrıca şehir içi yük taşımacılığının hızla büyümekte olduğu ve yük tiplerinin değişmekte olduğunu vurgulamaktadır. Şehir içinde teslimat sayısının artması, teslimatların sıklaşması ve gönderim hacimleri düşmesi ile küçük yük araçların çok sayıda müşteriye hizmet vermesi beklenmektedir (Fiori ve Marzano, 2018).

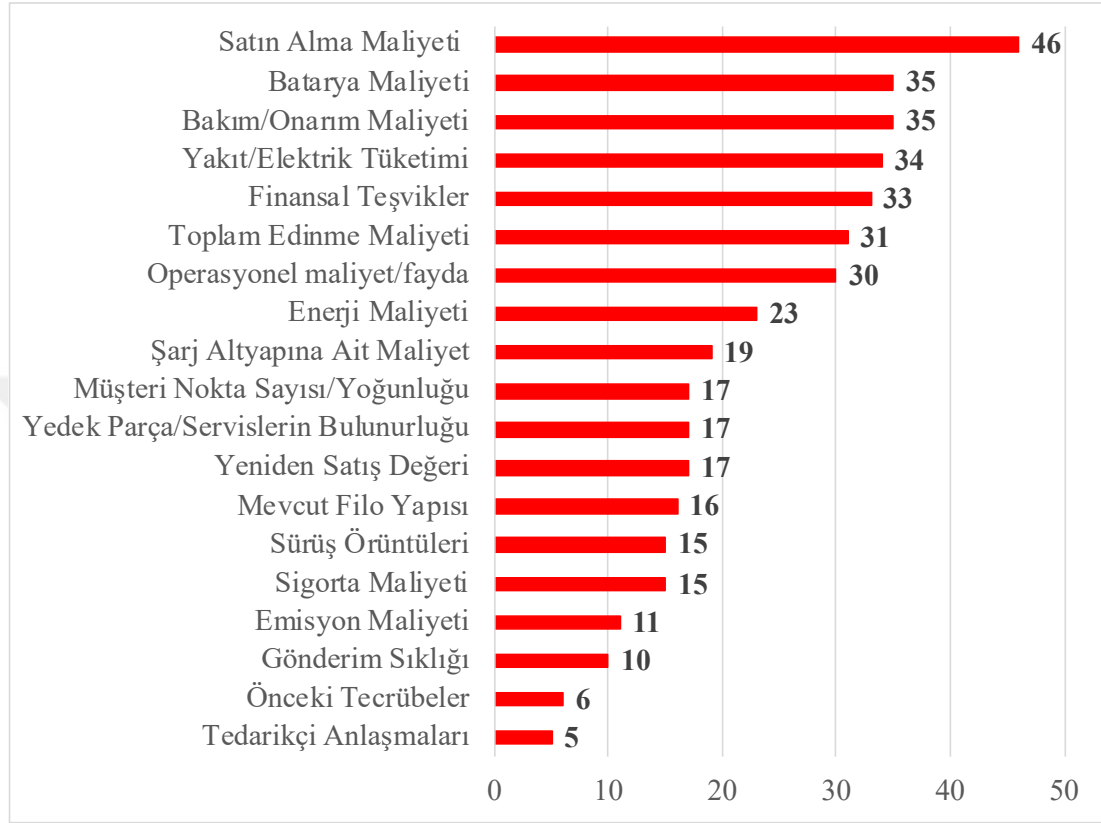
EYA'ların kullanımını değerlendiren bu çalışmalar ile güncel çalışmalar dikkate alınarak bir literatür özeti çıkarılmıştır. Şekil 1.1'de bu alanda yapılmış çalışmalar ele aldığı konulara göre gruplanarak verilmiştir.



Şekil 1.1 : Literatürdeki çalışmaların ele aldığı konulara göre sıklıkları.

Bu şekile göre, toplam edinme maliyeti, kıyaslama ve değerlendirme üzerine yapılan çalışmalar diğer gruplara göre daha fazladır. Bu grubun ardından araç rotalama, şarj çizelgeleme gibi deterministik çalışmalar ve sınırlı sayıda literatür özeti çalışmaları bulunmuştur.

Bu çalışmalar dikkate alındığında, EYA'ların kullanımını etkileyen faktörlerin sıklık analizi yapılmıştır. Çalışmalarda geçen faktörler finansal, operasyonel ve davranışsal olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Finansal faktörlere ait sıklık grafiği Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

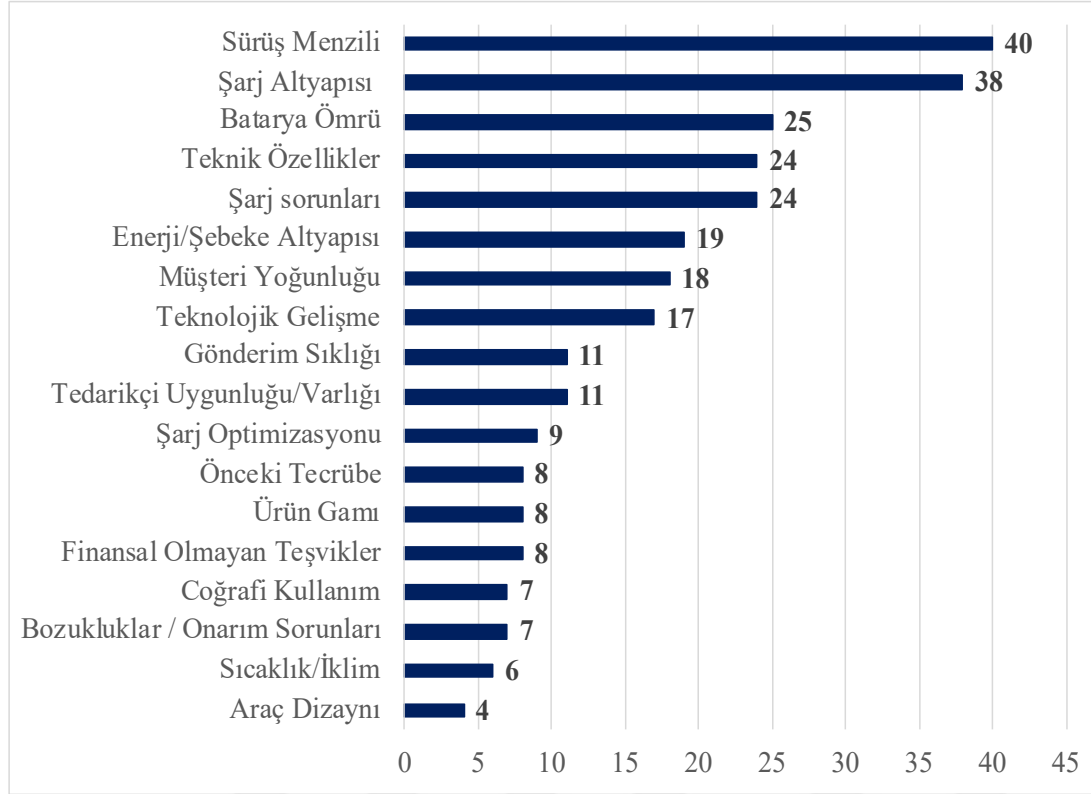


Şekil 1.2 : Finansal faktörlerin sıklıkları.

EYA'ların yüksek satın alma maliyeti ve batarya maliyeti, EYA'ların kullanımını olumsuz yönde etkileyen faktörler içerisinde en çok bahsedilen faktörler olarak çıkmıştır. EYA'ların düşük onarım/bakım maliyeti ve enerji tüketimi ve finansal teşviklerden, EYA'ların yayınlamasını kolaylaştırıcı faktörler olarak bahsedilmiştir. Bu faktörlerin dışında oluşturulan rotalardaki müşteri yoğunluğu, operasyonel maliyet, mevcut filo yapısı gibi pek çok faktör EYA'ların yaygınlaşmasını etkilemektedir.

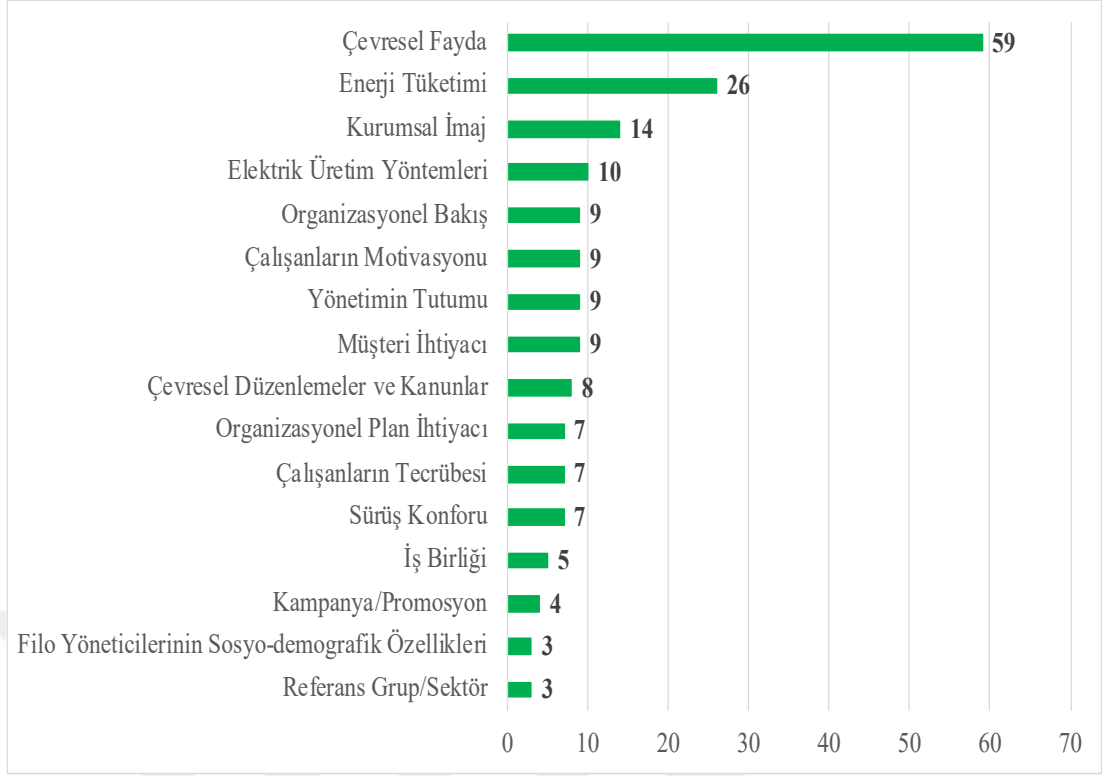
Şekil 1.3'te gösterilen EYA'ların kullanımını etkileyen operasyonel faktörler içerisinde EYA'ların sürüş menzili literatürde en çok bahsedilen faktördür. EYA'ların İYMA'lara göre batarya kısıtlamasından kaynaklı düşük sürüş menziline sahip olması, EYA'ların filo yöneticileri tarafından tercih edilmemesinin sebepleri arasındadır. Gönderilerin yapıldığı alanlardaki şarj altyapısı da EYA'ların kullanımlarını etkilemektedir. Yaygınlaşmış şarj altyapısı, EYA'ların kesintisiz sefer yapabilmesine imkân sağladığı için önemli bir faktör olarak belirtilmektedir. Bunların yanında,

EYA'ların sektörlere uygun çeşitlerinin varlığı, sıcaklık gibi pek çok faktör EYA'ların taşımacılıktaki kullanımının artmasını etkilemektedir.



Şekil 1.3 : Operasyonel faktörlerin sıklıkları.

EYA'ların kullanımına karar veren filo yöneticileri ve diğer karar vericilerin davranışsal özellikleri de literatürde tartışılmaktadır. Bu kapsamda EYA'ların yaygınlaşmasını etkileyen davranışsal faktörler Şekil 1.4'te gösterilmiştir. Literatürdeki EYA'lar ile ilgili çalışmaların çoğu EYA'ların çevresel faydaları göz önünde bulundurularak yazılmıştır. Şirketleri ve bireyleri EYA'ların kullanımı konusunda harekete getiren öncelikle davranışsal faktör çevresel fayda olarak görülmektedir. Kurumsal imaj, filo yöneticilerinin sosyo-demografik özellikleri, çalışanların EYA'lara karşı tutumları (olumlu/olumsuz), yönetimin EYA'lara bakışı gibi faktörler EYA'ların yaygınlaşmasını davranışsal açıdan etkileyen faktörler olarak görünmektedir.



Şekil 1.4 : Davranışsal faktörlerin sıklıkları.

Detaylı yapılan literatür taraması sonucunda, EYA'ların çevresel faydaları, EYA'ların yaygınlaşmasında olumlu bir özellik olarak görülmektedir. Firmalar, topluma karşı sosyal veya çevresel sorumluluklarını karşılamak için EYA'ları bünyelerine katmaya istekli olsalar bile, avantajlı olmayan finansal faktörler yüzünden EYA'ların filolara katılımı engellenmektedir. Literatür, EYA'ların yayılmasının önündeki en büyük engeli maliyetteki rekabet gücü olarak tanımlamaktadır. Yukarıda gösterilen şekillerdeki belirlenen her bir faktör için kaynak sayısının ilgili faktörün önem derecesini göstermediğine dikkat edilmelidir. Bu nedenle, yukarıdaki sonuçlar, faktörlerin göreceli öneminin bir göstergesi olarak değil, sadece araştırmacıların ilgisinin bir göstergesi olarak alınmalıdır. Ancak iki göstergenin doğal olarak ilişkili olduğunu düşünülmektedir.

Finansal ve operasyonel faktörlerin yanında organizasyonel faktörlerin de EYA'ların benimsenmesinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Şu anda EYA literatürü, EYA kullanımının teknik, operasyonel, ekonomik ve bazı organizasyonel yönlerine odaklanmaktadır.

1.1.2 Tür seçim modelleri

Yük ulaşımında tür seçim modelleri toplam yük ulaşım talebinin taşıma türleri (karayolu, tren, su yolu, birleştirilmiş ulaşım) arasındaki dağılımını açıklamaktadır. Bir diğer deyişle, ticari mal akışının ulaşım türlerine dağıtılmasını tanımlamaktadır. Yük taşımacılığında tür seçimini malın fiziksel özellikleri, ticari mal tipi, gönderim boyutu ve malın değeri etkilemektedir. Öte yandan türün hızı, güvenilirliği ve kapasitesi, gönderim sıklığı ve taşıma uzunluğu (length of haul), envanter, kayıp ve hasar, güvenlik, taşıma maliyetleri de tür seçimine tesir etmektedir (Beagen ve diğ., 2007). Literatürde tür seçimi modellerinde çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında, esneklik temelli, toplulaştırılmış (aggrete), ayırık (disaggrete), neoklasik gibi tür seçim modelleri yer almaktadır (Jong, 2004; Beagen ve diğ., 2007; Jong, 2014).

Tür seçim modeli olarak en çok kullanılan model lojit modellerdir. Lojit modeliyle, yüklerin hangi türde taşınacağına ilişkin olasılıkları ilgili bölge için hesaplanmaktadır. Lojit seçim modelleri, her türün göndericiye sağladığı faydaya dayanarak bireysel gönderim seçimini göstermektedir (Beagen ve diğ., 2007; Jong, 2014).

1.1.2.1 Fayda bazlı seçim teorisi

Fayda, birey için değerin göstergesidir. Bir birey seçimini yaparken sunulan alternatifler arasından kendi faydasını maksimize eden alternatifi dikkate alır. Fayda fonksiyonu, alternatiflerin niteliklerine ve bireylerin özelliklerine göre değişir (Koppelman ve Bhat, 2006).

Rastgele fayda teorisi, yapılan seçimlerin faydasını açıklamada kullanılır. Bu teoride seçim faydasının sistematik ve rassal iki parçadan oluştuğu kabul edilmektedir (Dargay ve Vythoukas, 1999).

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'deki U_i , i. seçimin faydasını ifade etmektedir. V_i ve ε_i , sırasıyla faydanın sistematik ve rassal bileşenini belirtmektedir. Sistematik bileşen, ölçülebilen değişkenlerin seçime etkisini temsil ederken, rassal bileşen ise ölçülemeyen değişkenlerin katkısını temsil etmektedir.

Bir alternatifte ait fayda fonksiyonu (U) değeri (faydası), bireyin seçim kümesindeki diğer tüm alternatiflerin faydasından daha büyükse, birey tarafından bu alternatifin seçilme olasılığı diğer alternatiflere göre büyüktür. Bir birey, C seçim kümesinden i . alternatif ile j . alternatifi dikkate alsın. Eğer burada i . alternatifte ait fayda j . alternatiftten büyük ise, bireyin i . alternatifi seçme olasılığı j . alternatifi seçme olasılığından büyüktür. Bunun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$U(X_i, S_t) \geq U(X_j, S_t) \Rightarrow P_i > P_j \quad \forall j \in C \quad (1.2)$$

Denklem 1.2'deki U , fayda fonksiyonunu ifade etmektedir. X_i ve X_j , alternatifleri tanımlayan niteliklerin vektörü göstermektedir. S_t ise alternatifler arasındaki tercihi etkileyen t . bireyin özelliklerini gösteren bir vektördür.

Fayda kavramı, bir dizi alternatif içerisinde bireyin bu alternatifleri sıralamasına ve en yüksek faydaya sahip tek alternatifi belirlemesine imkân sağlar (Koppelman ve Bhat, 2006).

1.1.2.2 Lojit modeller

Basit ve sıkça kullanılan ayrık seçim modelleridir. Lojit seçim modellerinin rassal bileşenin varyansı, Gumbel dağılımına uygundur. Literatürde, iki seçimin yapılması durumunda ikili (binary) lojit model ve ikiden fazla seçimin yapılması durumunda çoklu (multinomial) lojit model kullanılmaktadır. Bu modellerin her biri seçim olasılıklarını verir. İkili lojit modele ait seçim olasılıkları denklem 1.3 ile hesaplanır (Özatmaca, 2015).

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{e^{V_i} + e^{V_j}} \quad i, j \in C \quad (1.3)$$

Benzer şekilde çoklu lojit modele ait seçim olasılıkları Denklem 1.4'teki formül yardımıyla hesaplanır.

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j=1}^n e^{V_j}} \quad i, j, \dots, n \in C \quad (1.4)$$

1.1.2.3 Katsayıların tahmini

Lojit modelde kullanılan bağımsız değişkenlere ait katsayıların tahmin edilmesinde, en çok olabilirlik (maximum likelihood) yönteminden yararlanılır. Denklem 1.5'te belirtilen log olabilirlik fonksiyonu yardımıyla, gözlenen seçimlerin olasılığını en büyük yapan katsayı değerleri belirlenir (Öz atmaca, 2015).

$$LL(\beta) = \text{Log}(L(\beta)) = \sum_{\forall s \in S} \sum_{\forall i \in J} \delta_{is} \cdot \ln(P_{is}(\beta)) \quad (1.5)$$

Bu denklemde, i. alternatifin s. birey tarafından seçilmesi durumunda δ_{is} 1 değerini alır, aksi halde 0 değerini alır. P_{is} ise i. alternatifin s. birey tarafından seçilme olasılığını ifade eder (Öz atmaca, 2015).

1.1.2.4 Lojit modellerin performans testleri

Lojit modellerin katsayı tahmininden sonra performanslarının ne derece etkin olduğunu anlamak için başlıca testler yapılır. Bu test sonuçlarına göre, ilgili modelin seçim olasılıklarının hesabında kullanılıp kullanılamayacağı konusunda karar verilir. Buradaki testler arasında, hipotez sınamalarına dayalı istatistiksel testler ve katsayı testleri bulunmaktadır.

- i. *Model parametrelerinin işaret, büyüklük ve istatistiksel anlamlılık bakımından değerlendirilmesi:* Burada değişkenlere ait katsayıların ve bunların işaretlerinin beklenen duruma uygun olup olmadığı incelenir. Beklenen durumu bir örnekle açıklamak gerekir. Bir türe ait yolculuk süresinin artmasının, o türün seçilme olasılığını düşürmesi beklenir. Bu durumda, bu örnekte yolculuk süresine ait katsayının negatif işaretli olması gerekmektedir. Fayda fonksiyonunda bulunan değişkenlerin işareti pozitif veya negatif olabilir. İşaretin yönüne göre ilgili değişkenin faydayı arttırması veya azaltması yorumu yapılabilir. Değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için t-istatistiği kullanılır ve %95 güven aralığında bu testin sağlanıp sağlanmadığı sınanır (Öz atmaca, 2015; Demirer, 2019).
- ii. *Modelin sınanması:* Lojit modellerin istatistiksel sınanmasında Denklem 1.6'da formülü verilen -2LL (-2likelihood) testinden yararlanılır. Bu denklemdeki bileşenler referans modele ait $LL(0)$ ve tahmin edilen modelin

log olabilirlik değerini ifade eden $LL(\beta)$ 'dir. Buradaki referans model, yalnız sabit terimlerden oluşan veya başka hiçbir değişkeni olmayan model olarak ortaya çıkmaktadır. Modelin sınanmasında kullanılan bu test, tahmin edilen modelin referans modele göre istatistiksel olarak anlamlı bir farkı (üstünlüğü) olup olmadığını belirler. Belirlenen anlamlılık düzeyindeki (örneğin; %95) kritik χ^2 değeri ile $-2LL$ değeri karşılaştırılarak modelin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı belirlenir. Eğer $-2LL$ değeri, kritik χ^2 değerinden büyük olursa, öngörülen model referans modelden daha iyi performans gösterdiği anlaşılır ve geçerli bir model kurulduğu sonucuna varılır (Öz atmaca, 2015; Demirer, 2019).

$$\chi^2 = -2LL = -2[LL(0) - LL(\beta)] \quad (1.6)$$

- iii. *Uyum iyiliği testi:* Tahmin edilen modelin veriyi yansıtmadaki başarısını değerlendirmek için uyum iyiliği testinden yararlanılır. Bu amaçla, sanal- R^2 (ρ^2) adı verilen bir büyüklük hesaplanmaktadır. Denklem 1.7'de formülü verilen ρ^2 değeri bire yaklaştıkça seçim modeline ait değişkenlerin, seçimi açıklayabilme yeteneğinin arttığını gösterir (Öz atmaca, 2015).

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(0)}{LL(\beta)} \quad (1.7)$$

1.1.3 Belirtilen seçim araştırması

Bu çalışma kapsamında belirtilen seçim deneyinden yararlanılmıştır. Bu deney kapsamında, varsayımsal belirlenen senaryolar arasından katılımcıların seçimleri hakkında veri toplamak amaçlanmaktadır. Bu araştırmada tasarımın gerçekleştirilebilmesi için seçim senaryolarının oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan senaryolarla, katılımcıların seçimi ortaya çıkarılmaktadır. Bu sebeple, senaryoların uygun sayıda ve nitelikte hazırlanması gereklidir.

Belirtilen seçim anketleri, deneysel senaryolar kullanarak, var olmayan durumlar için seçimlerin tahmin edilmesine yardımcı olan önemli bir araçtır (Petrik ve diğ., 2016). Bir diğer araç ise açıklanan seçim anketleridir (revealed preference). Belirtilen seçim ile açıklanan seçimler arasında belli başlı farklar vardır. Açıklanan seçim anketinde, katılımcıların gerçekte ne yaptığı sorulurken, belirtilen seçim anketinde araştırmacının

belirli bir durumla karşılaştırılması durumunda katılımcının ne yaptığı sorulur (Sanko, 2001).

Yeni bir ürün veya teknoloji tanıtıldığında veya özelliklerinde önemli bir değişiklik olduğunda, araştırmacılar tarafından belirtilen seçim kullanılarak bu değişimlere karşı tüketicilerin davranışlarını değerlendirilir. Anket sonuçları, gelecekteki davranışı tahmin etmeyi amaçlayan bir modele girdi olarak kullanılır (Petrik ve diğ., 2016). Burada kurulan modelden elde edilen çıkarımların geçerliliği ve güvenilirliği konusunda bir endişe bulunmaktadır. Bu endişenin kaynağı, cevaplayıcının deneysel senaryoya verdiği cevaba uygun olarak gerçekte aynı davranışı göstermeme durumunun olabilmesidir (Morikawa and Ben-Akiva, 1992). Belirtilen seçim yönteminde, açıklanan seçim yöntemine göre daha kolay veri toplanır. Açıklanan seçim yönteminde veri toplamak zor ve maliyetlidir. Belirtilen seçimde deneysel veri kullanıldığı için anket tasarımı araştırmacı tarafından kontrol edilebilmektedir. Açıklanan seçimde yeni bir ürün veya hizmet ile ilgili veri toplamak mümkün değildir, ancak belirtilen seçimde bu mümkündür (Sanko, 2001).

Bu çalışma kapsamında belirtilen seçimin kullanılma nedeni, çalışmanın pilot bölgesi olan İstanbul'da farklı nitelikte (maliyet, süre, ağırlık vb.) şehir içi yük taşımacılığının yapılmasıdır. Bir başka deyişle, farklı sektörlerde hizmet veren çeşitli büyüklükte olan firmaların şehir içi gönderi özellikleri değişkenlik göstermektedir. Bu yüzden, her bir sektörün veya firmanın şehir içi sefer bilgileri bilinemeyeceğinden, belirtilen seçim araştırma yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle, ankete katılan katılımcılara, varsayımsal sefer senaryoları verilerek seçimleri sorgulanmıştır.

Belirtilen seçim araştırmasında, hazırlanan ankette kullanılacak senaryoların belirlenmesi için deney tasarımından (design of experiment) yararlanılır. Deney tasarımında senaryoların oluşturulmasında başlıca tasarım yöntemleri tam faktöriyel ve ortogonaldır.

- a) *Tam Faktöriyel (Full-Factorial) tasarım*: Her olası değişken düzeyi kombinasyonunun kullanılmasıyla yapılan tasarımdır. Bu tasarımda kombinasyon sayısı, değişken ve seviyelerinin sayıları dikkate alınarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin; üç değişkenli bir tasarımda, iki değişkene ait üç seviye ve diğer değişkene ait iki seviye olsun. Bu tasarım sonucu ortaya çıkacak senaryo sayısı $3^2 * 2^1 = 18$ 'dir (Sanko, 2001).

- b) *Ortogonal tasarım*: Bu tasarımda, her değişken seviyesinin diğer tüm değişken seviyelerinden bağımsız olarak değerlendirilir. Her bir değişken seviyesinin yanıtlar üzerindeki etkisinin daha kolay izole edilmesini sağlar. Böylelikle, değişkenler arasındaki çoklu eşdoğrusallığı (multicollinearity) ortadan kaldırır (Sanko, 2001).

Ortogonal tasarım değişkenler arasında çoklu eşdoğrusallığı olması durumunda kullanılır. Değişkenler arasında çoklu eşdoğrusallık olmadığı ve değişken seviyelerinin az durumlarda tam faktöriyel tasarım kullanılmaktadır. Ayrıca, belirtilen seçim deneyi kapsamında kullanılan değişken ve seviyeleri, anket tasarımına konu olacak seçim çiftlerinin sayısı belirlediğinden kullanılacak tasarımlar değişkenlik gösterebilir. Cevaplayıcının verimli ve etkin bir şekilde cevaplayacağı anketteki seçim çiftleri optimum sayıda olmalıdır.

1.2 Problem Tanımı

Literatür çalışması dikkate alındığında yük taşımacılığında EYA'ların kullanımının, filo büyüklüğü (Örn: Davis ve Figliozi, 2013), EYA'ların toplam edinme maliyeti (Örn: Quak ve diğ., 2016b), karar vericilerin tutumları (Örn: Kaplan ve diğ., 2016) ve firmaların çevresel farkındalığı gibi faktörlere bağlı olduğu görülmektedir. Taranan literatür, yük taşımacılığında EA'ların kullanımını araştıran çalışmaların sınırlı olduğunu göstermektedir. Figanbaum (2018), Morganti ve Browne (2018) ve Davis ve Figliozi (2013) İYMA'lar ile EYA'lar arasında maliyet rekabetine odaklanmışlardır. Wikström ve diğ. (2016) EYA kullanımına ilişkin teknik problemleri ortaya çıkarmışlardır. Kaplan ve diğ. (2016) ve Globisch ve diğ. (2018a) organizasyonel problemler üzerinde analiz yapmışlardır. Lebeau ve diğ. (2015) şehir içi lojistiğinde firmaların elektrikli araç tercihlerine yönelik bir konjoint-seçim modeli çalışmışlardır. Çalışmanın yaklaşımı teknik özellikler ve maliyet değerleri baz alınarak yük araçlarının satın alma kararını kapsamaktadır. Halbuki, şehir içi yük taşımacılığı operasyonları ile ilgili olan faktörlerin değişimi, EYA'ların seçimini etkileyen faktörleri anlamada önemli rol oynamaktadır. EYA kullanımına ait geçmiş literatür bu etkileri açıklama konusunda yetersizdir.

Literatürde şehir içi yük taşımacılığındaki operasyonları etkileyen faktörleri dikkate alarak EYA'ların ne kadar yaygınlaşabileceğinin hesaplanması konusunda bir boşluk vardır. Bu tez, bu boşluğu kapatmak için şehir içi yük taşımacılığında

EYA'ların kullanımı yönündeki seçim faktörlerini lojit model yardımıyla analiz etmektedir. Bu tez kapsamında aşağıda belirtilen iki araştırma sorusunun cevabı aranmaktadır.

- i. Şehir içi yük taşımacılığında EYA'ların kullanım potansiyeli nedir?
- ii. EYA'ların kent içi yük taşımacılığında kullanılması sera gazı emisyonunu ne kadar azaltır?

Bu tez, gerçek gönderim veriler yardımıyla potansiyel EYA oranını konjoint analizi ile tahmin etmektedir. Burada konjoint analizi şehir içi yük taşımacılığında EYA'ların kullanımına yönelik faktörler arasındaki değişimi ortaya çıkarmaktadır.

Konjoint analizi, yük ve yolcu taşımacılığı ile ilgili çalışmalarda büyük ölçüde kullanılan ve tartışılan, belirtilen seçime dayalı bir tekniktir (Green ve diğ., 2001). Bu tezde şehir içi yük taşımacılığı yapan şirketlerin seçimlerini analiz etmek için *belirtilen seçim* anketi yapılmıştır. Anketin sonuçlarına dayanarak, yolculuk mesafeleri ve yük ile tanımlanan farklı durumlar için altı seçenekli bir model geliştirilmiştir. Ardından, İstanbul'da bulunan bir perakende şirketinin teslimat operasyonları için EYA'ların benimsenme olasılığını tahmin etmek için seçim modelleri kurulmuştur. Ayrıca, EYA kullanım oran tahminleriyle, ilgili filoya ait emisyon miktarının potansiyel azalma miktarını da tahmin edilmiştir.

Bu çalışma, sefer süresi, maliyeti ve araç türünün çevresel etkisini dikkate alan değişkenlerini çeşitli yük ve sefer mesafesi kategorileri için EYA'ların nakliye filolarına dahil edilmesini nasıl etkilediğini incelediği için geçmiş literatürden farklıdır. Ayrıca, pilot bölgede yapılan örnek çalışma ile EYA'ların şehir içi yük taşımacılığında yaygınlaşma potansiyeli çıkarılmıştır. Türkiye'den seçilen pilot bölge ile ülkemizde EYA'ların yük taşımacılığında kullanımının belirlenmesi ve seçim modelinin geliştirilmesi anlamında öncü ve yenilikçi bir çalışmadır. Türkiye için incelenen durum, EYA'ların kullanımında başlangıç düzeyinde olan ülkelerdeki yük taşımacılığı yapan firmalarda elektrikli araçların entegrasyonu için örnek bir yol haritası teşkil etmektedir. Bu tez kapsamında araştırılacak konular ve oluşturulacak modeller ile EYA literatüründeki tespit edilen açığın kapatılması hedeflenmektedir.

1.3 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez kapsamında, EA ve EYA'ların mevcut durumu incelenmesi ve lojistik firmalarına EA'ların katılım süreci araştırılması yer almaktadır. Bu tezin amaçları aşağıda listelenmiştir:

- a) Yük taşımacılığında EYA'ların yaygınlaşması ve benimsenmesinin önündeki engellerin, kolaylaştırıcıların ve iç görülerin keşfedilmesi,
- b) Lojistik firmalarının filolarında EA'ları bulundurma için kullanabilecekleri seçim modellerinin oluşturulması,
- c) EYA'ların şehir içi yük taşımacılığında potansiyel kullanımının belirlenmesi,
- d) EYA'ların potansiyel kullanımları belirlendikten sonra şehir içindeki sera gazı emisyon değişiminin ne olacağının belirlenmesi.

Bu çalışmanın pilot bölgesi olarak İstanbul seçilmiştir. İstanbul'da yük taşımacılığı yapan öncü lojistik firmaları (Borusan Lojistik, Hepsiepress, Ekol Lojistik, Arkas Lojistik, Fillo Grup, Ceva Lojistik, Horoz Lojistik vb.), perakende firmaları (LC Waikiki, Boyner Grup, Metro vb.), yerel otoriteler (İSTAÇ, İBB vb.), EYA tedarikçileri (yerli batarya üretimi yapan firmalar, şarj istasyonu kurulum firmaları) ve bu konuda çalışan ve geliştirme yapan bilim insanları (İTÜ ve Okan Üniversitesi akademisyenleri) bu çalışma kapsamında bilgi toplanan gruplardır.

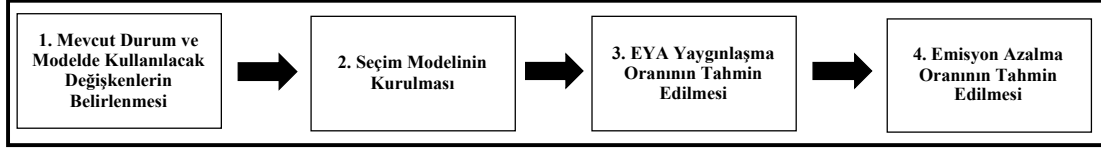
1.4 Yöntem

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi belli başlı aşamalardan oluşmakta ve içerisinde kullanılan yöntemler farklılık göstermektedir. Bu çalışmaya ait dört aşama Şekil 1.5'te gösterilmektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında modelde kullanılacak değişkenler belirlenmiştir. İkinci aşamada seçim modeli oluşturulmuş, bir sonraki aşamada ise seçim modeli temel alınarak EYA'ların yaygınlaşma oranı ortaya çıkarılmıştır. Son aşamada ise elde edilen yaygınlaşma oranlarına göre, emisyon miktarlarının mevcut durumdan ne kadar farklılaşacağı hesaplanmıştır.

Birinci aşamada, pilot bölge için mevcut durum analizi yapılarak, EA'lara ait ekosistemin mevcut durumu ve EYA'ların kullanımını etkileyen unsurlar, yazın analizi ve paydaşlarla birlikte gerçekleştirilen bir çalıştayla yük taşımacılığında ortaya

ıkarılmıştır. İlk aşama, ikincil veri ve literatür taramasından elde edilen bilgiler kullanarak yapılan seçim modeline girdi sağlayacak değişken seçimi ile tamamlanmıştır.



şekil 1.5 : Yöntem adımları.

İkinci aşamada, seçim modeline girdi sağlayacak verilerin elde edilmesi için veri toplama yöntemi olarak seçilen belirtilen seçim deneyinden yararlanılmıştır. İlk olarak seçim modelinde kullanılacak değişkenlere ait seviyeler ve bu seviyelere bağlı olarak ankete girdi olacak seçim çiftleri belirlenmiştir. Ardından, filoların mevcut filo yapısını ve gönderilerini ortaya çıkaracak soruların bulunduğu ve katılımcıya seçim çiftlerine ait senaryoların sunulduğu bir anket tasarımı yapılmıştır. Anket verilerinden hareketle, lojit modellerden yararlanılarak seçim modelleri oluşturulmuştur.

nc aşamada ise oluşturulan tür seçim modeli ve diğer elde edilen veri kaynakları ile EYA'ların şehir içi yük taşımacılığında yayılma oranının elde edilmesine yönelik filo yöneticilerinin yaklaşımı ortaya konmuştur. Son aşamada ise elde edilen yaygınlaşma oranları ve emisyonla ilişkili veri kaynakları yardımıyla EYA'lara geçişle ne kadarlık bir emisyon azalması olacağı tahmin edilmiştir.

2. MEVCUT DURUM VE MODELDE KULLANILACAK DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ

Geçmiş literatür incelendiğinde, EYA'ların yaygın kullanımını etkileyen etkenler olarak; şarj etme imkânının varlığı ve süresi, rota uzunlukları, araç çeşitliliği (Altenburg ve diğ., 2017) ve batarya teknolojilerinin gelişimi (Erhler ve diğ., 2019) ortaya çıkmıştır. Bunlara ek olarak, EYA'ların filoya katılma sürecinde, kurumun kamu imajını güçlendirmesi (Globisch ve diğ., 2018a), örgütsel fayda/yenilik, çalışanların ve karar vericilerin çevresel duyarlılığa sahip olmasının (Kaplan ve diğ., 2016) da karar sürecinde etkili olduğu keşfedilmiştir. Öte yandan, malın fiziksel özellikleri, ticari mal tipi, gönderim boyutu ve malın değeri yük taşımacılığında tür seçimini etkilemektedir.

Tür seçim modeli olarak en çok kullanılan yöntemler lojit ve çoklu lojit modellerdir (Beagen ve diğ., 2007; Jong, 2014). Tür seçiminde genellikle kullanılan açıklayıcı değişkenler, türlerin ulaştırma maliyetleri, ulaşım zamanı, yükün aktarılma sayısı, güvenilirlik, esneklik (isteklere anında cevap verebilme), ulaştırmanın emisyon miktarı ve ulaşım sıklığıdır. Bu çalışma kapsamında, ulaştırma maliyeti, ulaştırma süresi ve ulaştırmanın emisyon miktarı değişkenleri EYA'lar ile İYMA'lar arasında farklılığa neden olduğu için kullanılmıştır.

Bölüm 2.1'de verilen Türkiye'deki mevcut durum analizinin ardından, bu çalışma kapsamında geliştirilen seçim modelinde kullanılan değişkenler bölüm 2.2'te açıklanmıştır.

2.1 Mevcut Durum Analizi

Bu bölümünde, geliştirilen modele bir altyapı oluşturmak için, Türkiye'deki yük taşımacılığı, sera gazı emisyon durumu, EA'lar için yapılan politik düzenlemeler, EA'ların şarj istasyon altyapısı ve ülkemizdeki EA faaliyetleri ve sayıları kısaca incelenmektedir.

2.1.1 Türkiye’deki yük taşımacılığı

Türkiye’deki yolcu ve yük taşımacılığı; karayolu, havayolu, demiryolu, denizyolu ile yapılmaktadır. Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığında ulaşım türlerinin payları yolcu-km ve ton-km dikkate alınarak hesaplanmıştır (UAB, 2020) ve Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Türkiye’de ulaşım türleri arasında taşınan yolcu ve yük payları (%) (UAB, 2020).

Ulaşım Türü	Yolcu Taşımacılığı (%)	Yük Taşımacılığı (%)
Karayolu	89,8	89,2
Demiryolu	1,3	4,9
Denizyolu	0,6	5,9
Havayolu	8,3	-

Çizelge 2.1’den görüldüğü üzere, karayolu, tüm ulaşım türleri arasındaki hem yolcu (%89,8) hem de yük (%89,2) taşımacılığında en yüksek paya sahiptir. Bunun en önemli nedeni karayolu taşımacılığının diğer ulaşım türlerine göre esnek ulaşım fırsatı sunmasıdır. Bir diğer deyişle, karayolunun bir noktadan diğer bir noktaya aktarmasız taşıma seçeneği sunması ve belli mesafelere kadar hızlı ulaştırma yapabilmesi rekabet avantajını artırmaktadır. Buna ek olarak, diğer ulaşım türlerinin tamamlayıcısı olması bakımından da karayolu, özellikle yük taşımacılığında önemli bir yer teşkil etmektedir (Taşkın, 2016).

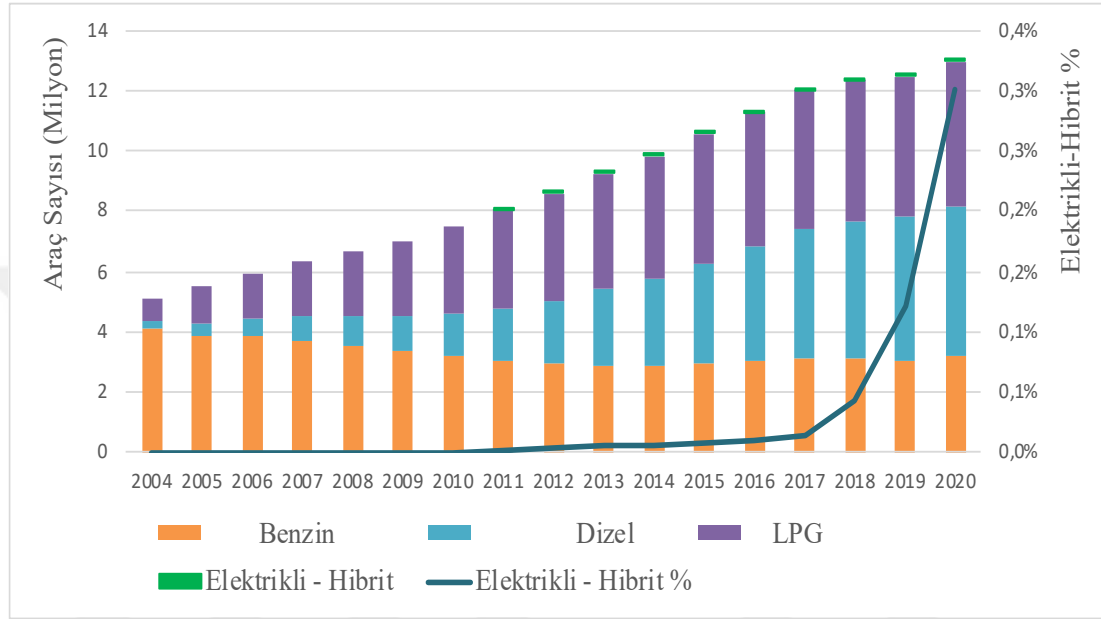
Türkiye’deki karayollarında bulunan 23 milyon aracın yaklaşık iki milyonu ticari araçlardır. Ticariler içerisinde de hafif ticariler oldukça yaygın olarak tercih edilmektedir. Çizelge 2.2’de ticari amaçla kullanılan araç tiplerine göre değişim oranları gösterilmektedir. Bu oranlara bakıldığında 2018-2019 yılları arasında otomobillerin yaklaşık %1, hafif ticarilerin %0,03 ve orta ve ağır ticari araçların %0,04 küçüldüğü görülmektedir (TÜİK, 2020).

Çizelge 2.2 : Ticari amaçla kullanılan araç sayıları ve değişim oranları (TÜİK, 2020).

Araç Türü	2018	2019	Değişim Oranı
Otomobil	111.150	110.105	%-0,94
Minibüs ve Otobüs	437.000	438.230	% 0,28
Hafif Ticari Araçlar	463.820	463.676	%-0,03
Orta ve Ağır Ticari Araçlar	672.910	672.625	%-0,04

Türkiye’de dizel araçlar, toplam araçların %50’sini oluşturmaktadır ve Türkiye pazarında büyük bir baskınlığa sahiptir (TÜİK, 2020). Dizeller içerisinde ticari

araçların oranı ise %75 olup, 2021’de bu oranin %83,5’lere çıkması beklenmektedir (CVO, 2016). Buna ek olarak yollarda olan araçların %21 ise LPG’lidir ve bu araçların sayısında hızlı büyüme söz konusudur. Şekil 2.1’de bu durumu destekleyecek Türkiye’de yakıt türlerine göre araç sayıları gösterilmiştir. Bu şekilden, elektrikli/hibrit araçların toplam oranı %0,3 civarında olup bu oranin son yıllarda üssel bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 2.1 : Yakıt türlerine göre araç stok payı (İmre ve diğ., 2021).

2.1.2 Türkiye’de sera gazı emisyonu alanında gelişmeler

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında, 2012 yılı temel alınarak 2030’a kadar CO₂ emisyonu %21 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda alternatif yakıt ve temiz araç kullanımının artırılması hedeflenmiştir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2017).

AB komisyonu tarafından yayınlanan düşük emisyon stratejisi kapsamında, 2025 ve 2030’de, 2021’e göre %30 daha düşük emisyon olması gerektiği ifade edilmiştir. Bunu başarmak için düşük emisyonlu otomobil ve kamyonetlerin üretilmesi hedeflenmektedir. Sonuç olarak, büyük otomobil üreticileri sıfır emisyonlu araçlar için çok yüksek oranlarda yatırım yapmaya başlamışlardır (VW, BMW, Volvo vd.) (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2017).

AB’nin yayınlamış olduğu bu strateji Türkiye’yi doğrudan etkilemektedir. 2017 yılı verilerine göre, Türkiye otomobil üretiminde AB’de beşinci dünyada ise on beşinci sırada ve ticari araç üretiminde ise Avrupa’da birinci sırada olup, toplamda on iki

otomobil fabrikasına sahiptir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2017). Ayrıca, EYA'ların önemli bileşenlerinden biri olan batarya teknolojilerinde ilerleme kaydedilmesi, otomotiv imalatı yarışında rekabet avantajının korunması için gereklidir.

Petrol türevi yakıtların doğaya vermiş olduğu zararlar nedeniyle karayolundaki yapılacak iyileşmeler doğaya önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Türkiye'deki karbondioksit emisyonuna neden olan sektörler ve etki dağılımları Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Türkiye'de CO₂ emisyonlarının sektörler göre dağılımı (%)
(Ustabaş, 2014).

Sektörler	1990	1995	2000	2005	2010	2011
Çevre ve Enerji	24,03	27,18	34,03	34,09	34,42	35,32
Sanayi	26,51	24,12	26,54	25,95	17,41	16,61
Ulaştırma	18,33	18,86	15,50	15,60	13,61	13,83
Diğer Sektörler	20,63	19,08	15,70	15,35	19,48	19,72
Endüstriyel İşlemler	10,36	10,66	8,15	8,95	15,02	14,46

Çizelge 2.3'ten görüldüğü üzere, enerji, sanayi, endüstriyel işlemler ve ulaştırma sektörlerin ülkemizdeki CO₂ emisyonundaki payı yüksektir. Bu bilgiyle, EA'ların yaygınlaşmasının ulaşımdan kaynaklı emisyon miktarının azalmasına ve dolayısıyla EA'ların ülkemizin gelecekte daha temiz bir çevreye ulaşmasına yardımcı olacağı ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde EA'ların ve/veya batarya gibi ana elemanların üretilmesinin, ülkemizin petrolde olan dışa bağımlılığının azalmasına katkı sağlaması beklenmektedir. Bunun gerçekleşmesi için Türkiye'nin kendi yenilebilir enerji kaynaklarını kullanması rekabet üstünlüğü ele geçirmesi anlamında avantaj olarak görülmektedir. Tüm bunlara ek olarak, EA'lar için yedek parça üretimi çevre açısından da Türkiye'ye katkı sağlayacak alanlardan görülmektedir (Ustabaş, 2014).

2.1.3 Türkiye'de şarj istasyonu altyapısı

EA'ların altyapı elemanlarından birisi şarj istasyonlarıdır ve bunların yaygınlığı ve konumları EA'ların yaygınlaştırılması için önemlidir. Türkiye'de EA'ların altyapılardan şarj etme olanaklarına bakıldığında, sınırlı sayıda hizmet veren tesis bulunduğu görülmektedir. Ülkemizde 2012'nin ortalarında şarj istasyonu sayısı 45 olup, bulundukları yerler olarak; otomobil yetkili satıcıları, park alanları, dinlenme

tesisleri, araç filo park etme noktaları, havalimanları, benzin istasyonları, bazı AVM'ler ve oteller ortaya çıkmaktadır (Ustabaş, 2014; Polat, 2015).

2020 sonu itibariyle Türkiye'de şarj istasyonu kurulumunu Eşarj, ZES, Gersan, Voltron ve Sharz firmaları tarafından yapılmaktadır. Tüm illerde en az bir tane olmak üzere 2000'i aşkın şarj ünitesi kurulmuştur (TEHAD, 2020). Şekil 2.2'de Türkiye'deki güncel şarj istasyonu noktaları gösterilmiştir. Şarj istasyonların yoğun olarak kurulduğu bölgelerin büyükşehir olan iller olduğu görülmektedir. İstanbul en çok şarj istasyonunun olduğu bölge olarak lider konumdadır. Ardından, başta Ankara ve İzmir olmak üzere diğer büyükşehirler gelmektedir.



Şekil 2.2 : Türkiye'deki şarj istasyon noktaları (TEHAD, 2020).

Çizelge 2.4'te görüldüğü gibi, yavaş, normal ve hızlı olmak üzere üç farklı tipte şarj yöntemi bulunmaktadır. Bu şarj etme yöntemlerinin şarj süreleri ise sırasıyla 6-8 saat, 3-4 saat ve 30 dk-1 saattir. Türkiye'de satılan araçların ortalama batarya kapasiteleri yaklaşık olarak 40 kW'tır. Türkiye'de kurulan şarj istasyonlarında, EA'ların şarj etmede alternatif şarj (alternative charge-AC) ve DC yöntemleri kullanılır. Bu yöntemlerden AC şarj gücü olarak, 3,7, 11 ve 22 kW olarak çeşitlilik gösterirken DC'de bu değerler 12 ve 45 kW olarak görülmektedir (Sezen ve İşler, 2017).

Çizelge 2.4 : Şarj tiplerine göre şarj süreleri (Sezen ve İşler, 2017).

Sektörler	Yavaş Şarj	Normal Şarj	Hızlı Şarj
Özellikler	220-240 V 16 A	380 V 16 A	380 V 32 A
Şarj Süresi	6-8 Saat	3-4 Saat	30 dk-1 Saat
Şarj Yerleri	Ev veya İş yerinde	Otopark	Şehir dışı yollar, Ana Arter Bağlantı Noktaları, Acil Şarj İhtiyaç Noktaları

Diğer yandan, literatür taraması ve birincil kaynaklardan elde edilen bilgiler sonucunda Türkiye’de yük taşımacılık filosuna sahip firmaların genellikle depolarına ait şarj istasyonlarının veya kurmak için girişimlerin bulunmadığı ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, bu durum EYA’ların yaygınlaşmasını ve işletmelere uygulanabilirliğini olumsuz olarak etkilemektedir.

2.1.4 Türkiye’de elektrikli araç düzenlemeleri

Dünya genelinde EA kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla farklı türlerde teşvik ve destekler verilmektedir. Özellikle dünyanın yeni teknolojileri benimseme alanında önde gelen ülkelerinde (AB ülkeleri, ABD vb.) EA’lara satın alma teşviği yanı sıra EA üretimindeki çeşitliliğin artması ve batarya gibi önemli bileşenlerinin üretilmesi için AR-GE destekleri bulunmaktadır. Türkiye’de de EA’lara verilen teşvik ve destekler mevcuttur. Bu ayrıcalıklardan biri, EA’lara verilen özel tüketim vergisindeki (ÖTV) indirimlerdir. 2020 yılı itibarıyla uygulanan Katma Değer Vergisi (KDV) ve ÖTV oranları Çizelge 2.5’te gösterilmektedir.

Çizelge 2.5 : Elektrikli ve İYMA vergi oranları (Sezen ve İşler, 2017).

Araç Türü	Motor Gücü/Hacmi	KDV	ÖTV
Elektrikli Araç	85 kW ve altı	%18	%3
	86-120 kW	%18	%7
	121 kW ve üstü	%18	%15
İYMA	1600 cc ve altı	%18	%45
	1601-2000 cc	%18	%90
	2001 cc ve üstü	%18	%145

Bununla birlikte, EYA’ların Motorlu Taşıtlar Vergisi (MTV), İYMA’ların MTV’sinin %25’i kadar (URL-1) yapılmıştır. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), üniversitelerce bu alanda yapılan çalışmaları AR-GE kapsamında desteklemektedir (TÜBİTAK, 2019).

2.1.5 Türkiye’de elektrikli araç faaliyetleri

Türkiye’de EA’larla ilgili ilk çalışma, TÜBİTAK tarafından yapılmıştır. İlk zamanlarda TÜBİTAK, çeşitli üniversite ve farklı otomobil üreticilerine lityum iyot pillerin geliştirilmesi için destek vermiştir (Şenlik, 2012). TÜBİTAK, önümüzdeki 50 yıllık süreçte araç sayısının artacağını ifade ederek, EA’ların ülkemizde yaygınlaşması ve Türkiye’nin EA teknolojisinde dünyada etkili rol oynaması için destekler vermeye devam etmektedir. EA’ların enerji yönetim sistemleri, motor ve bataryalarının

geliştirilmesi, EA'ların taşıt dinamiğine ve kontrolüne yeni yaklaşımların ortaya çıkarılması ve EA'ların motor performanslarının, emisyon çıktıları dikkate alınarak arttırılması gibi alanlar, TÜBİTAK tarafından ilan edilen öncelikli alanlar listesinde yer almaktadır (TÜBİTAK, 2019).

Ülkemizde ilk EA üretimi ve satışı 2011'de yapılmıştır. Tamamen elektrikli olan araçların sayısı yaklaşık 1773 adettir (TEHAD, 2021). Ülkemizde EA sayılarının bu kadar az olmasının sebepleri arasında, satın alma sonrası maliyet kalemlerinin bulunması sayılabilir. CVO (2016) araştırmasının sonuçlarına göre; ticari filo sahiplerinin sadece %5'inde elektrik veya hibrit araç bulunmaktadır. Bu konuda resmi bir istatistik olmamasına rağmen, yapılan bir saha araştırmasında Türkiye genelinde toplamda 79 EYA olduğu gözlemlenmiştir (Borusan Lojistik, 2018). Türkiye'de filolarında EA veya hibrit araç bulunduran kurum ve EA sayıları Çizelge 2.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 2.6 : Türkiye'de EA kullanan firmaların listesi ve bünyesindeki EA sayısı.

Firmalar	2018
Aras	39
TNT Express	13
Sürat Kargo	11
Migros	7
Ülker	2
DHL	2
PTT	2
Borusan Lojistik	1
Sofra Grup	1
KÜHNE NAGEL	1
Toplam	79

2.1.6 Elektrikli yük araçlar çalıştay ve sonuçları

Bir önceki bölümde belirtildiği üzere, yük taşımacılığında EYA kullanımının çok sınırlı olması bu alanda bilgi eksikliğine neden olmaktadır. İlgili firmalardaki yetkin olmayan kişiler olmaması, veri sahibinin yeterli zamanının bulunmaması ve veri paylaşma isteksizliği sonucu veri toplama güçlükleri ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, Electric Urban Freight and Logistics (EUFAL) isimli AB projesi (URL-2) kapsamında İTÜ ve Borusan ortaklığında 2018 yılında EYA'ların filoların katılım kararını etkileyen aktörler ile bir arama toplantısı (çalıştay) gerçekleştirilmiştir. Bu toplantıda; batarya üreticileri, araç üreticileri, lojistik firmaları, ilgili akademisyenler

ve sivil toplum kuruluşlarından temsilciler bulunmuştur. Arama toplantısı sonrasında elektrikli araçlar için kolaylaştırıcı etmenler ve engeller ortaya çıkarılmıştır.

Gerçekleştirilen arama toplantısı sonucunda çıkarılan kolaylaştırıcı ve engellere ait tüm etkenler altyapı, ekonomik, politik, teknolojik, operasyonlar ve teknik etkenler, kullanıcı beklentileri, iş birlikleri ve çevre başlıkları altında gruplandırılmıştır. Aşağıda engel ve kolaylaştırıcılara ait olan etkenler listelenmiştir.

Çalıştayda belirtilen EYA sisteminin altyapısına ait engeller aşağıda sıralanmaktadır.

- Şarj ve elektrik altyapısına yönelik engeller
 - Şarj istasyon sayısının yetersizliği
 - Mevcut elektrik altyapısı ile hizmet sağlama zorluğu
 - Elektrik şebekelerine yapılacak altyapı yatırımının yetersiz olması
 - Enerji altyapı sistemlerinin uyumsuz olması ve standardizasyon sağlanamaması
- Araç ve servis altyapısına yönelik engeller
 - Yeterli ve ucuz EYA olmaması
 - Bazı araçların tasarımından kaynaklı taşıma kapasitesinin düşük olması
 - Yan sanayiinin yeterince gelişmiş olmaması
 - Elektrikli araç bakım merkezlerinin yaygın olmaması
- Diğer altyapı engelleri
 - Trafığın sıkışık olmaya devam etmesi ve trafikte zaman harcanması
 - Yük dağıtımı, toplama ağının kurulmamış olması

Toplantı kapsamından katılımcıların ifade ettikleri ekonomik engeller aşağıda sıralanmaktadır.

- Batarya maliyetinin yüksek olması
- EYA satın alma maliyetinin ülkemizdeki dolar kurundan dolayı yüksek olması
- Ticari araçlarda toplam edinme maliyetini geri ödeme yılının yüksek olması

Politik engeller de arama toplantısında tartışılan bir diğer etken olarak karşıya çıkmaktadır. Bu gruba ait engeller aşağıdaki gibidir.

- Ekonomik dalgalanmanın belirsizlik yaratması
- Teşvik ve desteklerin yeterli olmaması
- EA'lara geçişle ilgili ulusal eylem planı ve stratejilerin yetersiz olması
- Yerel yönetimlerin istenen desteği sağlamaması

- Pil teknolojilerinde dışarıya bağımlı olunması

Kullanıcı beklentilerinin karşılanmamasına yönelik engellerden aşağıdaki gibi bahsedilmektedir.

- Batarya geri dönüşümü konusunda kullanıcı ve üreticilerin aklında hala soru işaretleri olması
- Kullanıcıların, bilgi eksikliğinden kaynaklanan gerekçelerle değişime direnç göstermesi
- Elektrik motoru ve batarya sistemlerinin entegrasyonundan dolayı kullanıcıların güvenlik (arıza) endişesi

Katılımcılar, bataryaların kullanım ömründen dolayı bir süre sonra batarya çöplerinin ortaya çıkması ile çevrenin kirleneceğini ifade etmişlerdir. Buradan hareketle, çevresel duyarlılığa sahip firmalar EYA'ları bünyelerine katma aşamasında bu durumu bir engel olarak nitelendirmişlerdir. EYA'lara ait teknoloji açısından değerlendiren katılımcıların söz ettiği engeller aşağıda sıralanmaktadır.

- Batarya teknolojilerinin yetersizliği
- Menzilin henüz istenen seviyede olmaması
- Şarj süresinin uzun olması
- Bataryaların kullanım ömründen dolayı bir süre sonra batarya çöplerinin ortaya çıkması

EYA'ların benimsenmesi ve yayılımı konusunda aktörler arası iş birliklerin önemli bir yeri olduğu belirtilmektedir. İşbirliklerinden kaynaklı engeller şu şekildedir:

- Üreticinin yalnız bırakılması, devlet-üretici-operatör iş birliğinin sağlanamaması
- Kamu-özel sektör-üniversite iş birliğinin yetersiz olması

Ülkemizde teknik anlamda bakım/tamir işlerinin gelişmemiş durumda olması, EYA'ların tedarik zinciri yapısında eksikliklerin olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, Türkiye'nin coğrafyasının engebeli yapısı EYA'ların verimli bir şekilde kullanılmasına ve bundan dolayı yaygınlaşmasına bir engel olarak görülmektedir. EYA'ların aktif şarj kullanımlarının coğrafi yapıdan kaynaklı (yokuş, tepe vb.) arttığını ifade eden katılımcılar, bu etkeni EYA'ların tercih edilmesini zorlaştırdığını belirtmişlerdir.

Diğer yandan, EYA'ların benimsenmesi ve yayılımı için belirtilen birtakım kolaylaştırıcılar bulunmaktadır. Katılımcılar, aşağıda listelenen ekonomik faktörlerin EYA'ların yaygınlaşmasını kolaylaştırdığını belirtmişleridir.

- Düşük işletme maliyeti sağlaması
- Lojistik operasyon maliyetlerinde düşük enerji maliyeti sağlaması
- Teknoloji geliştirme evresinde her geçen gün maliyetlerin azalmaya devam etmesi
- İçten yanmalı otomobile göre aynı yolda EA ile 3-4 kat daha ucuza gidilmesi
- Ticari araç büyüklüğü ve taşınan yükün tipi ne olursa olsun ekonomik ve doğa dostu bir çözüm olması

Çalıştayda belirtilen bir diğer kolaylaştırıcı etken grubu politik olandır. Bu etken grubu içerisinde ÖTV teşviği yapılması ve ülkede petrol bağımlılığının önüne geçilmesi yer almaktadır. Çevre kirliliğine ve sürdürülebilirliğe yönelik duyarlılığın artması ile kullanıcı beklentilerinin karşılanmasının ve bu bağlamda, EYA'ların tercih edilmesinin gerçekleşebileceği ifade etmişlerdir. Katılımcılar çevre açısından EYA'ların benimsenmesi gerektiğini vurgulayarak aşağıda sıralanan etkenleri ifade etmişlerdir.

- Çevreci olması
- Gürültü kirliliğini önlemesi
- Petrol bağımlılığının önüne geçmesi
- Karbon emisyonunun azaltması

EYA'ların yaygınlaşmasına teknoloji iki yönlü etki etmektedir. Yukarıda ifade edildiği gibi teknoloji EYA'lar için bir engel olabilmenin yanında, aynı zamanda bir kolaylaştırıcı olarak da görülmektedir. Teknoloji kolaylaştırıcı etkenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Şarj üniteleri, pil merkezleri, yeni eğitim dalları gibi yeni iş kolları yaratması
- Otonom ve bağlantılı yeni mühendislik yaklaşımlarını desteklemesi
- EA'ların akıllı sistemler ve otonom sürüş gibi teknolojiler ile uyumlu olmasından dolayı şehir içindeki trafik yoğunluğunu ve insan hatasını azaltması

Katılımcılar, EYA sisteminde bulunan aktörler arasında yapılan iş birliklerin EYA'ların yayılmasını etkilediğini, Türkiye'nin AB ile entegrasyon kabiliyetinin var

olması ve bilişim sektörüyle iş birliğine açık olması EYA'ların kullanılabilirliğini olumlu yönde desteklediğini ifade etmişlerdir. Çalıştay kapsamında operasyonel etkenler de tartışılmıştır.

- 10 yıllık bakım maliyetleri karşılaştırmasında EA'lara büyük avantaj sağlaması
- Bakım kolaylığı sağlaması
- Batarya sistemlerinin gelen ağırlık miktarının azaltılarak taşınabilir yük miktarının artırılması
- Lojistik firmalarının modernize olması
- Şoförlerin daha az yorulması

Aynı şekilde, EYA'ların yaygınlaşmasını teknik açıdan kolaylaştıracak etkenler arasında teknik bilgi birikimi (know-how) oluşumu ve motor ağırlığından kurtulan araçların daha verimli hale gelmesi yer almaktadır. Son olarak, diğer etkenler olarak EYA'ların enerji verimliliği sağlaması, ülkemizdeki dijital devrime uygun genç nüfus olması ve global markaların konuya ağırlık vermesi bulunmaktadır. Arama toplantısında EYA sistemi için ortaya çıkarılan kolaylaştırıcı ve engellerden hareketle bazı öneriler getirilmiştir. Öneriler ve çıkarılan önemli unsurlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- Belirli semtlere fosil yakıtlı araçların girişinin engellenmesi
- Avrupa'da devreye girecek olan karbondioksit düzenlenmesinin ülkemize uyarlanması
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde ettiğimiz elektrik kullanılırsa temiz enerjinin kullanılacak olması
- İndirimli otopark avantajı sağlanması
- Devlet desteği sağlanması ile yüklerin konsolide taşıma imkânı
- Evde şarj imkânı sunulması
- Kargo sektörünün daha küçük araçlara ihtiyacı olması
- Yeni teknolojiden pay alarak yeni bir marka yaratılması

Arama toplantısında katılımcıların ortak olarak vardıkları kanı, üreticileri de işin içine katarak paydaşlar bir araya getirilmeli, yurtdışında paylaşılan deneyimler tüm paydaşlarla paylaşılmalı, Türkiye'nin lojistik karnesi açıklanmalı, kullanıcıların deneyimleri paylaşılmalı ve ortak bilgi havuzu kurulmalıdır. Ayrıca, geleceğe dair

nerede hangi kapasitede şarj istasyonu kurulması gerektiği belirtilmeli, sevkiyat bazı rota optimizasyonu yapmalı gibi öneriler de ortaya çıkmıştır.

2.2 Değişken Seçimi

Bu aşamada, ilk olarak, literatür çalışmasından elde edilen bulgulardan yararlanılarak, EYA'ların kullanımına katkıda bulunabilecek ve EYA'ları İYMA'lardan ayırmaya yardımcı olabilecek değişkenler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- a. *Sefer Başına Maliyet*: Literatürde mevcut EYA ve İYMA kıyaslama yapan çalışmalar (örn; Figenbaum, 2018), EYA'lar ile İYMA'lar arasında maliyet farkını ortaya koymuştur. Bu sebeple, dinme maliyetleri ve operasyonel maliyetler EYA'lar ve İYMA'lar arasında farklılık gösterdiği için, "sefer başına maliyet" değişkeni analize eklenmiştir.
- b. *Çevre Etkisi*: EYA'ların İYMA'lara göre daha çevreci (örn; Falcão ve diğ., 2017) olduğu literatürde vurgulanmaktadır. Bu etkiden dolayı bu çalışmada "çevre etkisi" değişkeni kullanılmıştır.
- c. *Sefer Süresi*: EYA'yı şarj etme süresi şarj etme yöntemine göre 30 dakika ile 12 saat arasında değişkenlik göstermektedir (World Economic Forum, 2021). Bir İYMA'nın yakıt deposunu doldurması ise çok daha kısa bir zaman almaktadır. Ayrıca, EYA'ların sürüş menzili, pil kapasiteleri tarafından sınırlanmaktadır. Buna göre, EYA'ların teslimat rotalarını tamamlayabilecekleri süre de geleneksel araçlar ile farklılaşmaktadır. Bu etkenler sefer sürelerini değiştireceği için, "sefer süresi" değişkeni de analize eklenmiştir.
- d. *Sefer Mesafesi*: Benzer şekilde, EYA'ların sınırlı menzillere (Figenbaum, 2018) sahip olması planlanacak rotaları kısıtlamaktadır. Ayrıca, belirlenen rota boyunca şarj istasyonlarının olup olmadığı veya yükleri alma/bırakma sırasında şarj etmenin mümkün olup olmadığı da EYA'ların rota mesafesini etkilemektedir. Bu bilgiler ışığında, "sefer mesafesi" değişkeni EYA'lar ile İYMA'lar arasında farklılık gösterdiği için analiz kapsamına alınmıştır.
- e. *Sefer Ait Yük Sınıfı*: EYA'ların pillerinin belirli bir yer kaplaması (örn; Giordano ve diğ., 2018) nedeniyle taşınacak yük kapasitesi İYMA'lara göre

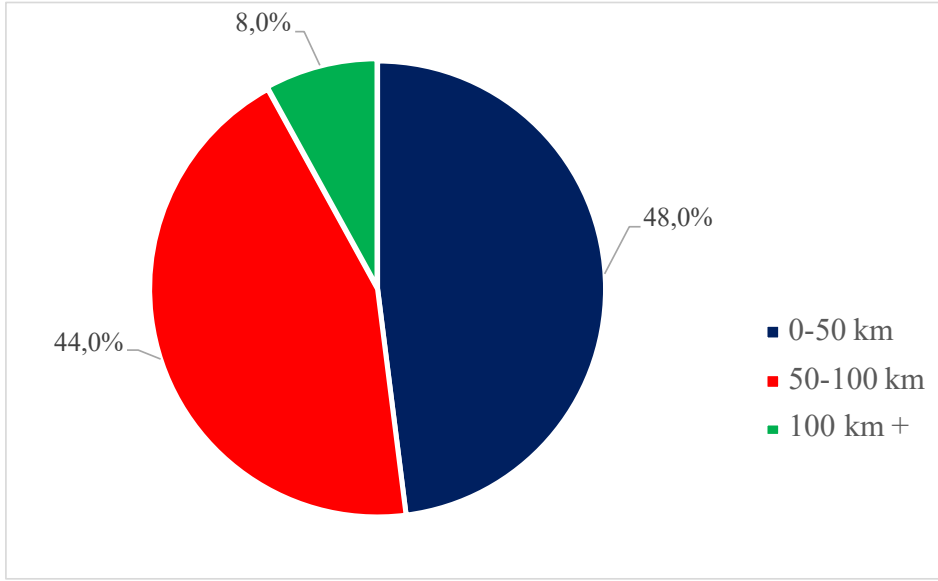
daha düşüktür. Bu farklılıktan dolayı çalışmada, “yük boyutu” değişkeni de dikkate alınmıştır.

Özetle, seçim modelinde kullanılan değişkenler; sefer mesafesi, sefer maliyeti, sefer süresi, yük miktarı ve araç türünün çevresel etkisi olarak seçilmiştir. Bu değişken değerleri EYA’lar ve İYMA’lar arasında farklılık göstermektedir.

2.2.1 Değişken seviyelerinin belirlenmesi

Belirtilen seçim araştırması kapsamında, katılımcıların tasarlanan anketi etkin cevaplandırabilmesi için belirlenen değişkenlere ait seviyelerin gerçek hayatta karşılaşılan değerlere yakın olması gerekmektedir. Değişken seviyelerini doğru bir şekilde saptamak için Türkiye’nin öncü perakende firmalardan birinin İstanbul şehir içinde 2019 yılında yapmış olduğu dağıtım verileri alınmıştır. Bu dağıtım verisindeki yük miktarları, literatürde sıklıkla kullanılan (örneğin Talebian ve diğ. (2018)) yük miktarı sınıflamalarına uygun olarak, sırasıyla hafif, orta ve ağır sınıf yük kapsamında değerlendirilen 0 ile 4 ton arası, 4 ile 15 ton arası ve 15 ton üzeri değerlerden oluşmaktadır. Alınan veri içerisinde yük miktarı verisine ek olarak, araç tipi, hangi müşterilerin hangi rotada olduğu, sefer süresi, rota mesafesi ve maliyeti bulunmaktadır. Alınan veriler kapsamında, sefer uzunluklarının sefer sayılarına göre dağılımı Şekil 2.3’te gösterilmektedir.

Bu şekilden görüldüğü üzere 100 km’ye kadar olan seferler, verilerin çoğunluğunu oluşturmaktadır. Sefer uzaklıkları ile ilgili düzeyleri belirlemek için yapılan çeşitli denemeler sonucunda, en uygun düzeylerin, sefer sayılarını yaklaşık eşit olarak veren 0-50 km ve 50-100 km düzeyleri olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak İstanbul’un uç kısımlarına yapılan gönderimler için de 100 km ve üzeri mesafe seviyesi eklenmiştir. Böylelikle, sefer mesafesine ait seviyeler 0-50 km, 50-100 km ve 100 km ve üzeri olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.3 : Sefer uzunluklarına göre sefer sayıları dağılımı.

Hazırlanan deney tasarımı kapsamında katılımcıların seçim yapmasını etkileyecek bir diğer değişken sefer maliyetidir. Bu değişkene ait seviyeler, yukarıda belirlenen sefer süresi, yük sınıfı ve mesafe seviyeleri doğrultusunda belirlenmiştir ve Çizelge 2.7’de gösterilmiştir. Sefer süresi seviyeleri de sefer mesafesi dikkate alınarak belirlenmiştir. Sefer süresi ve maliyetine ait seviyeler, firmanın gerçekleşen sefer verilerinin incelenmesiyle çeşitli denemeler yapılarak ortaya çıkarılmıştır. Bu seviyelerin çıkarılmasında rota mesafesinin artması durumunda maliyet ve sürenin artacağı kabul edilmiştir. Buna ek olarak, yük ağırlığının artması durumunda da maliyetin artacağı göz önünde bulundurularak bu seviyeler belirlenmiştir. Tüm değişkenler, sefer bazında olup bir aracın gidiş ve dönüşünü içermektedir.

Çizelge 2.7 : Rota mesafeleri bazında varsayılan zaman ve maliyet seviyeleri.

Sefer Mesafesi	Sefer Süre (saat)	Yük Ağırlığı	Sefer Maliyeti (TL)
0-50 km	2, 4, 6	0-4 ton	680, 850, 1020
		4-15 ton	750, 950, 1150
		15 ton +	800, 1050, 1250
50-100 km	3, 5, 7	0-4 ton	2000, 2500, 3000
		4-15 ton	2200, 2750, 3300
		15 ton +	2400, 3020, 3600
100 km +	4, 6, 8	0-4 ton	2700, 3400, 4000
		4-15 ton	2950, 3700, 4400
		15 ton +	3250, 4100, 4900

Çevre etkisi değişkeni İYMA’larla çevreye karşı duyarlı araçlar arasındaki farkı temsil etmektedir. Bu değişken düşük emisyon veya yüksek emisyon olmak üzere iki

seviyeden oluşmaktadır. Burada düşük emisyon EYA'ları ve yüksek emisyon ise İYMA'ları ifade etmekte olup, bir kukla değişken olarak değerlendirilmiştir.





3. SEÇİM MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Şekil 1.5’te gösterildiği üzere, seçim modelinin oluşturulması aşamasında: (1) EYA seçim modeline girdi olacak seçilen değişken ve seviyeleri ile deney tasarımının yapılması ve anket tasarımı, (2) anket sonuçlarının paylaşılması ve (3) anket bulgularından hareketle seçim modelinin kurulması adımları yer almaktadır.

3.1 Deney ve Anket Tasarımı

Belirtilen seçim deneyi, katılımcıların yukarıda verilen karar değişkenlerinin farklı seviyeleri ile oluşturulan kombinasyonlarda, EYA veya İYMA’lardan hangisini seçtiğini incelemektedir. Bu kombinasyonlar, aynı zamanda ankette katılımcıya sunulacak seçim senaryolara ait değerleri ifade etmektedir. Bu çalışmada önerilen deney tasarımı, her değişken seviyesinin diğer tüm değişken seviyelerinden bağımsız olarak değerlendirilebildiği ortogonal tasarıma (Chrzan and Orme, 2000) uygun olarak oluşturulmuştur.

Bölüm 2.2’de belirtildiği üzere bu çalışmanın odak noktası kent içi yük taşımacılığındaki hafif, orta ve ağır yük taşımacılığı yapan firmalar olduğundan, ankette katılımcıların cevaplayacağı dokuz farklı durum oluşturulmuş ve bu durumlar sırasıyla aşağıda ifade edilmiştir ve özet olarak Çizelge 3.1’de gösterilmiştir:

- Durum 1: “İstanbul şehir içi ulaşımında **0-50 km** uzaklığa sahip olan bölgelere **0 ile 4 ton** arasında yaptığınız gönderiler”
- Durum 2: “İstanbul şehir içi ulaşımında **0-50 km** uzaklığa sahip olan bölgelere **4 ile 15 ton** arasında yaptığınız gönderiler”
- Durum 3: “İstanbul şehir içi ulaşımında **0-50 km** uzaklığa sahip olan bölgelere **15 ton ve üzeri** yaptığınız gönderiler”
- Durum 4: “İstanbul şehir içi ulaşımında **50-100 km** uzaklığa sahip olan bölgelere **0 ile 4 ton** arasında yaptığınız gönderiler”
- Durum 5: “İstanbul şehir içi ulaşımında **50-100 km** uzaklığa sahip olan bölgelere **4 ile 15 ton** arasında yaptığınız gönderiler”

- Durum 6: “İstanbul şehir içi ulaşımında **50-100 km** uzaklığa sahip olan bölgelere **15 ton ve üzeri** arasında yaptığınız gönderiler”
- Durum 7: “İstanbul şehir içi ulaşımında **100 km ve üzeri** uzaklığa sahip olan bölgelere **0 ile 4 ton** arasında yaptığınız gönderiler”
- Durum 8: “İstanbul şehir içi ulaşımında **100 km ve üzeri** uzaklığa sahip olan bölgelere **4 ile 15 ton** arasında yaptığınız gönderiler”
- Durum 9: “İstanbul şehir içi ulaşımında **100 km ve üzeri** uzaklığa sahip olan bölgelere **15 ton ve üzeri** arasında yaptığınız gönderiler”

Çizelge 3.1 : Durumlar.

<i>Yük/Mesafe</i>	<i>0-50 km</i>	<i>50-100 km</i>	<i>100 km ve üzeri</i>
0-4 ton	Durum 1	Durum 4	Durum 7
4-15 ton	Durum 2	Durum 5	Durum 8
15 ton ve üzeri	Durum 3	Durum 6	Durum 9

Belirlenen her bir durum için zaman, maliyet ve çevre etkisi değişkenlerinin seviyelerinin farklı kombinasyonları ile alternatif senaryolar belirlenmiş ve bu senaryolardan da seçim çiftleri oluşturulmuştur. Senaryoların belirlenmesinde IBM SPSS 20 programında yer alan ortogonal tasarım seçeneğinden faydalanılmıştır. “Durum 1” örneği üzerinden ortogonal tasarım yapıldığında, elde edilen senaryolar Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Bu tablodan da görüleceği üzere, oluşturulan senaryo sayısı dokuzdur. Tam faktöriyel tasarım ile yapılmış olsaydı, kombinasyon sayısı $3^2 * 2^1 = 18$ olacaktı. Dolayısıyla, tamamen faktöriyel deney tasarımı olası tüm kombinasyonları değerlendirdiğinden, ortogonal tasarımda ortaya çıkan senaryo sayısı daha azdır.

Çizelge 3.2 : Durum 1’e ait senaryolar.

<i>Senaryo</i>	<i>Mesafe</i>	<i>Yük Miktarı</i>	<i>Zaman (saat)</i>	<i>Maliyet (TL)</i>	<i>Çevre Etkisi</i>
1	0-50 km	0-4 ton	6	1020	Yüksek Emisyon
2	0-50 km	0-4 ton	2	850	Yüksek Emisyon
3	0-50 km	0-4 ton	6	680	Yüksek Emisyon
4	0-50 km	0-4 ton	2	1020	Düşük Emisyon
5	0-50 km	0-4 ton	4	1020	Yüksek Emisyon
6	0-50 km	0-4 ton	6	850	Düşük Emisyon
7	0-50 km	0-4 ton	4	850	Yüksek Emisyon
8	0-50 km	0-4 ton	4	680	Düşük Emisyon
9	0-50 km	0-4 ton	2	680	Yüksek Emisyon

Çizelge 3.2'deki senaryolar kullanılarak ankette yer verilen seçim çiftleri oluşturulmuştur. Burada ortaya çıkabilecek tüm olası seçim çifti sayısı 36 tanedir (Kombinasyon(9,2)). Bu tercih çiftleri içerisinde baskın olan ve mantıksız olduğu düşünülen seçim çiftleri elenerek nihai seçim çiftlerine ulaşılmıştır. Bu aşamalardan sonra tüm durumlar dikkate alındığında, ortaya çıkan seçim çiftlerinin (94 tercih çifti) sayısı yüksek olmasından kaynaklı, ankete katılan kişilerin bu sayıda çifti değerlendirip tercih yapacak bir zamanı olmayacağı düşünülmüştür. Katılımcılardan dönüş alabilmek ve güvenilir cevaplar elde edebilmek adına, her durum için oluşturulan seçim çiftlerinden üç seçim çifti ile beş farklı anket tasarımı yapılmıştır. Burada her bir duruma üç seçim çiftinin koyulmasının sebebi, katılımcının makul sürede bu kadar seçim çiftini cevaplayabileceğinin düşünülmesidir. Farklı tasarlanan anketlerin sonuçlarını istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde değerlendirebilmek için her bir anketteki durumlara ait seçim çifti ortak tutulmuştur. Örneğin; hazırlanan Anket 1'in Durum 1'deki seçim çiftlerinden birine ait değişken değerleri ile Anket 2'deki aynı duruma tekabül eden seçim çiftlerinden birine ait değişken değerleri aynıdır. Böylelikle bir anketin cevabıyla diğer anketin cevabı birlikte analiz edilebilmektedir.

Tasarlanan anketlerden biri örnek olması adına Ek A'da sunulmuştur. Tasarlanan anketlerle, EYA ve İYMA için belirlenen değişkenlere ait seviyelerin oluşturduğu senaryolar ile karar vericilerin seçimleri sorgulanmaktadır. Bu değişkenlerden çevre etkisi değişkeni, dolaylı olarak yüksek emisyonlu araçlar için İYMA'ları ve düşük emisyonlu araçlar için de EYA'ların tercih edilmesini ifade etmektedir. Ankette bulunan sorular, iki farklı bölümde katılımcıya sunulmaktadır. Birinci bölümdeki sorular, firmaların filo yapıları keşfetmeye yöneliktir. Bu bölümdeki sorular arasında, firma filolarının sahip olduğu araç tipleri (EYA veya İYMA), sayıları ve kapasiteleri yer almaktadır. Daha sonra firmaya ait filolardaki araçların tipik bir seferindeki yük miktarı, sefer süresi, sefer mesafesi, seferde uğradığı nokta sayısı ve maliyeti sorulmaktadır. Anketin ikinci bölümde ise, deney tasarımı sonrasında elde edilen seçim çiftlerine göre katılımcılara tercih yapacakları senaryolar sunulmaktadır.

3.2 Anket Sonuçları

Katılımcılara daha rahat ulaştırabilmek için hazırlanan anket çevrimiçi (online) ortama aktarılmıştır. Bu çalışmanın ilk amacı, şehir içi yük taşımacılığında faaliyet gösteren kurumların EYA seçim modelini oluşturmak olduğundan, bu anketin hedef kitlesi

olarak şehir içi yük taşımacılığı yapan irili ufaklı kurum ve kuruluşlar olarak seçilmiştir. Hedeflenen kitleye ulaşabilmek için amaçlı örnekleme (purposive sampling) tekniğinden yararlanılmıştır. Bu örneklemede, araştırma için her bir katılımcının özgün ve zengin bilgi sahibi olması beklentisiyle bilinçli olarak seçilir (Etikan ve diğ., 2016; Maxwell, 1997). Bu teknikle, sistem parametrelerin doğru tahmini sağlanabilir ancak örnekleme hatasını hesaplamak mümkün değildir (Schreuder ve diğ., 2001). Amaçlı örneklemenin değeri, çalışma bulgularının güvenilirliğini artırma kabiliyetindedir (Williams, 2015). Özellikle nüfusun iyi bilindiği ve tarafsızlığın korunduğu durumlarda, amaçlı örnekleme ile elde edilen sonuçlar rastgele örneklemeden daha gerçekçi olabilir (Robinson, 2014).

Veri toplama için lider profesyonel ağ platformu LinkedIn'den faydalanılmıştır. LinkedIn'de örnekleme, geleneksel yöntemlere kıyasla, başka türlü ulaşılması zor, hatta imkânsız olan yük taşımacılığında profesyonellere ulaşma zorluğunun üstesinden gelinmesine yardımcı olmuştur. Bu platform, katılımcı adaylarını daha doğru bir şekilde filtrelememe ve aramama izin vermiştir. Literatürde örnekleme amacıyla sosyal medya platformlarını (LinkedIn vb.) kullanmanın çeşitli avantajları ve dezavantajları bildirilmiştir. Mirabeau ve diğ. (2013) sosyal medya ağlarını (özellikle LinkedIn) kullanmanın temel avantajlarını i) daha az yanıt vermeme yanlılığı (non-response bias), ii) ilgilenilen kitlenin uygunluğu, iii) yetkin katılımcılara ulaşma ve iv) tamamlan(ma)mış anketleri izleme kolaylığı olarak sıralamışlardır. Buna karşın, potansiyel kendi kendini seçme yanlılığı (self-selection bias), eksiksiz bir örnekleme çerçevesinin olmaması ve araştırmacıyla yakından ilgili bireylerin katılımı gibi bazı dezavantajlar mevcuttur (Mirabeau ve diğ., 2013). Hedef kitleye ulaşmak için öncelikle LinkedIn'de "yük", "lojistik", "yük taşımacılığı" ve "tedarik zinciri" terimlerini kullanarak anahtar kelime araması yapılmıştır. Arama sonuçlarında, İstanbul'da yük taşımacılığı yapan şirketler için çalışan potansiyel katılımcılar filtrelenmiştir. LinkedIn aracılığıyla potansiyel katılımcılara talebimin nedenini açıklayan bir mesajla bir "iletişim" isteği gönderilmiştir. Ardından, iletişim talebimi kabul eden her potansiyel katılımcıya, anketin kapsamını ve amacını açıklayan bir e-posta ile çevrimiçi ankete bir bağlantı gönderilmiştir.

Toplamda İstanbul'da şehir içi yük taşımacılığı yapan, çeşitli büyüklükte 250 firmaya talep gönderilmiştir. Anket kendi kendine uygulanacak (self-administered) şekilde tasarlanmıştır. Katılımcılar anket soruları hakkında daha fazla bilgi istediği durumda,

telefonla ayrıntılı olarak açıklama yapılmıştır. Ankete verilen yanıtlar beş aylık bir süre boyunca (15 Haziran 2019'dan aynı yılın 15 Kasım'ına kadar) toplanmış ve 35 firma anketi tam olarak tamamlayarak %15'lik bir yanıt oranıyla sonuçlanmıştır.

Ankete cevap veren firmalardan, İstanbul'da kent içi yük taşımacılığı yapan üç firmada toplam beş adet EYA bulunduğu gözlenmiştir. Bu EYA'ların toplam kapasitesi 21 tondur. Buna karşın, İYMA sayısı 2295 ve bu araçların toplam kapasitesi yaklaşık 28 bin tondur. Firmaların araç ve filo yük kapasite bilgilerini gösteren tanımlayıcı istatistik bilgileri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Bu tablodan, geleneksel araç sayıları dikkate alındığında maksimum değerin 500 ve minimum değerin 2 olduğu ve toplam filo yük kapasiteleri göz önüne alındığında ise minimum değerin 3 ton ve maksimum değerin 10 bin ton olduğu görülmektedir. Bu durum, ankete katılan firmaların irili ufaklı filolara sahip firmalar olduğunu göstermektedir.

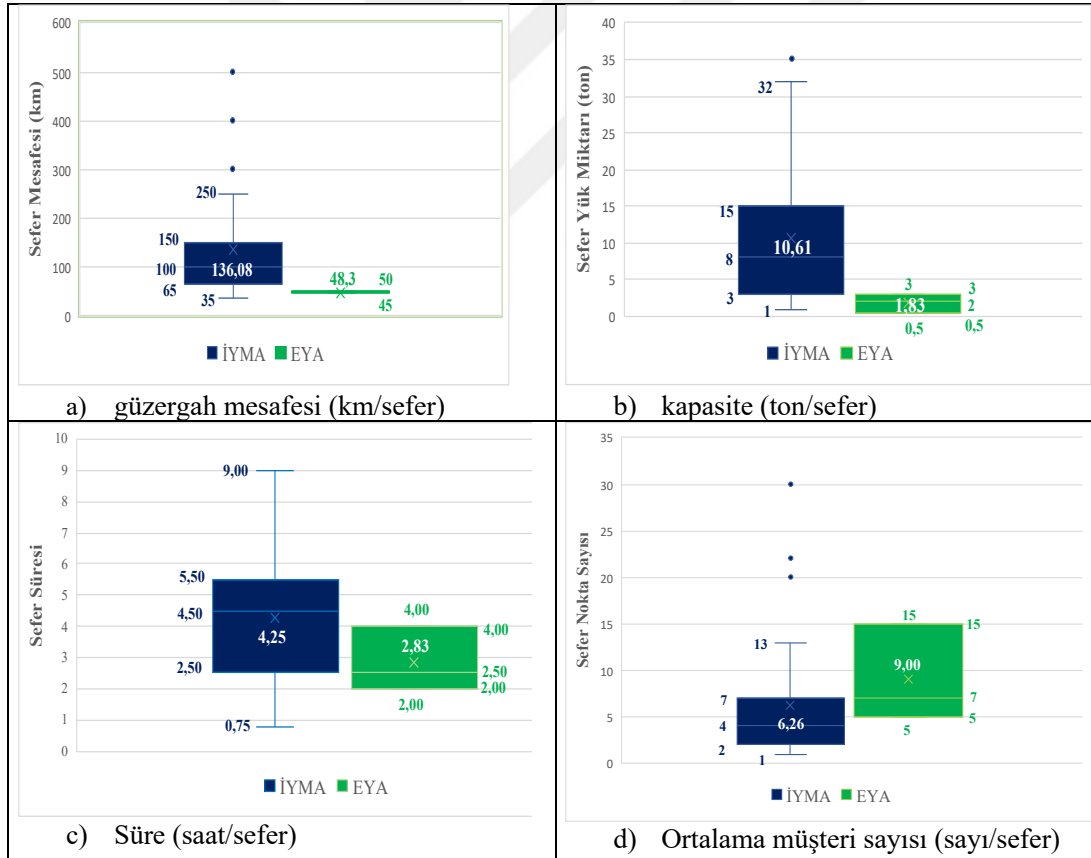
Çizelge 3.3 : Araç sayısı ve kapasitelerin tanımlayıcı istatistik bilgileri.

Tanımlayıcı İstatistik	İYMA Sayısı	İYMA Kapasitesi (ton)	EYA Sayısı	EYA Kapasitesi (ton)
N	35	35	3	3
Ortalama	65,57	789,17	1,67	7,00
Standart Sapma	115,67	1.917,96	0,58	3,00
Min	2,00	3,00	1,00	4,00
Max	500,00	10.000,00	2,00	10,00

Şekil 3.1'de her iki araç türüne göre ortalama değerlerin bulunduğu kutu grafikleri gösterilmiştir. Bu şekildeki değerler ve anketteki seferlere ait bilgiler göz önüne alındığında, firmaların cevaplarında İYMA'ların şehir içinde yaptığı ortalama sefer uzunluğu 136 km olarak bulunmuş ve seferlerde 110 km'lik bir sapma meydana gelmiştir. Bu durum katılımcıların rotaları planlamadaki davranışlarının bir göstergesidir. Bir diğer deyişle, bazı firmalar seferlerini yakın noktaları temel alarak planlarken, bazı firmalar ise aracı tüm şehri dolaşacak şekilde seferlerini planlamaktadır. Taşınan yük miktarı dikkate alındığında, şehir içinde yapılan taşımaların bir ton ile 35 ton arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu durum ise, kent içinde yapılan kargo teslimatları ile şehir içinde bulunan liman ve ambarlara yapılan taşımacılığı göstermektedir. Bu verilerden anlaşıldığı üzere İstanbul şehir içi yük taşımacılığı her çeşit yük miktarında ve türünde taşımacılık yapılmaktadır. Bir seferin süresi ortalama 4,5 saat olmakla birlikte yaklaşık iki saatlik bir sapma bulunmuştur. İstanbul trafiği, yük boşaltma ve yükleme sırasında zaman kayıpları dikkate alındığı

taktirde, bu durumun normal olduğu açıktır. İstanbul şehri içinde oluşturulan bir seferin ortalama yedi noktaya uğradığı bilgisi de bir diğer bulgulardan biridir. Şehir içinde uğranılan nokta sayısı bir ile 30 arasında değişmekte olup, maksimum noktaya uğrayan firmalar, e-ticaretin yaygınlaşmasıyla şehir içi teslimata odaklanmış kargo firmaları olduğu çıkarımını yapmak pek zor değildir.

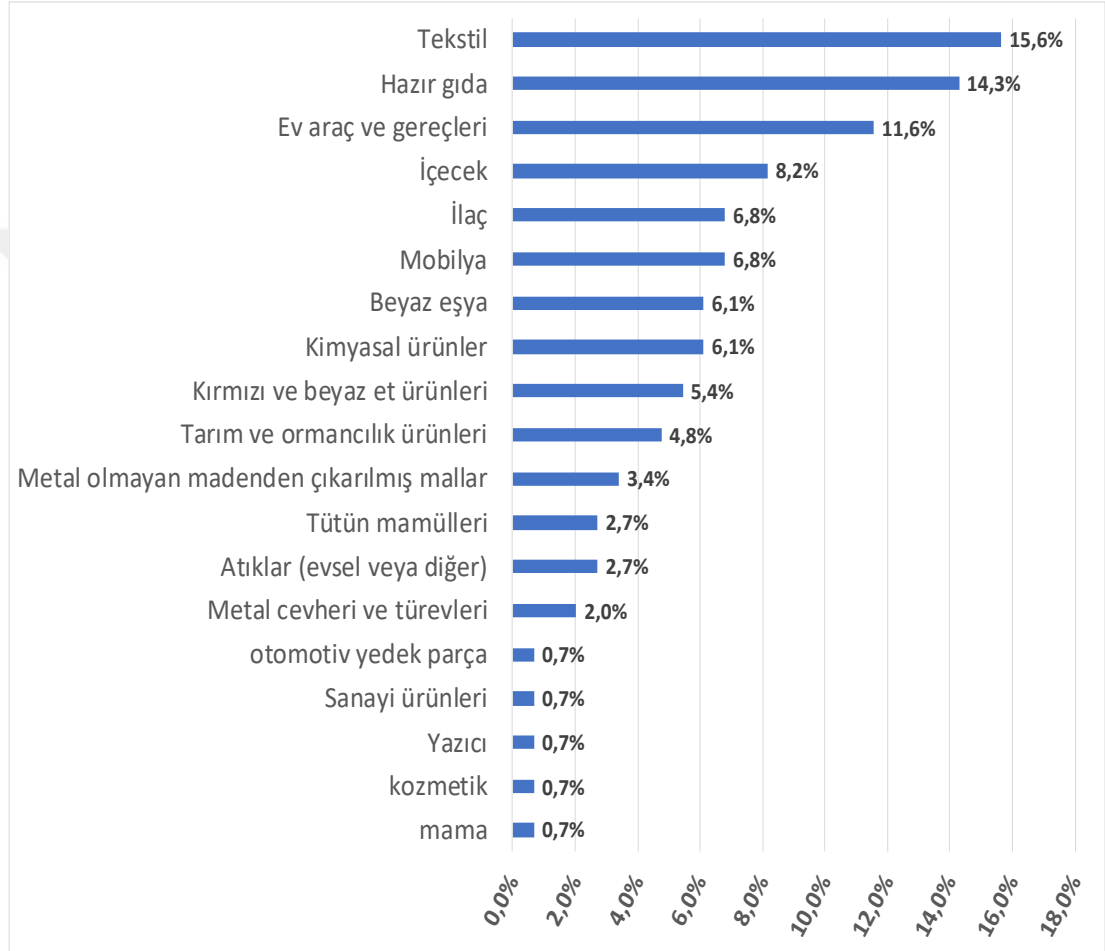
EYA'lara ait bir seferin ortalama mesafesi 48 km olarak bulunmuş ve sefer başına gidilen mesafelerde de yaklaşık üç km'lik bir sapma meydana gelmiştir. Bu durum, katılımcıların EYA'ların rotalarını planlarken daha dikkatli olduklarının bir göstergesidir. Bu araçlar ortalama 48 km'lik yolu yaklaşık iki tonluk yükü üç saatte dokuz noktaya uğrayarak seferlerini gerçekleştirmişler. Sefer başına düşen yük miktarı ve nokta sayısına dikkat edilirse, bu araçların hafif ticari araçlar olduğu ve yüksek sayıda noktaya teslimat yapmaları ise kargo ya da hızlı teslimat firmaları olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 3.1 : EYA ve İYMA seferlerine ait kutu grafikleri sonuçları.

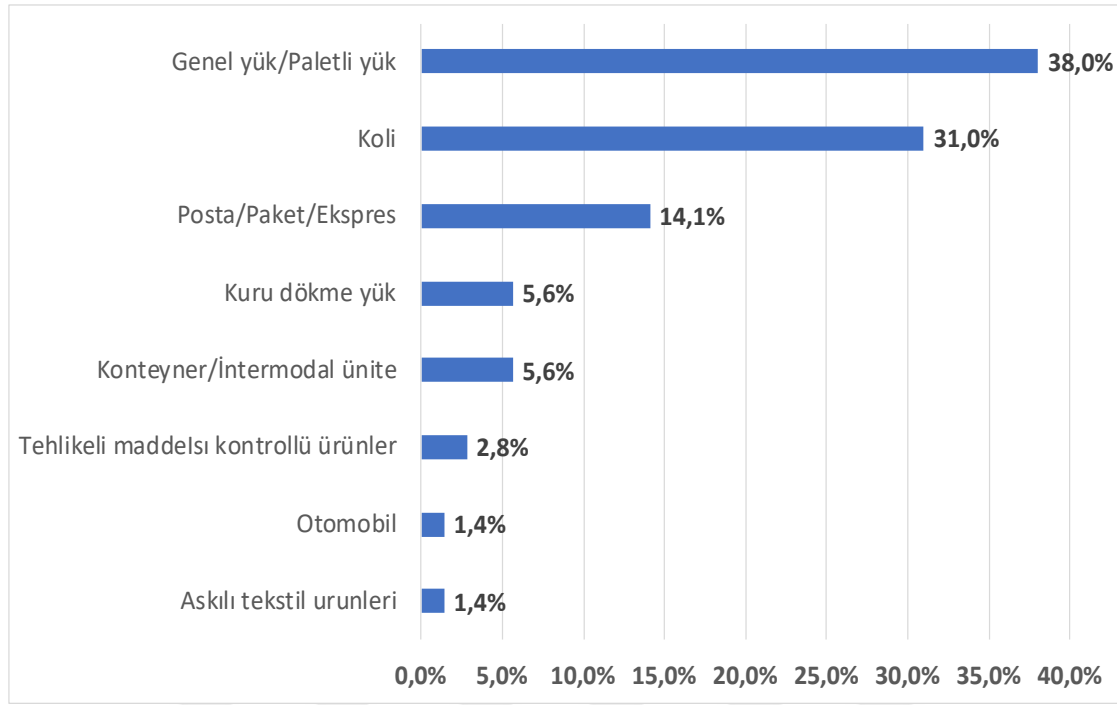
Ankette katılan firmaların taşıdıkları yük türü, taşınan yükün paket türü, filodaki araçların yakıt tipi ve çalışan sayıları ilgili sonuçlar sırasıyla anlatılmaktadır. Firmaların taşıdıkları yük türleri arasında; evsel ve evsel olmayan atıklar, tarım ve

ormancılık ürünleri, otomotiv yedek parça, kimyasal ürünler, sanayi ürünleri, hazır gıda, metal olmayan madenden çıkarılmış mallar, ev araç ve gereçleri, tütün mamulleri, metal cevheri ve türevleri, ilaç, beyaz eşya, mobilya, tekstil, kırmızı ve beyaz et ürünleri, içecek ve teknolojik araç ve gereçlerin yer aldığı gözlenmektedir. Şekil 3.2’de görüleceği üzere, firmaların %15,6’sı tekstil, %14,3’ü hazır gıda ve %11,6’sı ev araç ve gereçlerini taşımaktadır.



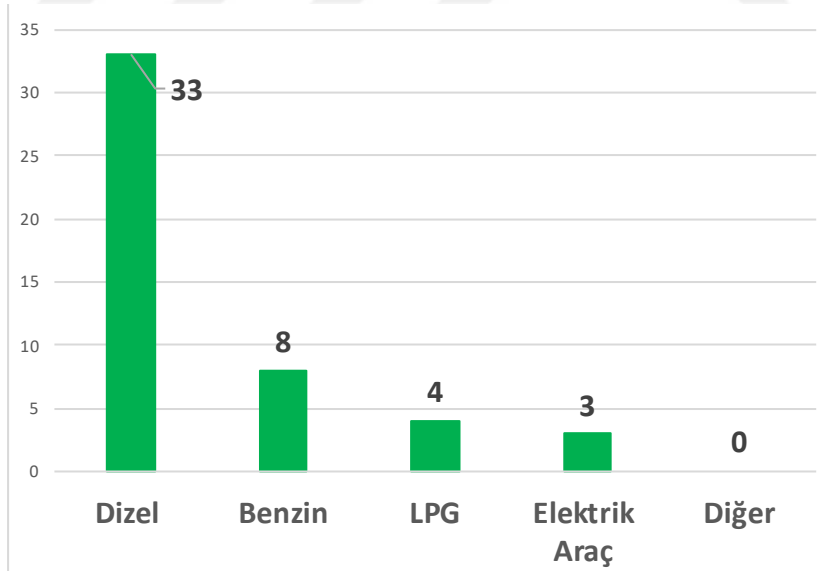
Şekil 3.2 : Yük türü çokluk grafiği (%).

Bu bilgiler, ankete cevap verenlerin içerisinde perakende sektöründe taşımacılık yapan firmaların ciddi oranda olduğunu göstermektedir. Şekil 3.3’te, yapılan taşımaların paket türleri gösterilmekte ve taşınan yüklerin %69’unun paletli ve koli olarak taşındığı görülmüştür. Şekil 3.4’ten anlaşılacağı üzere, ankete katılan 35 firmanın 33’ünün filolarında dizel yakıtlı, 8’inde benzinli, 4’ünde LPG’li ve 3’ünde elektrikli araçlar bulunmaktadır.



Şekil 3.3 : Paket türü çokluk grafiği (%).

Ayrıca, ankete katılan firmaların çalışan sayılarına göre, 151 ve üzeri çalışana sahip firmaların oranı %45, 50 ile 100 çalışanı olan orta ölçekli işletmelerin oranı %26 ve 50'den az çalışana sahip küçük ölçekli firmaların oranı %29'dur.



Şekil 3.4 : Yakıt türüne göre firma sayısı.

3.3 Seçim Modeli ve Sonuçları

Bölüm 3.1'de oluşturulan her bir durum için şehir içi yük taşımacılığında EYA'ların potansiyel kullanımının belirlenmesi amacıyla seçim modelleri oluşturulmuştur. Bir

diğer deyişle, her bir durum için 9 farklı seçim modeli kurulmuştur. Bu durumlar içerisinde tasarlanan her bir ankette toplamda üç tercih çifti bulunmaktadır. Toplam 35 anketin yanıtladığı bilgisi altında, her bir durum için bulunan gözlem sayısı 210'dur ($35 \times 3 \times 2$). Bu gözlemler katılımcının, maliyet, zaman ve çevre etkisine göre ilgili araç türünü seçip seçmediğini verir. Katılımcının ankette her bir durumdaki her bir seçim çifti için tercih ettiği senaryoya bir etmediği senaryoya ise sıfır değeri verilmiştir.

Farklı yük sınıfları ve değişken değeri grupları bir arada analiz edilemeyeceği için farklı bir modelleme yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşımda, ikili olarak kıyaslanan her bir seçim çifti için, seçilen satırdan seçilmeyen satırın çıkarılması ile bir değişken dönüşüm yapılmıştır. Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te bu dönüşüm örneklendirilmiştir.

Çizelge 3.4 : Durum 1'in ilk seçim çifti için ham veri.

Seçim	Maliyet	Süre	Çevre Etkisi
1	850	2	0
0	1.020	2	1

Çizelge 3.5 : Dönüşüm sonrası veri.

Seçim Fark	Maliyet Fark	Süre Fark	Çevre Etkisi Fark
1	-170	0	-1

Dönüşüm yapıldıktan sonra ortaya çıkan veriler, kıyaslanan iki değişken arasındaki farkları temsil eder. Yani, maliyet ve süre farkları ile hangi tür aracın seçildiği bilgisi bulunmuştur. Çevre etkisi fark değişkeni -1 veya 1 değerlerini almaktadır. Bu değişkenin -1 değerini alması İYMA'ların ve 1 değerini alması EYA'ların seçildiğini göstermektedir. Bu dönüşüm değerlerinden hareketle, maliyet ve süre farkları kurulacak modelin girdisini ve çevre etkisi farkı da modelin çıktısını oluşturmaktadır. Lojit modellerin çıktı değerlerinin 0 veya 1 olması gerektiğinden dolayı ve değişken dönüşümü yapılan verinin bu modelde çalışabilmesi için çevre etkisi farkının -1 olduğu değerler 0 olarak değiştirilmiştir. Bu dönüşüm sonrasında, her bir durum için 210 örneklem satırı 105 satıra düşmüştür. Diğer bir ifadeyle, kurulacak her bir modelin 105 örnekleme bulunmaktadır.

Her bir durum için çıkartılan bu verilerle alternatif lojit modeller oluşturulmuştur. Bu modeller IBM SPSS Modeler'da kurulmuştur ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Kurulan tercih modellerinin istatistiksel anlamlılık ve pratik önem değerleri (statistical and practical significance of the models) dikkate alındığında (sanal- R^2 , istatistiksel

anamlılık değerleri vb.) Denklem 3.1’de gösterilen **Maliyet fark**³ (ΔC^3) ve **zaman fark** (ΔT) değişkenlerinin girdi olarak yer aldığı modellerin en iyi kalite göstergelerine sahip olduğu bulunmuştur ve fayda fonksiyonlarında bu değişkenlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

$$U = \beta_0 + \beta_1 \Delta C^3 + \beta_2 \Delta T \quad (3.1)$$

Bu alışma kapsamına alınan firmaya ait filo tarafından şehir içinde ve İstanbul kent içi yük taşımacılığında gerçekleştirilen seferler izelge 3.1’de gösterilen durumlar içerisinde Durum 1, 2, 3, 5, 8 ve 9’a uymaktadır. Bu bağlamda, bu durumlar için modelin sonuçları izelge 3.6-3.10’da sunulmaktadır.

Kurulan seçim modellerin istatistiki değerleri izelge 3.6’da gösterilmiştir. Bu tablodaki -2LL değerinin karşılık geldiği χ^2 değeri, kritik χ^2 ile kıyaslanmalıdır. Modele ait χ^2 değeri, denklem 1.6 yardımıyla bulunmuştur. Örneğin, Durum 1 ait sadece referans modelin değeri ($-2 * LL(0)$) 91,464 iken tüm değişkenlerin olduğu modele ait bu değer ($-2 * LL(\beta)$) 30,499 olup bu iki değerin farkı 60,965’tir. Bu değer aynı zamanda modelin χ^2 değeridir. Kritik χ^2 değeri, ilgili tablodan serbestlik derecesi 2 ve $p=0,05$ değerlerine bakılarak 5,991 olduğu bulunmuştur (URL-3). Dolayısıyla, tüm durumlara ait modellerin χ^2 değerileri, kritik χ^2 değerinden büyüktür ve referans modele göre kurulan her bir modelin üstün başarı gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, izelge 3.6’daki tüm katsayıların bulunduğu satır, her bir modele ait katsayılarının sıfır olup olmadığı hakkında bilgi sunmaktadır. Diğer bir ifadeyle, modele ait katsayılardan herhangi birinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını ortaya çıkartmaktadır. Özetle, eklenen değişkenlerin, referans modele kıyasla öngörülen modeli istatistiksel olarak önemli ölçüde iyileştirip iyileştirmediğini göstermektedir. Yukarıda yapılan χ^2 kıyasıyla, modele eklenen değişkenlerin referans modele kıyasla modeli iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Böylelikle, tüm durumlara ait modellerin bağımlı değişkeni (seçimi), istatistiki olarak anlamlı bir şekilde referans modelden daha iyi tahmin ettiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.7’de seçim modellerinin sanal- R^2 ’si paylaşılmıştır. Bu değerler bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranını göstermemekle birlikte, veri ile modelin uyumu hakkında fikir vermektedir. Ulaşım literatüründe genellikle McFadden sanal- R^2 kullanılmaktadır.

Çizelge 3.6 : Model uyum bilgisi.

Durumlar	Model	Model Uyum -2LL	Olabilirlik Oran Testi χ^2
Durum 1	Sabit terim [-2LL(0)]	91,464	
	Tüm katsayılar [(-2LL(β))]	30,499	60,965
Durum 2	Sabit terim [-2LL(0)]	106,041	
	Tüm katsayılar [(-2LL(β))]	57,599	48,442
Durum 3	Sabit terim [-2LL(0)]	115,264	
	Tüm katsayılar [(-2LL(β))]	26,282	88,982
Durum 5	Sabit terim [-2LL(0)]	81,654	
	Tüm katsayılar [(-2LL(β))]	53,522	28,132
Durum 8	Sabit terim [-2LL(0)]	100,368	
	Tüm katsayılar [(-2LL(β))]	20,475	79,894
Durum 9	Sabit terim [-2LL(0)]	116,812	
	Tüm katsayılar [(-2LL(β))]	9,319	107,493

Domencich ve McFadden (1975; s. 124) yapmış oldukları araştırmada McFadden sanal- R^2 'nin R^2 karşılığını bir grafik olarak vermişlerdir. Bu grafik dikkate alındığında, Çizelge 3.7'de gösterilen durumlara ait yaklaşık R^2 'ler sırasıyla 0,85, 0,65, 0,93, 0,55, 0,89, 0,95 olduğu görülmektedir (Domencich ve McFadden, 1975). Durum 2 ve 5 haricinde diğer durumların R^2 'lere dikkate alındığında başarılı sonuç ürettiği söylenebilir. Durum 2 ve 5'e ait seçim modellerinin de ortalama bir başarı gösterdikleri söylenebilir.

Çizelge 3.7 : Sanal- R^2 .

Sanal- R^2	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 5	Durum 8	Durum 9
McFadden	0,596	0,362	0,772	0,249	0,693	0,883

Çizelge 3.8 ve 3.9'da seçim modellerinde bulunan bağımsız değişkenlerin katsayılarının istatistik değerleri sunulmuştur. Çizelge 3.8'deki sonuçlar, her bir durum modeline ait bağımsız değişkenlerinden hangilerinin istatistiksel olarak önemli olduğunu gösterir. Ayrıca bu çizelge, çoğunlukla nominal bağımsız değişkenler için kullanışlıdır çünkü nominal bir değişkenin genel etkisini dikkate alan tek tablodur. Başka bir deyişle, indirgenmiş modelin iyi performans gösterip göstermediği, -2LL değerlerine karşılık gelen χ^2 değeri, kritik χ^2 değeri ile karşılaştırıldığında anlaşılmaktadır. Kritik χ^2 değeri, tablodan serbestlik derecesi 1 ve $p=0,05$ olduğu alandan 3,841 olarak bulunmuştur (URL-3). İndirgenmiş modeller; sadece sabit terim, sabit terim ve ΔT ve sabit terim ve ΔC^3 'tür. İndirgenmiş modellerin χ^2 değeri, kritik χ^2 'den büyük olması durumunda, öngörülen modelin daha iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu bilgiyle, Durum 1, 2, 3, 5 ve 8'deki bağımsız değişkenlerin olduğu

indirgenmiş modeller istatistiksel olarak anlamlı olup iyi performans göstermiştir. Durum 9'daki indirgenmiş model sonuçları dikkate alındığında ΔC^3 değişkeni eklendiğindeki model istatistiksel olarak anlamlı olmayıp ($1,880 < 3,841$) referans modele göre kötü performans göstermiştir.

Çizelge 3.8 : Olabilirlik oran testi.

Durum	Model	Model Uyum Kriteri	Olabilirlik Oran Testi
		İndirgenmiş Modelin -2LL	χ^2
Durum 1	Sabit terim	41,737	11,238
	ΔT	83,666	53,167
	ΔC^3	72,599	42,100
Durum 2	Sabit terim	59,393	1,794
	ΔT	106,041	48,442
	ΔC^3	70,922	13,323
Durum 3	Sabit terim	32,384	6,102
	ΔT	104,231	77,949
	ΔC^3	90,757	64,475
Durum 5	Sabit terim	63,599	10,077
	ΔT	75,007	21,485
	ΔC^3	62,825	9,303
Durum 8	Sabit terim	36,383	15,909
	ΔT	99,177	78,702
	ΔC^3	31,170	10,695
Durum 9	Sabit terim	20,391	11,072
	ΔT	109,051	99,732
	ΔC^3	11,199	1,880

Çizelge 3.9, modelin katsayıları olarak bilinen parametre tahminlerini gösterir. Oluşturulan modellerde yer alan bağımsız değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için t- istatistiğine bakılır. Çalışma kapsamında %95 güven aralığı belirlendiği için t-istatistiği değerlerinin $\pm 1,96$ arasında olmaması, tahmin edilen katsayının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Bu bilgiyle, Çizelge 3.9'daki t-istatistiği değerlerine bakılırsa, Durum 2 modeline ait sabit terimin t değeri 1,343 ($< 1,96$) ve Durum 9'a ait ΔC^3 terimine ait katsayının t değeri 1,519 ($< 1,96$) olarak görüldüğünden bu terimler istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Her bir durum için Çizelge 3.9'daki değişkenlerin katsayıların işareti dikkate alındığında, denklem 3.1 yardımıyla değişkenlerin olasılığı nasıl etkilendiği gözlemlenebilir. Durum 1'de (0-4 ton ve 0-50 km) ΔT 'nin işareti pozitif yani tercih denkleminde faydanın artması dolayısıyla seçilme olasılığı artmasını ifade etmektedir. Diğer yandan, ΔC^3 'e ait katsayının işareti negatiftir. Bir diğer deyişle, maliyetten

kaynaklı zaman farkının tercih denkleminde faydanın azalması dolayısıyla seçilme olasılığı azalmasına tekabül etmektedir.

Durum 2, 3, 5 ve 8 ise ΔT ve ΔC^3 değişkenlerine ait katsayıların işareti negatiftir. Her iki değişkenin de tercih denkleminde faydayı azalttığı ve buradan hareketle seçilme olasılıklarını düşüğü görülmektedir. Durum 9'da ise ΔT ve ΔC^3 'nin katsayı işaretleri sırasıyla pozitif ve negatiftir. Zaman fark değişkeninin tercih denklemindeki faydayı arttırdığı ve maliyet fark değişkeninin ise faydayı azalttığı görülmektedir. Her bir durum farklı yük ve mesafe özellikleri içerdiğinden, değişkenlerin türlerin faydalarına ve seçim olasılıklarına etkileri farklılaşabilmektedir.

Yukarıda yapılan açıklamalardan görüleceği üzere, ΔT ve ΔC^3 katsayılarına ait işaretler durumlara (Bakınız: Çizelge 3.1) göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin; Durum 1 ve 9'da ΔT 'nin katsayısı pozitif olup süre farkı arttıkça ilgili türün seçilme olasılığı artarken, diğer durumlarda süre farkı artarken ilgili türün seçilme olasılığı azalmaktadır. Genellikle, süre ve maliyet değişkenlerinin katsayılarının negatif işaretli olması beklenmektedir. Ancak, tez kapsamında yapılan hesapların göreceli olması nedeniyle, katsayı işaretlerinden bazılarının pozitif işaretli çıkması normal bir durum olarak değerlendirilmiştir

Çizelge 3.9 : Parametre tahmini.

Durumlar	Model bileşeni	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği
Durum 1	Sabit terim	-1,334	0,454	-2,938
	ΔT	1,719	0,374	4,596
	ΔC^3	-2,41E-7	5,50E-08	-4,381
Durum 2	Sabit terim	0,379	0,282	1,343
	ΔT	-0,396	0,120	-3,300
	ΔC^3	-8,21E-8	2,10E-08	-3,909
Durum 3	Sabit terim	1,516	0,722	2,099
	ΔT	-2,768	0,673	-4,112
	ΔC^3	-1,80E-7	5,03E-8	-3,578
Durum 5	Sabit terim	0,892	0,288	3,097
	ΔT	-0,591	0,152	-3,888
	ΔC^3	-4,96E-9	2,22E-09	-2,254
Durum 8	Sabit terim	2,023	0,655	3,088
	ΔT	-2,753	0,830	-3,316
	ΔC^3	-1,16E-9	5,17E-10	-2,243
Durum 9	Sabit terim	2,611	1,055	2,474
	ΔT	-3,017	0,757	-3,985
	ΔC^3	1,22E-9	8,03E-10	1,519

Lojit modellerin performanslarının iyi olup olmadığının bir diğer göstergesi doğruluk değerleridir. Doğruluk değerlerini yorumlamak için Çizelge 3.10’da gösterilen sınıflandırma matrisine bakılır. Örneğin, Durum 1’e ait seçim modelinin doğruluğu %93,3’tür. Bu değer, modelde kullanılan 105 örneklem için seçim modelinin %93,3 oranında seçimi doğru yaptığını göstermektedir. Çizelgeden diğer durumlara ait seçim modellerinin doğruluk değerleri sırasıyla; 84,8%, 96,2%, 81,9%, 90,5% ve 98,1% olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.10 : Sınıflandırma matrisi.

Gözlenen	Tahmin edilen			Gözlenen	Tahmin edilen		
	0	1	Doğru Yüzdesi		0	1	Doğru Yüzdesi
0	81	4	%95,3	0	68	2	%97,1
1	3	17	%85,0	1	14	21	%60,0
Toplu yüzde	%80,0	%20,0	%93,3	Toplu yüzde	%78,1	%21,9	%84,8
a) Durum 1				b) Durum 2			
Gözlenen	Tahmin edilen			Gözlenen	Tahmin edilen		
	0	1	Doğru Yüzdesi		0	1	Doğru Yüzdesi
0	77	3	%96,3	0	78	3	%96,3
1	1	24	%96,0	1	16	8	%33,3
Toplu yüzde	%74,3	%25,7	%96,2	Overall Percentage	%89,5	%10,5	%81,9
c) Durum 3				d) Durum 5			
Gözlenen	Tahmin edilen			Gözlenen	Tahmin edilen		
	0	1	Doğru Yüzdesi		0	1	Doğru Yüzdesi
0	79	1	%98,8	0	76	1	%98,7
1	9	16	%64,0	1	1	27	%96,4
Toplu yüzde	%83,8	%16,2	%90,5	Toplu yüzde	%73,3	%26,7	%98,1
e) Durum 8				f) Durum 9			

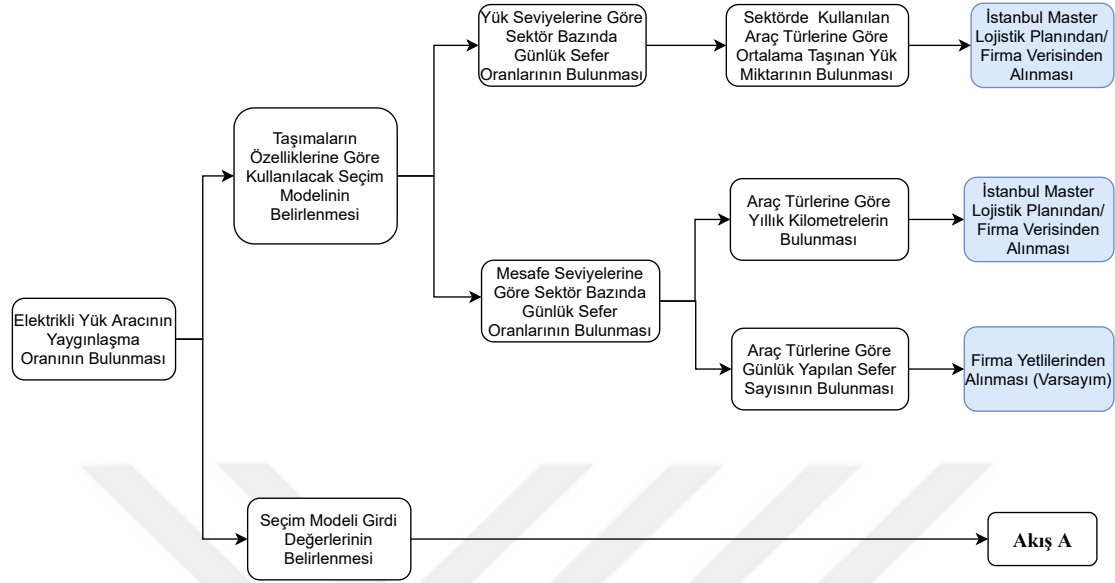
4. EYA YAYGINLAŞMA ORANI TESPİTİ

Yöntemin son aşamasında, pilot bölge için EYA'ların ne kadar yaygınlaşacağını bulunmasına yönelik adım yer almaktadır. Seçim modeline girdi olacak maliyet değişkenini bulmak için çalışma kapsamına alınan firmanın filo bilgilerinden yararlanarak, EYA ve İYMA'ların yakıt maliyeti hariç toplam edinme maliyeti (TEM) ve yakıt maliyeti ortaya çıkarılmıştır. Buna ek olarak, zaman değişkenine ait değer, EYA'larla gerçekleştirilmiş sefer olmamasından kaynaklı, bu araçlara ait sefer süreleri, verideki sürelerle eşit kabul edilmiş ve 0,10 olarak kademeli arttırılarak beş farklı senaryo ile oluşturulmuştur. Bunun nedeni, şarj etme sürelerinin uzunluğu ve şarj etme olanaklarının kısıtlı olduğu varsayımdır. Daha sonra elde edilen değişken değerleri seçim modeline girdi olarak verilerek, ilgili seferin EYA'la mı ya da İYMA ile mi yapılacağı tahmin edilmektedir.

EYA'ların ne kadar yaygınlaşacağını bulunması için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem kullanılarak hem İstanbul'daki hem de çalışma kapsamına alınan perakende firmasına ait filodaki potansiyel EYA yaygınlaşma oranı ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda Şekil 4.1-4.4'de yaygınlaşma oranına ulaşmak için gereksinim duyulan veri/bilgi akışı ortaya konmuş ve bunların hangi süreç sonrasında elde edildiği açıkça belirtilmiştir.

Şekil 4.1 incelendiğinde, çalışmanın pilot bölgesi olan İstanbul'daki kent içi yük taşımacılığında EYA'ların yaygınlaşma oranı ulaşmak istenendir. Bu oranı elde etmek için iki girdiye ihtiyaç vardır. Bunlardan birincisi İstanbul'da mevcut durumda şehir içi yük taşımacılığında yapılan seferlerin, çalışma kapsamında belirlenen hangi durumlara (0-4 ton & 0-50 km taşımacılık vb.) karşılık geldiğinin belirlenmesidir. Bunu belirlemek için İstanbul'daki seferlerin yük ve mesafe seviyelerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Diğeri ise seçim modeline ait girdi değerlerinin oluşturulmasıdır. Akışlarda mavi renk ile gösterilen kutucuklar verinin temin edileceği kaynağı ifade etmektedir. Bu bilgi altında, İstanbul için şehir içi yük taşımacılığında hangi seçim modellerinin kullanılacağı bilgisi İstanbul Master Lojistik Planından

(İMLP) ve perakende firmasına ait filo için ise de firmadan alınan veriden elde edilmektedir.

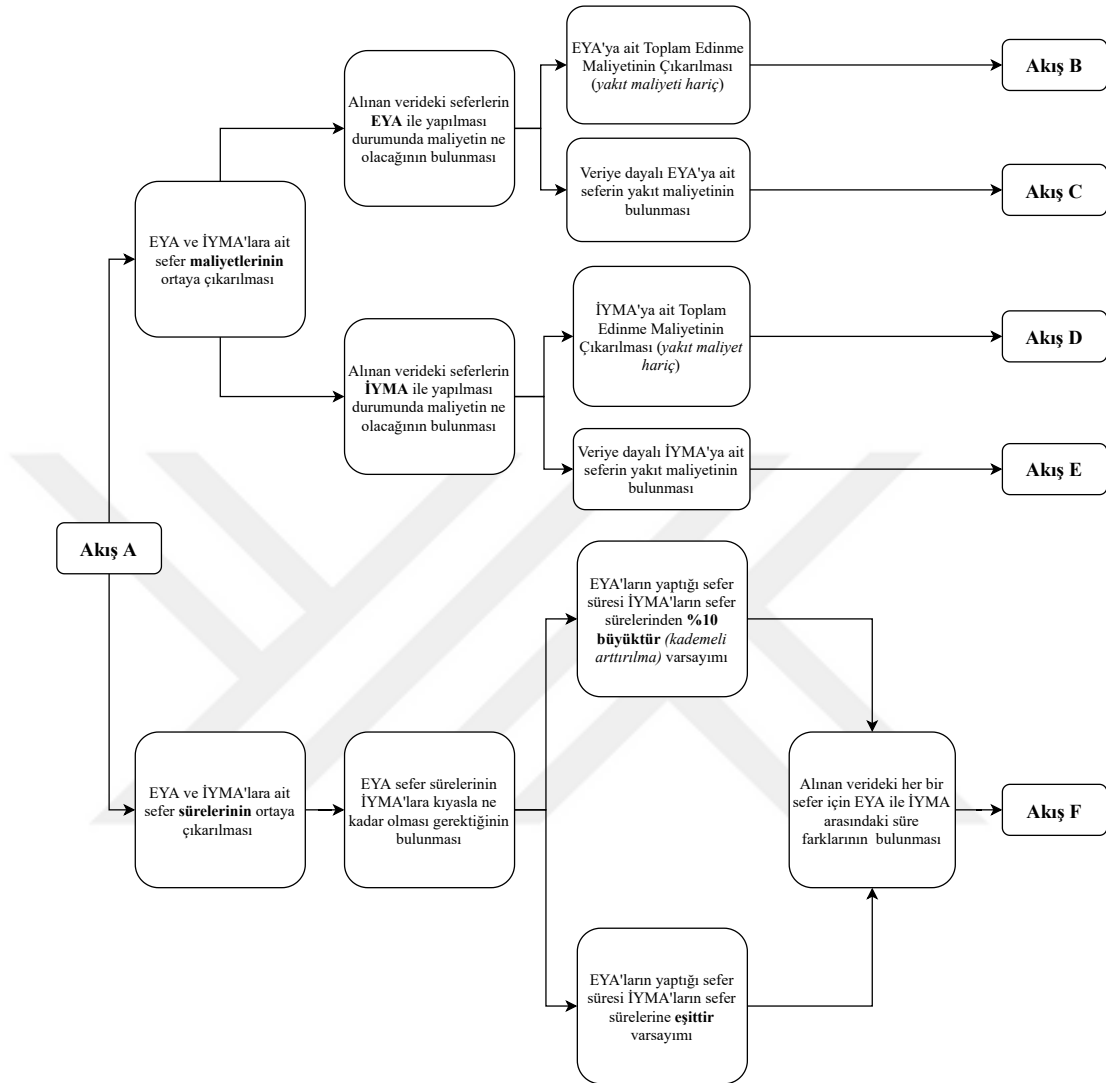


Şekil 4.1 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 1.

Şekil 4.1’de ifade edilen “Akış A” Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Bu akış, tercih modeline ait sonuçlara ulaşmak için gerekli olan bilgileri göstermektedir. Şekil 4.2’den görüldüğü üzere, seçim modeli sonucunu elde edebilmek için EYA ve İYMA ile yapılan seferlere ait maliyetler ve sürelerin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu çıkarılan maliyetler sonrasında her iki araç türü arasında maliyet farkı ve süre farkı alınarak seçim modeline girdi sağlanacaktır.

İlk olarak, EYA ile yapılan seferin maliyetini bulmak için elde edilmesi lüzum olan veriler; yakıt maliyeti hariç TEM ve firma verisine dayalı seferlere ait yakıt maliyetinin ortaya çıkarılmasıdır. Benzer şekilde, aynı aşama İYMA’lar için de gereklidir. Diğer taraftan EYA ve İYMA’ların gerçekleştirdikleri seferlere ait sürelerin ortaya çıkarılması bir ihtiyaçtır. Firmadan alınan veride İYMA’ların yapmış olduğu seferlere ait süreler bulunmaktadır. Bunun yanında EYA’larla gerçekleştirilmiş bir sefer olmadığından dolayı sefer süreleri beş farklı varsayım ile ortaya çıkarılmaktadır. Bu varsayımlar sırasıyla, EYA ait sefer sürelerinin İYMA’lara ait sefer sürelerine eşit ve %10 kademeli arttırılmasıyla oluşan senaryolardır. Senaryo 1, geleneksel araçların sefer süreleriyle EYA’larla yapılan seferler sürelerinin eşit olduğu senaryodur. Senaryo 2, 3, 4 ve 5’teki süre farkları, kademeli olarak arttırılan EYA sürelerinin geleneksel araçların sefer sürelerinin farklarına dayanmaktadır. Her bir varsayım

sonrasında seçim modeline girdi sağlamak için elde edilen EYA'lara ait sefer süreleri ile İYMA'lara ait sefer süreleri arasındaki fark alınmaktadır.



Şekil 4.2 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 2.

Şekil 4.2’de EYA'lara ait TEM’i elde etmek için “Akış B”in adımları Şekil 4.3’te gösterilmektedir. Bu şekilden görüldüğü üzere, araç satın alma maliyeti, vergiler, sigorta, bakım-onarım maliyetleri, araç ömrü ve batarya değiştirme maliyeti dikkate alınmıştır. Bu maliyetler, Breetz ve Salon (2018) binek EA’lar için geliştirmiş olduğu TEM matematiksel modelinden esinlenerek denklem 4.1’deki formüle girdi verilerek EYA'lara ait TEM değerleri elde edilmiştir.

$$TEM = SAF + V + \sum_{n=1}^{10} \frac{(MTV + S + BOM)}{(1 + r)^n} + \frac{(BM)}{(1 + r)^4} + \frac{(BM)}{(1 + r)^8} \quad (4.1)$$

TEM : Toplam edinme maliyeti

SAF : Satın alma fiyatı

V : Vergiler (KDV, ÖTV)

BM : Batarya değiştirme maliyeti

MTV : Motorlu taşıt vergisi

S : Sigorta maliyeti

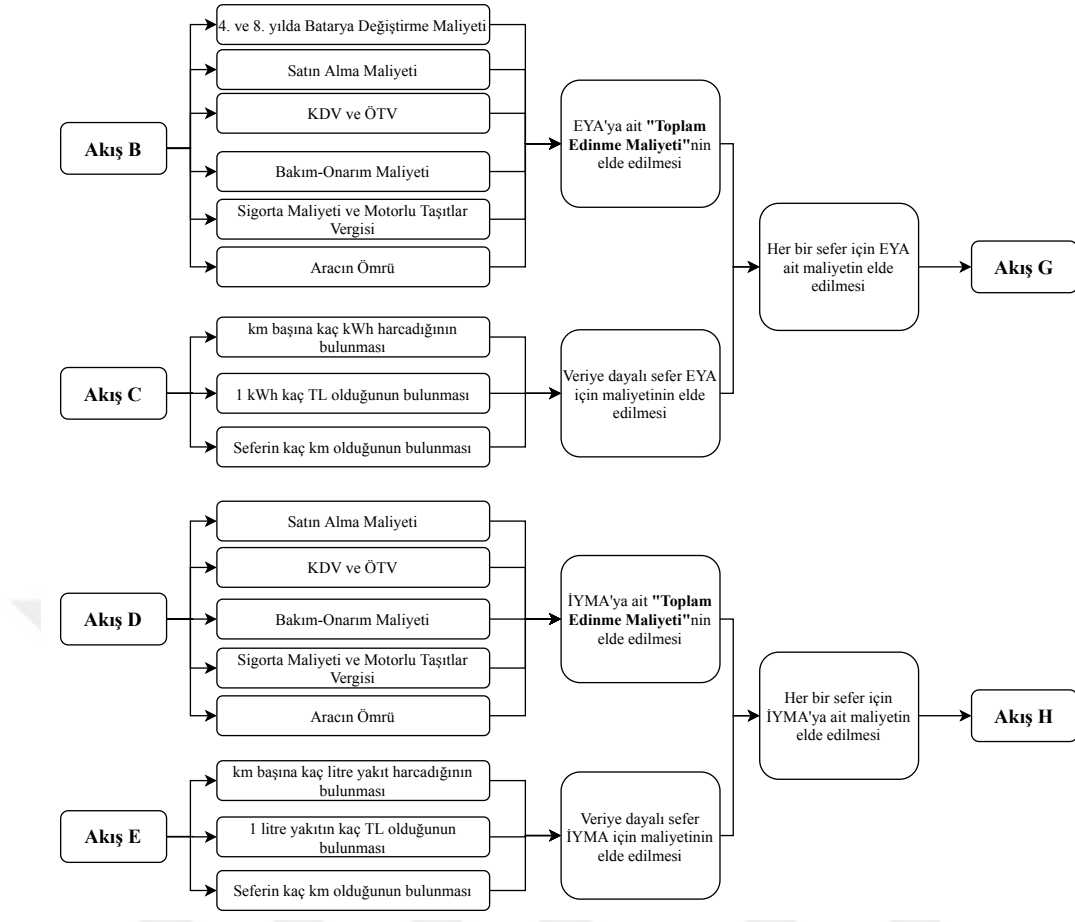
BOM : Yıllık bakım/onarım maliyeti

r : Faiz oranı

n : Araç ömrü

Denklem 4.1’de her bir araç türü için yapılan TEM hesabında bazı varsayımlar bulunmaktadır. Yeni alınan EYA ve İYMA’nın 10 yıl boyunca kullanıldığı varsayılmıştır. Breetz ve Salon (2018) yaptığı çalışmasında araçların kullanım ömürlerini 10 yıl olarak belirlemiştir. Buradan esinlenerek bu tezde bu değer 10 olarak alınmıştır. Bu formüldeki vergi maliyeti, Çizelge 2.4’te verilen vergi oranları dikkate alınarak hesaplanmıştır. EYA’lara MTV oranı İYMA’ların dörtte biri olacak şekilde hesaplamaya eklenmiştir. Yıllık bakım, onarım ve sigorta maliyeti firmalarla yapılan görüşmelerde elde edilen maliyetler temel alınarak hesaplamaya katılmıştır. EYA’ların 10 yıllık kullanımlarında dördüncü ve sekizinci yılda batarya değiştireceği varsayılmıştır.

Firmadan alınan sefer bilgileri dikkate alınarak, elektrikli araçların sahip olduğu yakıt maliyetlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda lüzumlu olan veriler “Akış C”de ifade edildiği gibi km başına kaç kWh tükettiği, 1 kWh’in kaç TL olduğu ve ilgili seferin uzunluğudur. Bu iki akıştan elde edilen veriler, elektrikli araçların firmadan alınan seferler bazında maliyetlerini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.3 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 3.

Öte yandan, İYMA'lara ait TEM ortaya çıkarılmasına yönelik adımlar "Akış D"de gösterilmektedir. Bu edinme maliyetini hesaplamak için dikkate alınan maliyetler; EYA'larla aynıdır (batarya değiştirme maliyeti hariç). Aynı şekilde denklem 4.1'deki formülle hesaplanmıştır. "Akış E" İYMA'lara ait yakıt maliyetini ortaya çıkaracak verileri göstermektedir. Lüzumlu olan veriler; ilgili İYMA'ların km başına kaç litre yakıt harcadığı, 1 litre yakıtın kaç TL olduğu ve sefer uzunluğunun kaç km olduğudur. "Akış D" ve "Akış E"den elde edilen verilerle her bir sefere ait toplam maliyet elde edilir. Denklem 4.2'de bir sefere ait maliyet formülü verilmiştir.

$$SM_i = \frac{TEM_i}{K} + YM_i \quad (4.2)$$

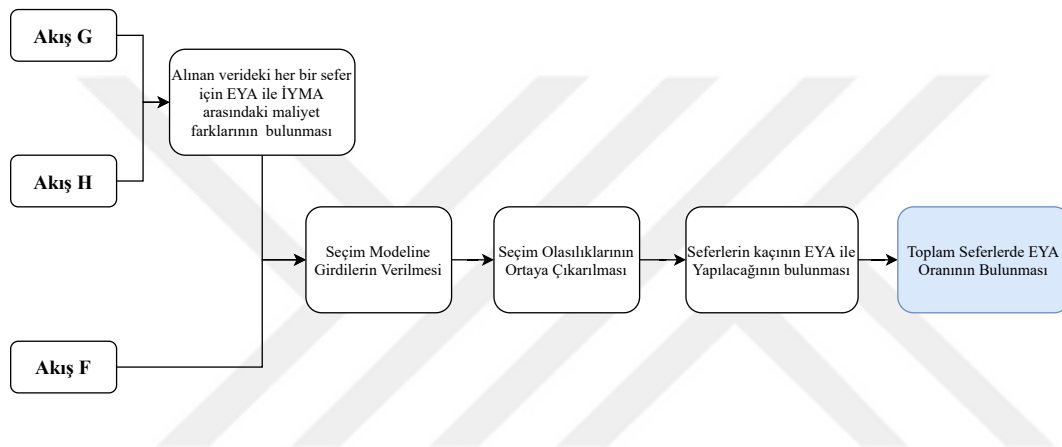
SM_i : i. tür araç için tipik bir sefer maliyeti

TEM_i : i. tür aracın toplam edinme maliyeti

K : 10 yıl boyunca yapılan toplam sefer sayısı

YM_i : i. tür aracın tipik bir seferinin yakıt maliyeti

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, her bir seferin elektrikli araçlı (“Akış G”) ve İYMA (“Akış H”) toplam maliyeti ile türler arası sefer maliyet farkları bulunmuştur. Bu bulunan maliyet farkı ile “Akış F”den gelen süre farklarının birleştirilmesiyle seçim modelinde kullanılacak girdilerin hazırlık süreci tamamlanmıştır. Daha sonra, her bir sefer için seçim modeline bu girdiler verilerek ilgili araç türünün seçilme olasılıkları hesaplanmıştır. Seçilme olasılıkları dikkate alınarak EYA’ların kullanılma potansiyeli bulunmuştur.



Şekil 4.4 : Yaygınlaşma oranı bulma yöntem akışı 4.

EYA’ların yaygınlaşma oranının bulunması için gerekli olan verileri ayrıntılı bir şekilde gösteren tüm akıştaki mavi kutucuklardaki veriler ile nihai sonuç elde edilmektedir.

4.1 EYA Yayılma Oranı Tahmin Sonuçları

Bir önceki bölümünde anlatılan yöntem adımları izlenerek İstanbul şehir içi yük taşımacılığindeki ve çalışma kapsamına alınan firmaya ait filodaki EYA’lara ait potansiyel yaygınlaşma oranı tahmin edilmiştir. İlk olarak İstanbul şehir içi yük taşımacılığına ait kullanılacak verilerin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Veri edinme sürecinde, doğrudan ve dolaylı ulaşılan veriler (seçim model sonucu) olmak üzere iki tür veri edinimi söz konusudur. Doğrudan olarak ulaşılan veriler; İMLP’den ve çalışma kapsamına alınan perakende firmasından elde edilen verilerdir. Bunlar, şehir içinde toplam sefer sayısı, yük ve mesafe seviyelerine göre sektör bazında sefer dağılımı ve araç türüne göre yıllık ortalama katedilen kilometredir. Bu bilgilere ulaşabilmek için haftalık sektör bazında araç türüne göre ortalama ve toplam taşınan

yük miktarına (İBB, 2018) ait veriden yararlanılmıştır. Sektörler bazında araç türlerine göre toplam yük miktarı Çizelge 4.1’de ve ortalama yük miktarı Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Haftalık araç türü ve sektör bazında toplam yük miktarı (ton) (İBB, 2018).

Sektör/Araç Türü	Tır	Kamyon	Kamyonet	Panelvan	Minivan
İmalat	284.658	128.924	177.430	38.460	10.012
İnşaat	130.161	22.981	37.334	6.667	1.808
Ulaştırma ve Depolama	563.039	74.574	94.198	16.718	1.949
Perakende Ticaret	116.349	122.072	389.967	106.505	40.262
Toptan Ticaret	338.421	74.474	210.214	46.999	14.679
Konaklama ve Yiyecek	11.006	19.544	85.281	21.210	9.679
Diğer	55.818	8.536	11.811	4.028	1.526

Çizelge 4.2 : Haftalık araç türü ve sektör bazında ortalama yük miktarı (ton) (İBB, 2018).

Sektör/Araç Türü	Tır	Kamyon	Kamyonet	Panelvan	Minivan
İmalat	15,97	8,79	1,29	0,58	0,27
İnşaat	18,85	9,70	1,29	1,00	0,28
Ulaştırma ve Depolama	19,77	8,70	1,48	0,63	0,28
Perakende Ticaret	12,47	7,69	1,29	0,57	0,30
Toptan Ticaret	17,51	7,89	1,33	0,57	0,29
Konaklama ve Yiyecek	15,96	6,69	0,98	0,41	0,21
Diğer	21,44	8,85	1,28	0,59	0,30

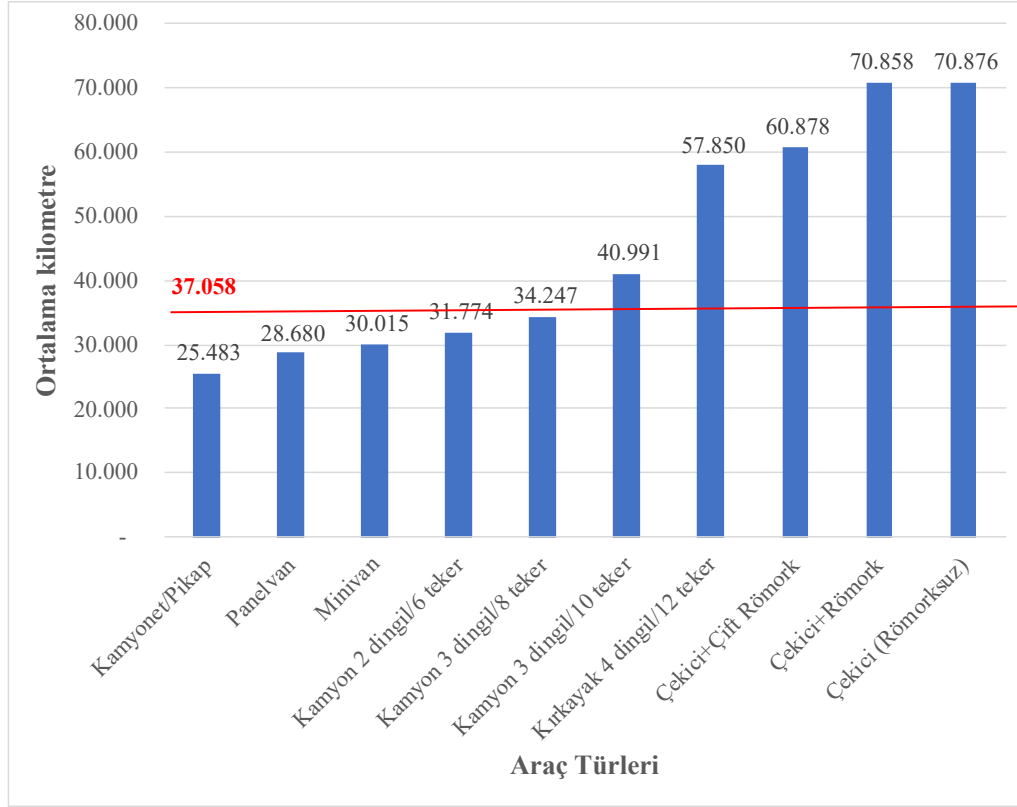
Bu veriler yardımıyla sefer sayıları ve dağılımları hesaplanmıştır. Tüm sektörler dahil edildiğinde ortalama günlük sefer sayısı 235,216 olarak bulunmuş ve sektör bazında araç türlerine göre sefer dağılımları Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Sektör bazında araç türlerine göre sefer dağılımları (%).

Sektör/Araç Türü	Tır	Kamyon	Kamyonet	Panelvan	Minivan	Toplam
İmalat	1,08	0,89	8,35	4,03	2,25	16,61
İnşaat	0,42	0,14	1,76	0,78	0,38	3,48
Ulaştırma ve Depolama	1,73	0,52	3,87	1,61	0,42	8,15
Perakende Ticaret	0,57	0,96	18,36	11,35	8,15	39,39
Toptan Ticaret	1,17	0,57	9,60	5,01	3,07	19,43
Konaklama ve Yiyecek	0,04	0,18	5,29	3,14	2,80	11,45
Diğer	0,16	0,06	0,56	0,41	0,31	1,50

İstanbul’daki EYA potansiyel kullanım oranını bulabilmek için çalışma kapsamında geliştirilen seçim modellerinden hangilerinin İstanbul’daki taşımacılığa uygun

olduğunun belirlenmesi gerekir. Şekil 4.5'te araç türlerine göre yıllık ortalama yapılan mesafeleri km cinsinden gösterilmiştir (İBB, 2018). Tüm araç türleri dikkate alındığında ortalama yıllık mesafe 37.058 km olarak görülmektedir.



Şekil 4.5 : Araç türlerine göre araçların ortalama yıllık kilometresi (İBB, 2018).

Bu bağlamda, ortaya çıkarılan sefer dağılımlarının çalışma kapsamında belirlenen yük ve mesafe seviyelerine göre sınıflandırılması yapılmıştır. Çizelge 4.2'den yararlanarak sektörler bazında seferlerin, yük seviyelerine göre dağılımları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüleceği üzere, İstanbul şehir içi yük taşımacılığında yapılan seferlerin %91,5'i 0-4 tonluk araçlarla (yani hafif ticari araçlarla) gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 4.4 : Sektör bazında yük seviyelerine göre sefer dağılımları (%).

Sektör/Araç Türü	0-4 ton	4-15 ton	>15 ton
İmalat	14,63	0,89	1,08
İnşaat	2,92	0,14	0,42
Ulaştırma ve Depolama	5,90	0,52	1,73
Perakende Ticaret	37,86	1,53	0,00
Toptan Ticaret	17,68	0,57	1,17
Konaklama ve Yiyecek	11,23	0,18	0,04
Diğer	1,28	0,06	0,16
Toplam	91,50	3,90	4,61

Benzer şekilde mesafe seviyelerine göre sefer dağılımlarını belirlemek için sefer başına araç türüne göre ortalama katedilen mesafenin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgiye ulaşabilmek için Şekil 4.5'te gösterilen araçların ortalama yıllık kattettiği kilometre bilgisi kullanılmıştır.

Bu veri Çizelge 4.5'te araç türleri kamyonet, panelvan, minivan, kamyon ve tır (kırkayak ve çekiciler) olarak özetlenmiştir. Bu çizelgeden bir araç türünün sefer başına yaptığı kilometre görülmektedir. Sefer başına yapılan kilometre değerleri tüm araç türlerinin yıllık 260 gün çalıştığı varsayımına dayalı olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında veri alınan firmadan alınan bilgiler ve yetkililer ile yapılan görüşmeler neticesinde sefer sayıları; tır 1.25 sefer/gün, kamyon 1.75 sefer/gün, kamyonet 2 sefer/gün, panelvan 2.5 sefer/gün ve minivan 2.5 sefer/gün olarak hesaplanmıştır (LC Waikiki Lojistik, 2019). Araç türlerinin sefer başına kaç km yaptığını bulmak için Denklem 4.3'te verilen formülden yararlanılmıştır.

$$SU_i = \frac{OYKK_i}{G * SS_i} \quad (4.3)$$

SU_i : i. türün sefer uzunluğu (km)

$OYKK_i$: i. türün ortalama yıllık katettiği km

G : Araç türlerinin bir yıl içerisinde çalıştığı gün sayısı

SS_i : i. türün gün içerisinde yaptığı ortalama sefer sıklığı

Çizelge 4.5 : Araç türü bazında yük seviyelerine göre sefer dağılımları.

Araç Türü	Ortalama Yıllık Katedilen Km	km/sefer
Kamyonet	25.483	49,01
Minivan	30.015	46,18
Panelvan	28.680	44,12
Kamyon	35.661	78,38
Tır	65.116	200,36

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 verilerinden yararlanılarak sektör ve araç türü bazında sefer sayısı bulunmuştur. Çizelge 4.5'teki sefer/km bilgisinden ve araç türü bazında bulunan sefer sayısı bilgisinden hareketle sektör bazında bu çalışma kapsamında belirlenen mesafe grupları için sefer dağılımları bulunmuştur ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Sektör bazında mesafe seviyelerine göre sefer dağılımları (%).

Sektör/Araç Türü	0-50 km	50-100 km	>100 km
İmalat	14,63	0,89	1,08
İnşaat	2,92	0,14	0,42
Ulaştırma ve Depolama	5,90	0,52	1,73
Perakende Ticaret	37,86	0,96	0,57
Toptan Ticaret	17,68	0,57	1,17
Konaklama ve Yiyecek	11,23	0,18	0,04
Diğer	1,28	0,06	0,16
Toplam	91,50	3,33	5,17

Tüm bu verilerden yararlanılarak İstanbul şehir içi yük taşımacılığında EYA oranını tespit etmek için çalışma kapsamında üretilen tercih modellerinden kullanılacaklar; Durum 1, 5 ve 9'a ait modellerdir. Çizelge 4.5'teki sefer başına km verisi dikkate alındığında, kamyonet, minivan ve panelvanın tipik bir seferine mesafelerinin 0-50 km mesafe grubuna girdiği görülmektedir. Aynı zamanda bu araç türlerinin ortalama taşıdığı yük miktarı 4 tonun altında (Bakınız: Çizelge 4.2) olduğu için 0-4 ton yük sınıfına girmektedir. Bu mesafe ve yük sınıfı dikkate alındığında, bu araç türleri için kullanılacak seçim modeli Durum 1'e ait modeldir. Benzer şekilde, kamyon türüne ait mesafe sınıfı 50-100 km ve yük sınıfı 4-15 tondur ve dolayısıyla bu araç türü için kullanılacak seçim modeli Durum 5'e ait modeldir. Aynı şekilde, tır için kullanılacak seçim modeli 100 km ve üzeri ve 15 ton ve üzeri sınıflarında taşımacılık yaptığı için Durum 9'a ait olmalıdır. Bu modellerden yararlanarak İstanbul'da mevcut durumdaki araçların ne kadarının elektrikli olabileceği hesaplanabilir.

Çalışma kapsamındaki firmaya ait filo ya da EYA potansiyel kullanım oranını bulmak için kullanılan firmanın İstanbul'daki mağazalarına olan aylık dağıtım verileri; araç türü ve araç kapasitesi, rotaya dahil olan mağaza sayısı, rota mesafesi, sefer süresi, sefer maliyeti ve taşınan yük miktarını içermektedir. Yük miktarı ve gidilen mesafeyle ilişkilendirilmiş aylık yapılan sefer sayıları, Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüldüğü üzere seferler, bu çalışma kapsamında belirlenen yük sınıfları çerçevesinde 0-4 ton ve 4-15 ton sınıflarına girmektedir. Yani, firma İstanbul mağazalarına 15 ton ve üzeri bir yükte sefer düzenlememektedir. Dolayısıyla, EYA potansiyel kullanım oranının tespiti için kullanılacak seçim modelleri Durum 1, 2, 5 ve 8'dir. Alınan veriye göre, firmanın günlük 25 farklı araç ile farklı mağaza gruplarına sefer düzenlemektedir. Bir diğer deyişle, 25 farklı rota bulunmaktadır ancak anlamlı olan modeller için veriler dikkate alındığında 21 farklı rota ile çalışmaya devam edilmiştir. Bu bağlamda firma, ay boyunca toplamda 615 sefer ve yıl boyunca 7380

sefer düzenlemektedir. Diğer taraftan, bu çalışma özelinde belirlenen mesafe grupların hepsinde dağıtım gerçekleşmektedir.

Çizelge 4.7 : Normal dönemde yük ve mesafelere göre sefer sayısı.

Yük Ağırlığı/Mesafe	0-50 km	50-100 km	>100 km	Genel Toplam
0-4 ton	80	-	-	80
4-15 ton	280	200	55	535
Toplam	360	200	55	615

EYA'ların Covid-19 pandemi dönemindeki (Nisan-Mayıs 2020) oranlarını ortaya çıkarmak için firmanın yapmış olduğu seferlere ilişkin bilgiler Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüleceği üzere, pandemi döneminde gönderim miktarı düşmüş ve daha küçük yüklerde farklı mesafelerde gönderim yapılmıştır. Pandemi dönemin potansiyel EYA'ların kullanımını belirlemek için Durum 1 ve 2'ye ait seçim modelleri kullanılmıştır. Pandemi verilerin bir kısmının Durum 4 (0-4 ton & 50-100 km) ve 7'ye (0-4 ton & >100 km) ait seçim modellerine kapsamına rağmen, bu modeller istatistiksel olarak anlamlı sonuç üretmediği kullanılamamıştır.

Çizelge 4.8 : Covid-19 pandemi döneminde yük ve mesafelere göre sefer sayısı.

Yük Ağırlığı/Mesafe	0-50 km	50-100 km	>100 km	Genel Toplam
0-4 ton	199	184	34	417
4-15 ton	1	-	-	1
Toplam	200	184	34	418

Yukarıda ifade edildiği gibi, İstanbul ve ilgili firma için EYA'ların potansiyel yaygınlaşma oranını ortaya çıkarabilmek için normal ve pandemi dönemindeki bir seferin mesafe ve yük miktarlarından hareketle EYA maliyetlerinin ortaya çıkarılması ve sonrasında kurulan seçim modeline girdi olarak verilmesi sonucunda hangi araç türünün seçilme olasılığının bulunması gerekmektedir.

Mevcut durumda, İstanbul'daki şehir içi yük taşımacılığı ve veri alınan firmanın tüm seferleri İYMA'larla yapılmaktadır. İlk olarak, firmadan alınan veride seferlerin yapıldığı hafif, orta ve ağır yük gönderilerin taşındığı üç farklı İYMA'lara karşılık, aynı taşıma ve araç özelliklerine tekabül eden üç farklı EYA seçilmiştir. Buradaki amaç, seçim modeli girdisi olan EYA ve İYMA ile yapılan seferlere ait maliyet ve süre farklarının ortaya çıkarılmasıdır. Bu kapsamda seçilen İYMA ve EYA'lar ve kullanım sürelerine göre TEM, Çizelge 4.9'da gösterilmektedir. Burada seçilen İYMA dizel yakıtlı, seçilen EYA'lar ise bataryalıdır.

Çizelge 4.9 : Araç türleri ve özellikleri.

Araç Yük Sınıfı	Araç Türü	Araç Markası	Yük Kapasitesi	TEM
Hafif	İYMA	Iveco Daily	3.5 ton	313.892 TL
	EYA	Electric Truck	3.5 ton	538.078 TL
Orta	İYMA	Mercedes Atego 1518	10 ton	688.865 TL
	EYA	Isuzu	10 ton	1.432.895 TL
Ağır	İYMA	Mercedes Actros	20 ton	1.050.157 TL
	EYA	Isuzu	20 ton	2.815.027 TL

Çizelge 4.9'daki TEM değerleri dikkate alındığında, EYA'lara ait değerler İYMA'lara kıyasla hafif yük sınıfında 1,7 kat, orta yük sınıfında 2 kat ve ağır yük sınıfında 2,7 kat olarak hesaplanmıştır.

EYA ile yapılan sefer maliyetini bulmak için ilk aşamada, araçların yakıt maliyeti hariç TEM ve firma verisine dayalı seferlere ait yakıt maliyeti ortaya çıkarılmıştır.

Çalışma kapsamında hesaplamaya dahil edilen üç farklı EYA'lara ait batarya kapasitesi hafif, orta ve ağır yük grubundaki araçlar için sırasıyla 79 kWh (Alibaba.com, 2020a), 217,2 kWh (Alibaba.com, 2020b) ve 236,7 kWh (Alibaba.com, 2020c) olarak alınmıştır. Denklem 4.1 yardımıyla hesaplanan çalışmaya dahil edilen araç türlerine ait TEM değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Yakıt maliyetleri, tipik bir sefere ait mesafe dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan verilerin kaynakları Çizelge 4.10'da gösterilmektedir. Firmadan alınan veriler doğrultusunda her yük grubuna ait iki araç türü için bakım-onarım maliyetleri farklılaşmaktadır. Bu maliyetler İYMA'lar için hafif yük grubundaki araçlarda 9.000 TL/yıl ve diğer yük kategorisindeki araçlar için ise 33.000 TL/yıl alınmıştır (Ekol Lojistik, 2019). Benzer şekilde, EYA'lar için hafif yük kategorisinde bakım-onarım maliyeti 3.365 TL/yıl ve diğer yük grupları için ise 12.347 TL/yıl olarak alınmıştır (Logtenberg et al., 2018). Ek olarak, her bir araç türü için sigorta maliyetleri eşit olarak alınmıştır. Ayrıca, Türkiye'de EYA'lara MTV ve ÖTV'de ayrıcalık tanınmaktadır. EYA'ların MTV'leri geleneksel araçların %25'i kadardır (URL-1) ve ÖTV oranı %15 olarak (URL-4) hesaplamaya dahil edilmiştir. TEM hesabında kullanılan r değeri %10 olarak alınmıştır. Bu değer 10 yıl boyunca bu oranda artacağını ifade eder ve bugünkü değer hesabında kullanılır. Bunlara ek olarak, İstanbul şehir içi yük ulaşımda hem elektrikli hem de İYMA'lar ile faaliyet gösteren bir lojistik firmasıyla yapılan görüşme sonrasında, hafif elektrikli yük araçlarının 0,20

kWh/km enerji tükettiği bilgisi alınmıştır (Hepsiexpress, 2019). Ayrıca, orta ve ağır yük kategorisindeki İYMA'ların tükettiği yakıt tüketim bilgisi, gerçekleşen maliyet ve tüketim bilgilerine ulaşmak adına nakliye firmalarının ve şoförlerin bulunduğu nakliye portalından alınmıştır (URL-5). Bu platformdan elde edilen bilgiye göre, orta ve ağır yük sınıfına ait bir araç sırasıyla, 17-20 l/100km ve 27-32 l/100 km yakıt tüketimi bulunmaktadır (URL-5).

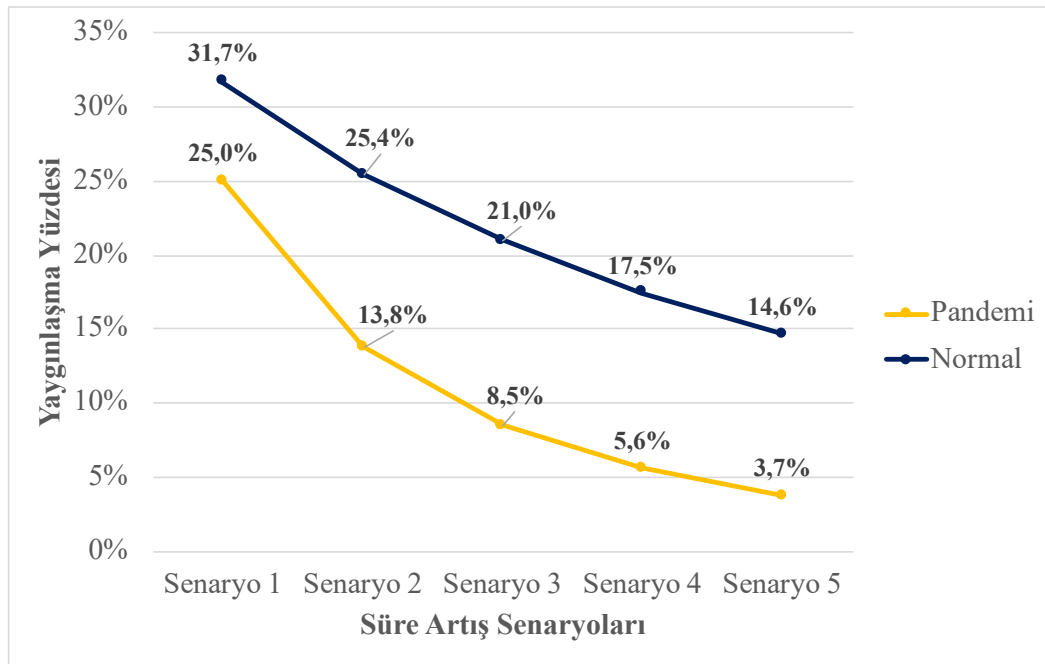
Çizelge 4.10 : TEM girdileri ve kaynakları.

Araç Türü	Veri	Veri Tanımı	Kaynak
Dizel	5,30 TL/l	Yakıt Fiyatı	(URL-6)
	9 l/100 km	Hafif Yük Sınıfı için Yakıt Tüketimi	(URL-7)
	17-20 l/100 km	Orta Yük Sınıfı için Yakıt Tüketimi	(URL-5)
	27-32 l/100 km	Ağır Yük Sınıfı için Yakıt Tüketimi	(URL-5)
	204.471 TL	Hafif Yük Sınıfı Satış Fiyatı (vergiler dahil)	(URL-8)
	428.557 TL	Orta Yük Sınıfı Satış Fiyatı (vergiler dahil)	(URL-9)
	789.799 TL	Ağır Yük Sınıfı Satış Fiyatı (vergiler dahil)	(URL-10)
	1,006 TL/kWh	Enerji Fiyatı	(URL-11)
	1.073 TL/kWh	Batarya Maliyeti	(Holland, 2019)
	79 kWh	Hafif Yük Sınıfına ait Batarya Kapasitesi	(Alibaba.com, 2020a)
EYA	217,2 kWh	Orta Yük Sınıfına ait Batarya Kapasitesi	(Alibaba.com, 2020b)
	236,7 kWh	Ağır Yük Sınıfına ait Batarya Kapasitesi	(Alibaba.com, 2020c)
	0,20 kWh/km	Hafif Yük Sınıfı için Yakıt Tüketimi	(Hepsiexpress, 2019)
	0,87 kWh/km	Orta Yük Sınıfı için Yakıt Tüketimi	(Prohaska ve diğ., 2016)
	1,15 kWh/km	Ağır Yük Sınıfı için Yakıt Tüketimi	(Earl ve diğ., 2018)
	246.240 TL	Hafif Yük Sınıfı Satış Fiyatı (vergisiz)	(Alibaba.com, 2020a)
	680.400 TL	Orta Yük Sınıfı Satış Fiyatı (vergisiz)	(Alibaba.com, 2020b)
	1.720.000 TL	Ağır Yük Sınıfı Satış Fiyatı (vergisiz)	(Alibaba.com, 2020c)

Hesaplamalarda 6,52 TL/dolar kuru kullanılmıştır (URL-12). Her sefer için İYMA ve EYA kullanımı durumunda ortaya çıkacak maliyetlerin farkı, seçim modelinin ilk değişkenini oluşturmaktadır.

Diğer taraftan EYA ve İYMA'ların gerçekleştirdikleri seferlere ait sürelerin ortaya çıkarılması için firmadan alınan, İYMA'ların yapmış olduğu seferlere ait süreler kullanılmıştır. Dördüncü bölümün başında da bahsedildiği gibi EYA'larla gerçekleştirilmiş sefer bulunmadığından dolayı, çalışma kapsamına alınan firmanın filosuna ait araçların sefer süreleri, temel deneyde İYMA sürelerine eşit kabul edilmiş ve 0,10 olarak kademeli arttırılarak beş farklı senaryo oluşturulmuştur. Bulunan EYA oranları bu senaryolar bazında ileride sunulmuştur. Firmadaki ve İstanbul şehir içi yük taşımacılığındaki iki araç türü arasındaki sefer süresi fark senaryoları, farklı sektörleri içermesi ve sektörler arasında tipik bir seferdeki süre farklılığı olmasından dolayı, EYA'ların sefer süreleri İYMA sefer sürelerine eşit ve 25-30 dakika olacak şekilde kademeli arttırılmıştır. Tüm bu senaryoların oluşturulma nedeni, şarj etme sürelerinin uzunluğu ve şarj etme imkanlarının kısıtlı olduğu varsayımdır.

Üçüncü bölümde bahsedilen seçim modelleri dikkate alınarak çalışma kapsamına alınan firmaya ait normal ve pandemi döneminde filoda EYA oranı Şekil 4.6'da gösterildiği şekilde elde edilmektedir.

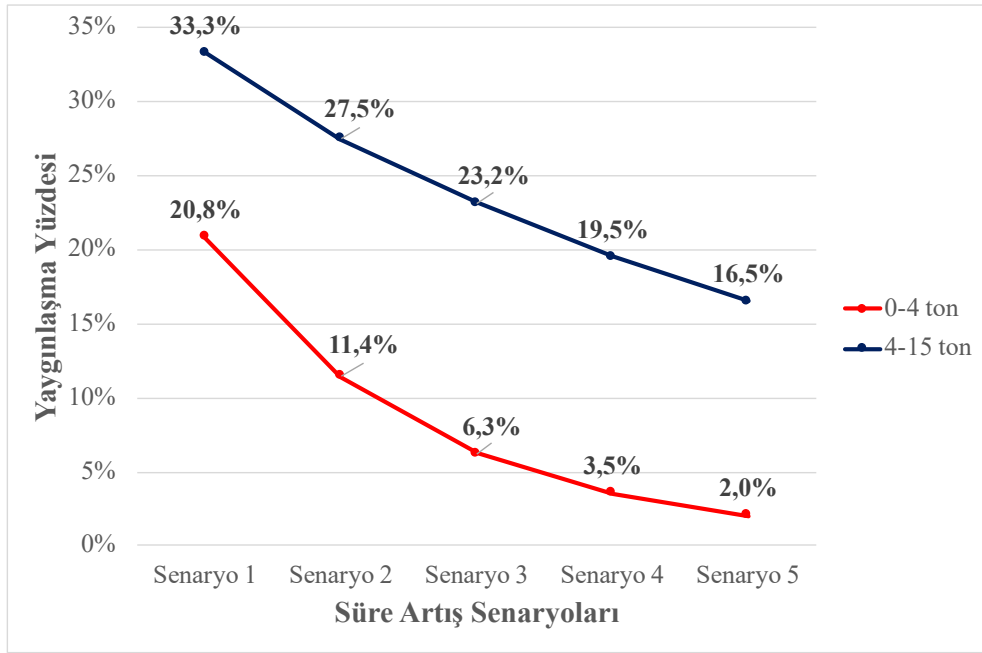


Şekil 4.6 : Firma için normal ve pandemi döneminde senaryo bazlı EYA oranı.

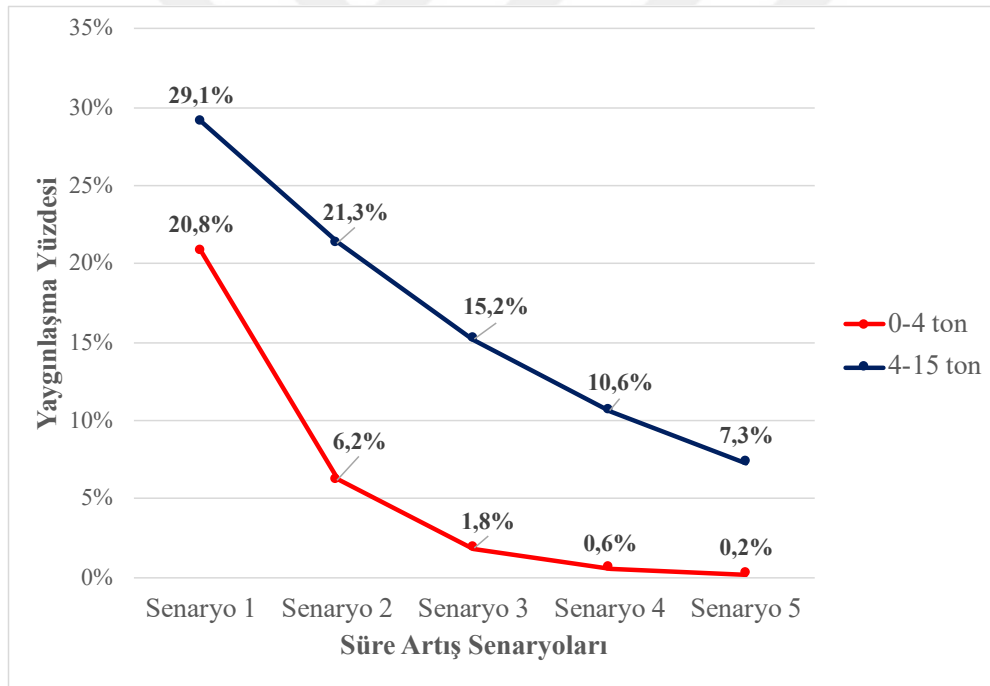
Şekil 4.6'dan görüleceği üzere, EYA'larla yapılacak seferlerin süreleri, İYMA'ların sürelerinden kademeli olarak arttırıldığında, EYA'ların seferlerde potansiyel kullanılma oranları kademeli olarak düşmektedir. İki araç türüne ait seferlerin süreleri eşit olduğunda, firmaya ait seferlerin %31,7'nin EYA ile yapılması mümkün olduğu bulunmuştur. Eğer EYA'ya ait sefer süresinin, İYMA'lardan %10 fazla olması durumunda, seferlerin %25,4'ü EYA ile yapılabilir. Diğer taraftan, bu süre kademeli olarak arttırıldığında ise sırasıyla, firmaya ait seferlerin %21,0'ı, %17,5'i ve %14,6'sı EYA'lar ile yapılmaktadır. Pandemi döneminde EYA'ların potansiyel kullanımı normal zamana göre düşük seyretmiştir. Bunun nedeni, Çizelge 4.8'deki pandemi verileri dikkate alındığında gönderilerin büyük bir oranı hafif yük kategorisinde gerçekleşmiş olmasıdır. Dolayısıyla, pandemi döneminde EYA'ların yaygınlaşması normal döneme göre daha az olduğu bulunmuştur.

Şekil 4.6'da verilen oranlar yük seviyeleri bazında kırıldığında Şekil 4.7'deki oranlar ortaya çıkmıştır. Hafif ticari araçlarda İYMA ile EYA'ların sefer sürelerinin eşit olduğu senaryoda seferlerin %20,8'i EYA'lar ile yapılabilir olarak bulunmuştur. Sürelerin kademeli olarak arttırıldığı senaryolarda bu oran sırasıyla %11,4, %6,3, %3,5 ve %2,0'dır. Benzer şekilde senaryolar dikkate alındığında, orta yük sınıfındaki EYA oranları sırasıyla; %33,3, %27,5, %23,2, %19,5 ve %16,5 olarak bulunmuştur. Hafif ve orta yük sınıfında EYA oranları değişkenlik göstermekle birlikte dizel araçlarla farklılaşan süreler de farklı tepkiler vermektedir. Şekil 4.7'deki grafiğe bakıldığında, hafif yük sınıfındaki araçların sefer sürelerindeki artışlar sonrasında, EYA'ların potansiyel kullanma oranında keskin düşüşler yaşanırken, orta yük sınıfında bu durum daha yumuşak bir düşüşle gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, hafif ticari EYA ile İYMA arasındaki sefer sürelerinin eşit olması veya EYA'lara ait seferlerin daha az olması EYA'ların yaygınlaşma oranına dramatik katkı sağlamaktadır.

Şekil 4.8'de ise pandemi dönemindeki yük bazlı potansiyel EYA kullanım oranları verilmiştir. Hafif yük araç kategorisinde sefer süreleri arttırıldıkça keskin bir düşüş görülmektedir. Ayrıca, Senaryo 1 bazında normal ve pandemi döneminde EYA yaygınlaşma oranı %20,8 çıkmıştır. Pandemi döneminde gönderilerin orta yük sınıfından hafif yük sınıfına kaydığı için normal dönemle benzer oranda çıktığı düşünülebilir. Aynı durum, orta yük kategorisindeki araçlar için de geçerlidir. Normal döneme kıyasla orta yük kategorisinde EYA oranları sefer süreleri arttıkça pandemi döneminde daha keskin düşmektedir.



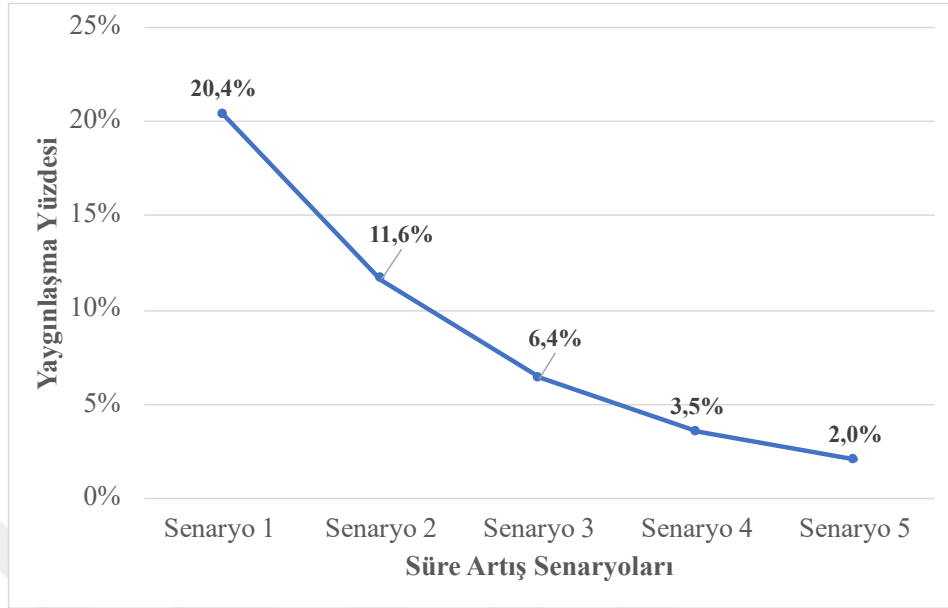
Şekil 4.7 : Normal dönemde senaryo bazlı yük seviyelerine göre EYA oranı.



Şekil 4.8 : Pandemi döneminde senaryo bazlı yük seviyelerine göre EYA oranı.

İstanbul şehir içi yük taşımacılığında EYA'ların potansiyel yayınlaşma oranı, senaryolara göre Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Gösterilen EYA oranları, senaryolar bazında her bir yük kategorisindeki sefer sayısına göre alınan ağırlıklı ortalama değerleridir. İYMA ile EYA'ların sefer sürelerinin eşit olması durumunda, İstanbul'da kent içi yük taşımacılığının %20,4 EYA ile yapılabilir sonucu ortaya çıkmaktadır.

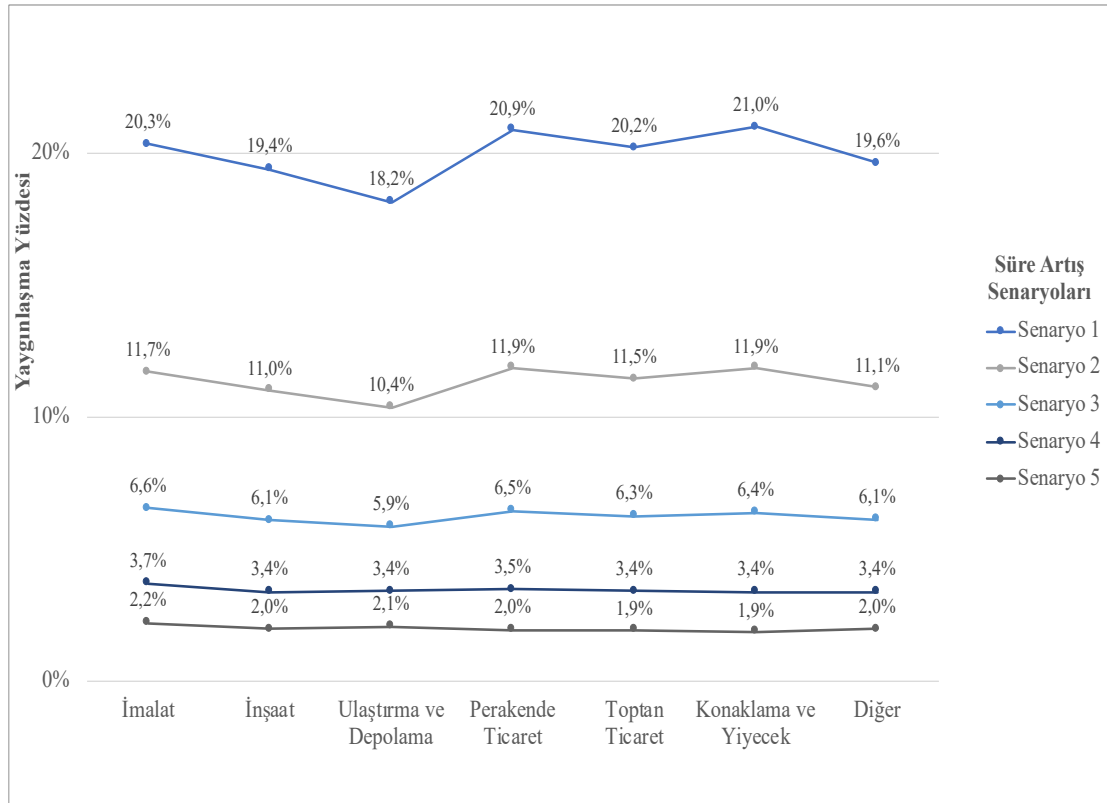
EYA sefer süreleri kademeli olarak arttırıldığında, kent içindeki EYA oranı %11,6'dan %2,0'a kadar düşmektedir.



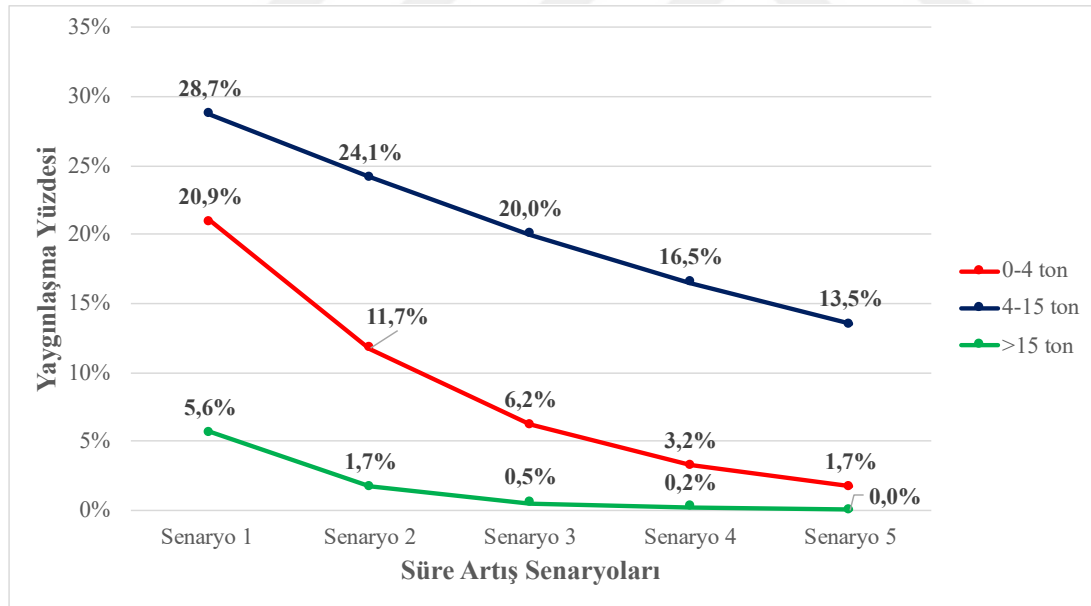
Şekil 4.9 : İstanbul kent içi lojistik için senaryo bazlı EYA oranı.

Şekil 4.10'da sektörler temelinde potansiyel EYA oranları senaryolara göre gösterilmiştir. Her bir sektörün taşıma ağırlığı ve mesafesi değişkenlik gösterdiğinden dolayı sektörler için EYA oranları değişkenlik göstermektedir. Sektörler dikkate alındığında imalat, perakende, ticaret ve konaklama ve yiyecek sektörlerine ait taşımacılıklara EYA'ların diğer sektörler için daha yüksek oranda yaygınlaşabileceği bulunmuştur. Senaryo 1'e göre bu sektörlerde EYA yaygınlaşma oranının %20'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Şehir içi taşımacılıkta bu sektörler için oranların diğer sektörler için yüksek çıkmasının nedenleri arasında hafif yük kategorisinde taşımacılığa uygun olması yer alabilir.

Diğer yandan, yük seviyeleri temelinde İstanbul kent içi yük taşımacılığında potansiyel EYA oranı Şekil 4.11'de gösterildiği şekilde bulunmuştur. Ağır yük sınıfına ait taşımaların ilk üç senaryoda diğer yük sınıflarındaki taşımacılığa göre düşük olduğu görülmektedir. Ancak EYA ile yapılan sefer süresi keskin arttığı durumda (Senaryo 3 ve 4) potansiyel EYA oranında hafif bir düşüş görülmektedir. Orta yük sınıfındaki araçların potansiyel EYA kullanılma oranı, diğer yük sınıfındaki araçlara kıyasla daha yumuşak bir şekilde düşmektedir. Hafif yük sınıfına ait EYA oranları, EYA sefer süresinin her arttırıldığı kademede dramatik bir azalma göstermiştir.



Şekil 4.10 : İstanbul kent içi lojistik için senaryo bazlı EYA oranı.



Şekil 4.11 : İstanbul için senaryo bazlı yük seviyelerine göre EYA oranı

Bir seferin süresi arttıkça hafif yük araçları grubunda potansiyel EYA kullanım oranı dramatik bir şekilde düşmesi elde edilen bir iç görüdür. Orta yük sınıfına ait araçların sefer sürelerinin artmasıyla keskin bir düşüş gözlenmemiştir. Dolayısıyla, orta yük sınıfındaki araçların potansiyel EYA oranının artması ve azalması maliyetle ilgili bir

durum olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.7 ve Şekil 4.10'daki grafiklerden çıkarılan içgörüler sonuç kısmında tartışılmıştır.

4.2 Emisyon Azalma Yüzdesi Tahmini

Bir önceki bölümde kestirilen EYA oranları temel alınarak, senaryolar altında mevcut durumdaki emisyon miktarının ne kadar azalacağını tahmin etmek mümkündür. Bu tahmini yapabilmek için birtakım verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler; bir İYMA'nın kullanımı süresince ortaya çıkan emisyon miktarı (g-CO₂/km) ve aynı şekilde bir EYA'nın ortaya çıkardığı emisyon miktarıdır (g-CO₂/km). Bu hesaplamaları yapabilmek için Çizelge 4.10'da belirtilen araç türlerine göre İYMA yakıt tüketim (l/km) ve EYA yakıt tüketim (kWh/km) verilerinden yararlanılmıştır.

Bir ülkenin elektrik üretim karışımının ortalama CO₂ yoğunluğu tahmin edilir ve AB tarafından üretilen mega-joule elektrik başına salınan gram CO₂ sayısı olarak ortaya çıkarılır. Türkiye için sera gazı emisyon katsayısı 159 g-CO₂ / MJ olarak verilmiştir (URL-13). Çizelge 4.10'da verilen araçların enerji tüketimi ile bu rakamı g-CO₂/km'ye çevrilmiştir. Dizel araçların ortalama CO₂ emisyonları Ec scor (2020) tarafından 2640 g-CO₂/l olarak sağlanan standart değerlere dayanmaktadır (URL-14). Hem dizel araçlar hem de EYA'lar için eşdeğer g-CO₂/km emisyonları Çizelge 4.11'deki gibi hesaplanmıştır.

Emisyon değişim oranının hesaplanmasında, denklem 4.4 ve denklem 4.5'te yararlanılmıştır. Denklem 4.4'te filoların tamamının dizel araçlardan olduğu varsayımına dayanarak mevcut durumda toplam emisyon miktarının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$E_{MD} = SKM * EM_i \quad (4.4)$$

E_{MD} : Mevcut durumun emisyon miktarı

SKM : Araçların veri alınan yılda yapmış olduğu km/sefer

EM_i : i. araç türü (dizel) için g-CO₂/km

Denklem 4.5'te elde edilen EYA oranı kadar filoların elektrikli olacağını varsayımı altında, yeni durumda toplam emisyon miktarının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$E_{YD} = p * SKM_i * EM_i + (1 - p) * SKM_i * EM_i \quad (4.5)$$

E_{YD} : Yeni durumun emisyon miktarı

SKM_i : i. araç türü için veri alınan yılda yapmış olduğu km/sefer

EM_i : i. araç türü için g-CO₂/km

p : EYA yaygınlaşma oranı

Denklem 4.6'da elde edilen emisyonların mevcut duruma göre nasıl değiştiğini gösteren formül verilmiştir.

$$\Delta E \% = \frac{(E_{YD} - E_{MD})}{E_{MD}} \quad (4.6)$$

Bu verilerle çalışma kapsamına alınan firma ve İstanbul için bir önceki bölümde açıklanan EYA oranı ve sefer bilgileri kullanılarak mevcut duruma göre emisyon miktarında ne kadarlık bir azalma meydana gelebileceği bulunmuştur. Bu çizelgedeki veriler yardımıyla, elde bulunan sefer bilgileriyle (rota uzunluğu) toplam emisyon miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken tüm araçların İYMA olduğu durum (mevcut durum) ile EYA ve İYMA'ların birlikte bulunduğu duruma (yeni durum) ait emisyon miktarları hesaplanmıştır.

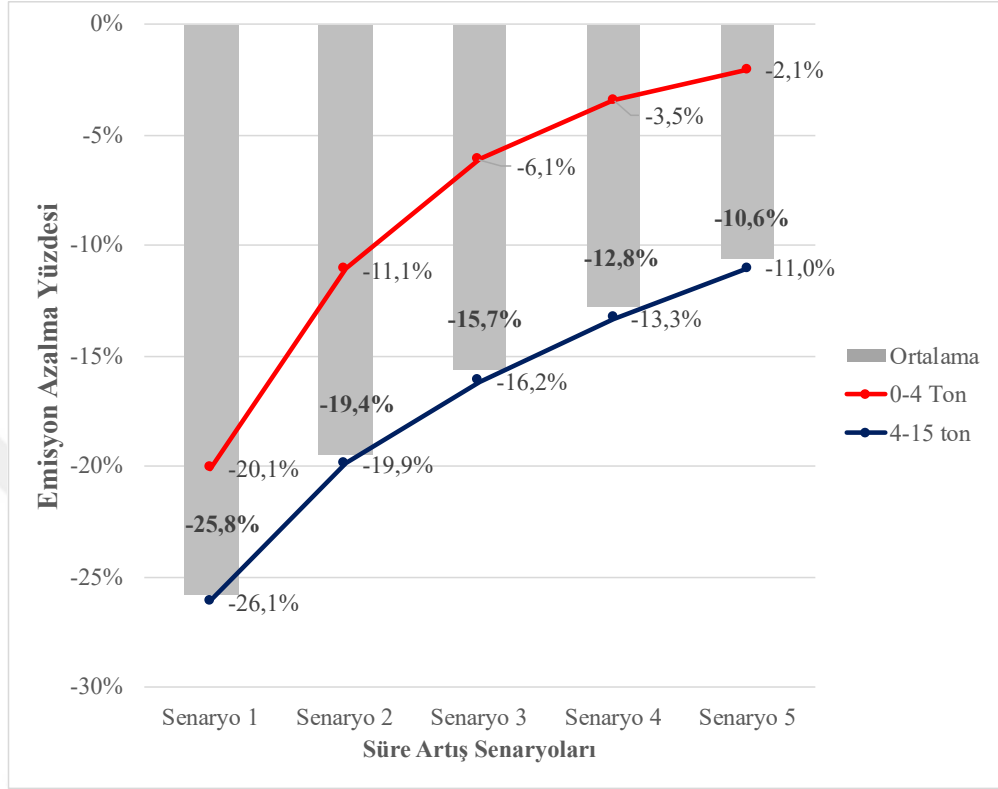
Çizelge 4.11 : Dizel ve elektrikli araçlara ait emisyon miktarı.

Araç Türü/Yakıt Tipi	Elektrik	Dizel
Hafif	8,83 g-CO ₂ /km	241,20 g-CO ₂ /km
Orta	38,43 g-CO ₂ /km	455,60 g-CO ₂ /km
Ağır	50,80 g-CO ₂ /km	723,60 g-CO ₂ /km

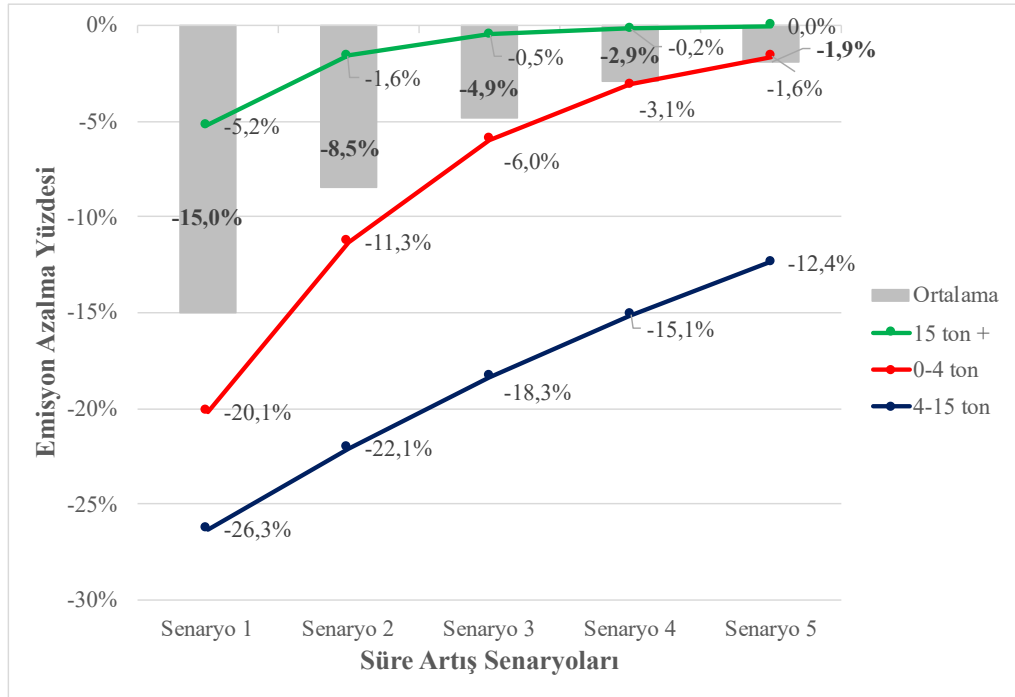
Perakende firması ve İstanbul pilot bölgesi için emisyon miktarında ne kadarlık bir değişim olacağı bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan emisyon oranları perakende firması için Şekil 4.12'de ve İstanbul şehir içi yük taşımacılığı için Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

Şekil 4.12'den görüleceği üzere, firmaya ait filonun mevcut durumda oluşturduğu emisyon miktarının, senaryolar dikkate alındığında normal dönemde %25,8 ile %10,6

arasında bir azalma göstereceği tahmin edilmiştir. Emisyondaki düşüş, özellikle 4-15 ton ağırlık kategorisinde EYA'ların daha yüksek potansiyel kullanımına bağlı olarak, daha yüksek tonajlar için daha önemlidir.



Şekil 4.12 : Firma için senaryo bazlı emisyon miktarı azalma (%).



Şekil 4.13 : İstanbul kent içi yük taşımacılığı için senaryo bazlı emisyon miktarı azalma (%).

Şekil 4.13'te gösterildiği üzere, İstanbul'da yapılan şehir içi yük taşımacılığında, İYMA'larla EYA'ların sefer süreleri eşit varsayıldığı durumda, emisyon miktarlarında mevcut duruma göre yaklaşık %15 oranında bir azalma beklenmektedir. Diğer senaryolar dikkate alındığında bu oran %8,5 ile %1,9 arasında bir azalmaya denk gelmektedir. Burada emisyon azalma miktarı, tüm İstanbul emisyonunun azalma oranı olmayıp İstanbul'daki kent içi yük taşımacılık sektörünün neden olduğu emisyon miktarındaki azalmayı temsil etmektedir. Benzer şekilde, Şekil 4.11'de gösterilen firma filosuna ait azalma oranları da firmanın mevcut durumda neden olduğu emisyon miktarındaki azalmayı ifade etmektedir.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, EA'ların şehir içi yük taşımacılığında potansiyel yaygınlaşma oranını tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Pilot bölge kapsamındaki bulgular (Şekil 4.7 ve Şekil 4.9), EYA'ların şehir içi yük taşımacılığında mevcut durumdan çok daha yüksek bir oranda kullanılabileceğini göstermektedir. Böylelikle, “*Kent içi yük taşımacılığında EYA kullanım potansiyeli nedir?*” araştırma sorusuna cevap verilmiştir. Elde edilen yaygınlaşma oranları dikkate alınarak kent içi emisyonun ne kadarlık bir azalma göstereceği bu çalışmanın bulguları arasındadır. Bu çalışmayla, günümüzde Türkiye’de bu alandaki gelişmelerin ve çalışmaların sadece binek EA seviyesinde tartışıldığı bu dönemde, yük taşımacılığına uygunluğunun olup olmadığının tartışılacağı bir bilimsel tartışma ortamı hazırlanmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, filolarda EYA'ların benimsenmesinde sefer süresi ve maliyetinin önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Figenbaum (2018), yalnızca maliyet dikkate alındığında, Norveç’te yük taşıma filolarında kullanılan İYMA'ların %42'sinin EYA'larla değiştirilebileceğini bulmuştur. Benzer şekilde, Macharis ve diğ. (2013) ve Morganti ve Browne (2018), özellikle hafif yük taşımacılığında EYA'lar için nispeten yüksek bir benimsenme olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, sefer süresi faktörünün ihmal edilmesinin, kentsel yük taşıma filolarında EYA'ların potansiyel benimsenme oranının olduğundan daha fazla tahmin edilmesine neden olabileceğini göstermektedir.

Şirket filosuna ait sonuçlar, EYA'ların %33'e kadarının yük taşıma araçlarının filolarında kullanılabileceğini gösterse de mevcut filodaki EYA'ların oranı neredeyse sıfırdır. Tahminler ile gerçekleştirmeler arasındaki farkı sadece zaman faktörüyle açıklamak zordur. Teorik olarak, elektrikli ve geleneksel seferler arasındaki süre farkı, sürüş hızından ve şarj için gereken ekstra zamandan kaynaklanmaktadır. Tipik bir EYA'nın menzili genellikle 170 kilometre civarındadır (Figenbaum, 2018). Yolculuk süresi içinde şarj edilmesi gereken bu aralıktan daha uzun bir yolculuk, toplam yolculuk süresini artırmaktadır. Ancak, yolculukların günlük ortalama kilometresi tipik bir EYA aralığının altında olduğu için şarj nedeniyle bir süre artışı beklenebilir.

Benzer şekilde, şehir içi ulaşım bağlamında, araçların ortalama hızı, araçların maksimum hızına göre değil, şehir içindeki trafik akış hızına göre belirlenir ki bu genellikle araçların hız sınırlarına göre çok düşüktür.

EYA'ların filoda yüksek oranda bulabileceği bulgulanmasına rağmen, oranların düşük olmasının nedenlerinden biri firmalara ait altyapı eksikliği (Browne ve diğ., 2012) ve örgütsel koşulların (Wikström ve diğ., 2016) yetersizliği olabilir. Depo içerisinde kurulacak şarj istasyonları için uygun alanların olmaması bu altyapı eksikliklerine bir örnektir. Ayrıca depo içerisinde kurulacak şarj istasyonları için uygun alanlar olsa bile firmanın bu şarj istasyonlarının kurulum maliyetlerini karşılama bütçesi olmayabilir. Bu çalışma kapsamına şarj istasyonu kurma maliyetleri alınmamıştır. Diğer taraftan, firmanın EYA'ları bünyelerine katması durumunda, sürecin işletme açısından pürüzsüz bir şekilde uygulanabilmesinde algılanan operasyonel zorluk (Kaplan ve diğ., 2016, Matgaritis ve diğ., 2016) veya yeni teknolojilere karşı oluşan organizasyonel direnç (Sierzhula ve diğ., 2014) diğer nedenler olabilir. Kurumlarda, yeni bir teknolojinin benimsenmesi ile ilgili değişiklikler genellikle eylemsizlik veya çalışan direnci ile karşılaşmaktadır (Kleindorfer ve diğ., 2012). Bu bağlamda, firmanın yükleneceği EYA'ları şarj etme çizelgelemesi, depolara şarj etme istasyonlarının kurulumu, daha akıllı rotaların planlanması vb. ek iş yüklerinin karşılanması önemlidir. EYA'ların fiziksel olarak filoya katılmasının işletmeye getireceği organizasyonel yüklerin hesaba katılarak işletme için uygunluğunun değerlendirilmesi bu çalışma kapsamına alınmamıştır. Öte yandan, firmanın kamusal imajını veya örgütsel faydasını (Globisch ve diğ., 2018a) güçlendirecek çevre duyarlılığına sahip olan kişilerin, karar vericileri ikna edememesi veya etkileyememesi de EA'ların filoda bulunmamasını açıklayabilir.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.11'deki grafikler dikkate alındığında, hafif yük araç kategorisinin sefer süresine karşı duyarlı olduğu görülmektedir. Bu iç görüş, firmaların hafif yükleri kısa sürede müşteriye ulaştırma amacı ve diğer firmalarla rekabeti göz önüne alındığında anlamlıdır. Özellikle günümüzde dağıtım sıklığı ve hacmi gittikçe artan e-ticaret aktiviteleri (Fiori ve Marzano, 2018) ile firmalar herhangi bir seferin zaman duyarlılığını göstermektedir. Kısa sürede teslim ile birlikte müşteri memnuniyeti sağlanarak firmanın değer algısının artması ile firma rakipleriyle mücadele edebilmektedir. Dolayısıyla, EYA'lara ait seferlerin uzaması doğal olarak firmanın seferlerinde EYA kullanma tercihini etkilemektedir ve bir seferin süresinden ödün

vermeden ürünlerini müşterilere ulaştırmak istemeleri açısından kabiliyetlerini geliştirmektedir. Ayrıca lojistik firma uzmanlarıyla yapılan görüşmelerden elde edilen iç görüleri istinaden hafif yük araçlarının kapasiteleri sınırlıdır ve gün içerisinde mümkün olduğunca hızlı sefer yaparak maksimum sefer sayısına ulaşması gerekmektedir. Bu bağlamda, EYA ile yapılan sefer sürelerinin uzaması, bu tip araçların gün içerisinde muadil İYMA ile yapılan sefer sayısına ulaşamayabilir. Bu durum, firma tarafından EYA'ların tercihini etkileyecek ve süre arttıkça EYA kullanma oranının düşmesine neden olacaktır. Orta yük kategorisindeki EYA kullanım oranı zamana göre hafif yük araçlarına göre daha az duyarlıdır. Bu tip EYA'ların kullanımlarında süre duyarlılığının azalmasının nedeni, bu sınıftaki yük taşımacılığının taşıdığı yük miktarının görece artmasıdır. Bir diğer deyişle, bu araçların bir seferde hafif ticari araçların taşıdığı miktarın ortalama üç katı kadar yük taşıyabilmesi ile bu duyarlılık ortaya çıkmıştır.

Bu sebepler dışında orta ve hafif yük kategorisindeki EYA kullanımının düşük kalmasının bir diğer nedeni, firmaların ihtiyacı karşılayacak nitelikte EYA'ların üretilmemesi olabilir. Ticari EYA çeşitleri sınırlıdır ve firmaların değişen araç özellik talepleri (gıda, inşaat taşımacılığı vb.) tam olarak karşılanmamaktadır (Altenburg ve diğ., 2017, Wang ve diğ., 2018). En düşük EYA kullanım oranını ağır yük sınıfında gerçekleştirmiştir. Camilleri ve Dablanc (2017) ve Lebeau ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışmada 80 km üstü planlanan rotalarda EYA'ların daha uygun olduğu sonucuyla, dördüncü bölümde 15 ton ve üzeri (ortalama 200 km) için gösterilen yüksek EYA kullanım oranı ile çelişmektedir. Çalışma kapsamı şehir içi yük taşımacılığı olduğu ve yapılan anket (seçim modeline girdi olan) bu alanda tecrübeleri olan kişiler tarafından cevaplandırıldığı için ağır yük taşımacılığındaki uzun mesafeli yolculuklara ilişkin tecrübeleri sınırlı olabilir. Bu sonuç, ağır yük ve uzun mesafeli EYA'ların farklı açıdan veya değişkenlerle değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir.

Teslimata bağlı CO₂ emisyonlarının, İYMA'ların sadece küçük bir kısmının EYA'larla değiştirilmesiyle önemli bir miktarda düşürülebileceği bulunmuştur. Böylelikle, bu çalışmanın ikinci araştırma sorusu “*Elde edilen potansiyel EYA kullanım oranıyla emisyon ne kadarlık değişim olur?*” cevaplanmıştır. Genel ulaşım operasyonlarının hava ve gürültü emisyonlarının %40'ını oluşturduğu göz önüne alındığında (Nowakowska-Grunt ve Strzelczyk, 2019), bu önemli bir politika

çıkarımıdır. Nakliye filolarında EYA'ların benimsenmesini desteklemeye yönelik düzenlemelerin ve teşviklerin toplumsal faydaları, taşıyıcılara ek maliyetlerinden daha yüksek olabilecektir. Bu durum da şehir içi emisyondaki yükselmeyi önlemek için lojistik şirketlerine yönelik EYA'ların eklenmesini sağlayan düzenlemeler ve teşviklerin belirlemesinin yollarını açabilir. Fakat konu hakkında daha detaylı bir maliyet-fayda analizi yapılması gerekmektedir.

İstanbul ve firmaya ait EYA'ların benimsenme oranı, sefer süresi arttıkça keskin bir şekilde düşüş göstermektedir. EYA'ların yaygınlaşabilmesi için sefer sürelerinin kısa tutulmasına yardımcı olacak birtakım tedbirler alınabilir ve bu tedbirler politikalarla desteklenebilir. Örneğin; sadece EYA'ların girişine ve çıkışına açık yollar planlanarak, EYA'lara imtiyazlar verilebilir. EYA'ların yükleme ve boşaltma aktivitelerini hızlandıracak özel park alanlar belirlenebilir. Tüm bunların dışında, İYMA'ların, şehir içindeki hava kirliliği yüksek olan ve yoğun yaşayanların olduğu bölümlere sevkiyatların sadece EYA'ların yapabileceği şekilde giriş ve çıkışına engel olunması EYA'ların kent içi ulaşımında yaygınlaşmasına olanak sağlayabilir.

Burada oluşturulacak politika ve düzenlemeler, sektörler göre aşamalı olarak planlanabilir. Bu çalışma gıda, konaklama, ticaret ve perakende sektörleri için diğer sektörlerle kıyasla EYA'ların daha hızlı yaygınlaşabileceğini göstermiştir. Bu sonuçlara göre, ayrıcalık ve düzenlemelerde, İstanbul'daki günlük seferler temelinde toplam taşımacılığın yaklaşık %70'ini oluşturan bu sektörler öncelik verilerek yaygınlaşma başlatılabilir. Böylelikle, EYA'ların şehir içi yük taşımacılığında kullanılması ivme kazanacaktır. Politika geliştirmesine girdi olacak düzenlemeler ve eylemlere örnek olarak; sektörün ihtiyacına özgü elektrikli araç çeşitlerinin (dondurucu vb.) üretilmesine yönelik üretici firmalara teşvik, ayrıcalık ve know-how sağlayacak eylemlerde bulunmak verilebilir. Bunun dışında, EYA satışlarını arttıracak uygun ortam hazırlanabilir (teşvik, kredi, firma vergi indirimi vb.) veya firmalara uçtan uça operasyonel kullanıma destek olacak ve maliyetlerini düşürecek ayrıcalık verilebilir. Bu ayrıcalıklar içerisinde yük taşıma noktalarına ayrıcalıklı erişimler, belli bölgelere diğer yakıtlı araçların girmesinin yasaklanması veya ek ücret talep edilmesi gibi düzenlemeler ile firmaların maliyet ve teslim sürelerine etki ederek EYA'ların seçilmesi sağlanabilir. Örneğin EYA'lara tanımlanan ayrıcalıklı bölgelere diğer araçların girmeleri durumunda yüksek giriş-çıkış ücreti alınmasıyla yük taşımacılığında kullanılan İYMA oranları düşürülebilir. İleriki aşamalarda, öncelikli

sektörlerde yapılan uygulamalardan kazanılan tecrübelerle diğer sektörlerde EYA yaygınlaştırma çalışmalarına geçilebilir.

Bu araştırmanın sonuçlarının İstanbul'da kent içi ulaşımında bulunan sektörleri kapsadığı unutulmamalıdır. Bulgular, EYA oranlarının farklı filo karması ve taşıma yükü yapısına sahip diğer sektörler için değişebileceğini göstermektedir. Örneğin; perakende, ticaret, imalat, konaklama ve yiyecek sektörlerinde EYA oranlarının diğer sektörlerle göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.10). Bu durumun nedeni her bir sektörün kendine özgü dinamiğinin olmasıdır.

EYA yaygınlaşma oranının hesaplamasında, kullanılan hafif yük kategorisindeki çalışma kapsamına alınan İYMA aracının broşür yakıt tüketimi 9/100 km olarak alınmıştır. Fakat uygulamada, broşür yakıt tüketim verisi ile gerçekleşen yakıt tüketiminde farklılık olabilir. Bu farklılık, EYA kullanım potansiyeli etkileyebilir. Benzer şekilde, elektrik kullanımı için, aynı yük grubu için filolarında EYA bulunduran firmadan km başına kWh tüketim değeri alınmıştır. Bu değer yardımıyla hafif yük grubundaki araçlar için EYA kullanma potansiyeli hesaplanmıştır. Hafif yük grubu olarak 0-4 ton alındığı için alınan firmanın bu yük grubundaki ortalama taşıdığı yük miktarıyla, diğer firmaların bu yük sınıfındaki taşıdığı ortalama yük miktarı farklılık gösterebilir. Dolayısıyla, km başına kWh tüketimi bu yük sınıfı için firmalar ve sektörler açısından farklılaşabilir. Bu durum da çalışmanın bir diğer kısıtlamasıdır.

Bu tez çalışmasında kullanılan veriler, yapılan görüşmeler, literatür taraması ve ikincil veri analizinden elde edilmiştir. Bu çalışmanın bulguları verilerin alındığı yıl ile sınırlıdır. Sürekli gelişen ve değişen teknolojiyle, EYA'lara ait veriler günden güne değişkenlik göstermektedir. Böylesine dinamik bir ortamda yapılan bu çalışmada, veriler alındığı yıl itibarıyla sabit tutulmuş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Önümüzdeki günlerde, yaklaşıma girdi olan verilerin değişmesiyle EYA kullanım oranlarında güncellemeler olabilir. Önerilen analitik yaklaşım kullanılarak, güncel verilerle güncel EYA oranları hesaplanabilir. Gelecekte, şehir içi yük taşımacılığına dahil olan sektörlerle ait dinamikleri ve ihtiyaçları dahil ederek, tüm şehirde EYA benimseme potansiyelini tahmin etmek için bu analizin genişletilmesi planlanmaktadır.

Araştırmanın bir diğer sınırlılığı da seçim modelinde yer alan faktörlerdir. Model, altyapı durumu, şarj istasyonunun erişilebilirliği ve davranışsal yönler gibi diğer

girdileri içerecek şekilde genişletilebilir. Ayrıca bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, on yıl süre ile kullanılacak yeni satın alınan İYMA (dizel motorlu) ve EYA (bataryalı) için geçerlidir. EYA satın alma maliyetleri, batarya ağırlıkları ve batarya maliyetleri, gelişmekte olan teknoloji ile birlikte zaman içerisinde düşecektir. Gelişmekte olan batarya teknolojileri sayesinde EYA'ların menzilleri de artacaktır. Gelecek çalışmalarda, teknolojik ilerlemenin sunacağı bu imkanlarla birlikte bir duyarlılık analizi yapılabilir. Çalışmanın kapsamı göz önüne alındığında, araç ve batarya imalatı ile ilgili CO₂ emisyonları çalışmaya dahil edilmemiştir. Bu sınırlamaların, gelecekte hibrit filoların geliştirilmesi için hükümet düzenlemelerinin maliyet ve faydaları ile teşvikler arasındaki dengeyi belirleyecek kapsamlı bir analizi için kapsanması planlanmaktadır.

Son olarak, 2 Şubat 2021'de Cumhurbaşkanı kararıyla Resmî Gazete'de yayınlanan kararnameye göre elektrikli araçların mevcut ÖTV oranlarına ciddi bir oranda artış yapılmıştır (URL-15). Bu tez 2011 yılından bu zamana kadar olan ÖTV oranları üzerinden çalışmıştır. Bu yeni zamlarla birlikte EYA'ların toplam edinme maliyetlerinde dramatik bir artış olacaktır. Dolayısıyla sefer başı maliyetler de artacaktır. Bu durum yük ve mesafe grubuna göre tahmin edilen EYA yaygınlaşma oranının bugün hesaplanandan daha düşük oranda olmasına neden olacaktır. Bu tezin sonlandırma zamanında çıkan bu karar, aynı zamanda tezin sınırlaması olarak dikkat çekmektedir. Gelecekte, kurulan tercih modelleri üzerinden bu ÖTV artışının bu çalışmada bulunan EYA yaygınlaşma oranını ne kadar düşüreceğine yönelik bir çalışma yapılacaktır. Bu yapılacak çalışmayla ÖTV artışının yaygınlaşma oranı üzerindeki etkisi de gösterilmiş olacaktır.

ÖTV'de yapılan bu artışın, bu tezdeki yaklaşımdan elde edilen iç görü sonrasında EYA'ların kullanım oranını düşüreceği ve dolayısıyla EYA'ların yük taşımacılığında kullanımının sınırlanacağını düşünülmektedir. Literatürde de vurgulandığı gibi, firmaların topluma karşı çevresel sorumluluklarından dolayı EYA'ları bünyelerine katmaya istekli olmaları benimsenmeyi arttırmasına rağmen, EYA'ların maliyetteki keskin artışlar ve diğer araç türlerinin maliyetleriyle rekabet edemez halde olmaları EYA'ların benimsenmesine büyük darbe vuracaktır. Bu yüzden, EYA'ların yayılımına engel olan unsurları azaltmak, hafifletmek gibi eylemler olarak tüm firmaları EYA'ları bünyelerine katmasına cesaretlendirmemiz gereklidir.

KAYNAKLAR

- Alibaba.com.** (2020a). 2020 High quality electric pickup truck for sale made in China. Erişim: 20/04/2020 https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-electric-pickup-truck-for_60743710661.html?spm=a2700.7724838.2017115.491.32cd7240FxdyV
- Alibaba.com.** (2020b). 2020 New Cheap Price 9995*2550*4000Mm Electric Heavy Truck Cargo For Sale. Erişim: 20/04/2020 https://www.alibaba.com/product-detail/2020-New-Cheap-Price-9995-2550_62399822888.html?spm=a2700.7724838.2017115.112.233c280f36B1L3&fullFirstScreen=true
- Alibaba.com.** (2020c). 2020Heavy electric tractor truck. Erişim: 20/04/2020 https://www.alibaba.com/product-detail/Heavy-electric-tractor-truck_60812075453.html?spm=a2700.7724838.2017115.168.f2b77240qVFtct
- Altenburg, M., Anand, N., Balm, S. H., & Ploos van Amstel, W.** (2017, March). Electric freight vehicles in city logistics: Insights into decision-making process of frontrunner companies. In Proceedings of the European Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Congress, Geneva, Switzerland (pp. 14-16).
- Beagan, D. F., Fischer, M. J., & Kuppam, A. R.** (2007). Quick response freight manual II (No. FHWA-HOP-08-010).
- Breetz, H. L., & Salon, D.** (2018). Do electric vehicles need subsidies? Ownership costs for conventional, hybrid, and electric vehicles in 14 US cities. *Energy policy*, 120, 238-249.
- Borusan Lojistik.** (2018). Kişisel g r şme. 28 Kasım, İstanbul
- Browne, D., O'Mahony, M., & Caulfield, B.** (2012). How should barriers to alternative fuels and vehicles be classified and potential policies to promote innovative technologies be evaluated?. *Journal of Cleaner Production*, 35, 140-151.
- Camilleri, P., & Dablanc, L.** (2017). An assessment of present and future competitiveness of electric commercial vans.
- Chrzan, K., & Orme, B.** (2000). An overview and comparison of design strategies for choice-based conjoint analysis. *Sawtooth software research paper series*, 98382
- Corporate Vehicle Observatory,** 2016 Corporate Vehicle Barometer: Turkey

- Davis, B. A., & Figliozi, M. A. (2013).** A methodology to evaluate the competitiveness of electric delivery trucks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 8-23.
- Dargay, J. M., Vythoulkas, P. C. (1999).** Estimation of a Dynamic Car Ownership Model, *Journal of Transportation Economics and Policy*, Volume 33, Part 3, 287-302.
- Demirer, E. (2019).** Akademisyenlerin Yolculuk Tercihlerinin İncelenmesi: İTÜ Örneği (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Dey, S., Caulfield, B., & Ghosh, B. (2018).** Potential health and economic benefits of banning diesel traffic in Dublin, Ireland. *Journal of Transport & Health*, 10, 156-166.
- Duarte, G., Rolim, C., & Baptista, P. (2016).** How battery electric vehicles can contribute to sustainable urban logistics: A real-world application in Lisbon, Portugal. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 15, 71-78.
- Domencich, T. A., & McFadden, D. (1975).** Urban travel demand-a behavioral analysis
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2017).** AVRUPA BİRLİĞİ'NİN DÜŞÜK KARBON EMİSYONLU ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ STRATEJİLERİ VE TÜRK OTOMOTİV SEKTÖRÜ . Türkiye: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
- Earl, T., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C. C., & Nix, J. (2018).** Analysis of long haul battery electric trucks in EU. In 8th Commercial Vehicle Workshop.
- Ekol Lojistik. (2019).** Kişisel görüşme. Ekim, İstanbul
- Ehrler, V. C., Schöder, D., & Seidel, S. (2019).** Challenges and perspectives for the use of electric vehicles for last mile logistics of grocery e-commerce—Findings from case studies in Germany. *Research in Transportation Economics*, 100757.
- European Environment Agency. (2019, 12 17).** Greenhouse gas emissions from transport in Europe. Erişim: 17/12/2019. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12> adresinden alındı
- Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016).** Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American journal of theoretical and applied statistics*, 5(1), 1-4
- Falcão, E. A. M., Teixeira, A. C. R., & Sodré, J. R. (2017).** Analysis of CO2 emissions and techno-economic feasibility of an electric commercial vehicle. *Applied energy*, 193, 297-307.
- Feng W, Figliozi M. (2013)** An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. *Transp Res PART C* 26:135–145

- Figenbaum, E.** (2018). Can battery electric light commercial vehicles work for craftsmen and service enterprises? *Energy policy*, 120, 58-72.
- Fiori, C., & Marzano, V.** (2018). Modelling energy consumption of electric freight vehicles in urban pickup/delivery operations: analysis and estimation on a real-world dataset. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 658-673.
- Giordano, A., Fischbeck, P., & Matthews, H. S.** (2018). Environmental and economic comparison of diesel and battery electric delivery vans to inform city logistics fleet replacement strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 216-229.
- Globisch, J., Dütschke, E., & Schleich, J.** (2018a). Acceptance of electric passenger cars in commercial fleets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 122-129.
- Globisch, J., Dütschke, E., & Wietschel, M.** (2018b). Adoption of electric vehicles in commercial fleets: Why do car pool managers campaign for BEV procurement?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 122-133.
- Green, P. E., Krieger, A. M., & Wind, Y.** (2001). Thirty years of conjoint analysis: Reflections and prospects. *Interfaces*, 31(3_supplement), S56-S73.
- Hackbarth, A., & Madlener, R.** (2013). Consumer preferences for alternative fuel vehicles: A discrete choice analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 5-17.
- Hepsiexpress.** (2019). Kişisel görüşme. Haziran, İstanbul
- Holland, M.** (2019, 12 4). Powering The EV Revolution — Battery Packs Now At \$156/kWh, 13% Lower Than 2018, Finds BNEF
- İBB.** (2018). İstanbul Master Lojistik Planı. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- İmre Ş., Çelebi D., Koca, F.** (2021). Understanding Barriers and Enablers of Electric Vehicles in urban freight transport: Addressing stakeholder needs in Turkey. *Sustainable Cities and Society*, Forthcoming.
- Janjic, A., Velimirovic, L., Stankovic, M., & Petrusic, A.** (2017). Commercial electric vehicle fleet scheduling for secondary frequency control. *Electric Power Systems Research*, 147, 31-41.
- Jong, G.** (2014). Mode Choice Models. In L. J. Tavasszy, *Modelling Freight Transport* (pp. 117-141). Stockholm: Elsevier.
- Jong, G. G.** (2004). National and international freight transport models: overviews and ideas for further development. *Transport Reviews*, 103-124.
- Kaplan, S., Gruber, J., Reinthaler, M., & Klauenberg, J.** (2016). Intentions to introduce electric vehicles in the commercial sector: A model based on the theory of planned behaviour. *Research in Transportation Economics*, 55, 12-19.
- Kleindorfer, P. R., Neboian, A., Roset, A., & Spinler, S.** (2012). Fleet renewal with electric vehicles at La Poste. *Interfaces*, 42(5), 465-477.

- Koppelman, F. S., & Bhat, C.** (2006). A self instructing course in mode choice modeling: multinomial and nested logit models. Prepared For US Department of Transportation Federal Transit Administration. Federal Transit Administration.
- LC Waikiki Lojistik.** (2019). Kişisel görüşme. Mart, İstanbul
- Lebeau, P., Macharis, C., Van Mierlo, J., & Lebeau, K.** (2015). Electrifying light commercial vehicles for city logistics? A total cost of ownership analysis. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15(4).
- Logtenberg, R., Pawley, J., & Saxifrage, B.** (2018). Comparing fuel and maintenance costs of electric and gas powered vehicles in Canada. 2 Degrees Institute.
- Macharis, C., Lebeau, P., Van Mierlo, J., & Lebeau, K.** (2013). Electric versus conventional vehicles for logistics: A total cost of ownership. In 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27) (pp. 1-10). IEEE.
- Margaritis, D., Anagnostopoulou, A., Tromaras, A., & Boile, M.** (2016). Electric commercial vehicles: Practical perspectives and future research directions. *Research in transportation business & management*, 18, 4-10.
- Maxwell, J.** (1997). Designing a qualitative study. In L. Bickman & D. J. Rog (Eds.) *Handbook of applied social research methods* (pp. 69-100). Thousand Oaks, CA: Sage
- Mirabeau, L., Mignerat, M., & Grangé, C.** (2013). The utility of using social media networks for data collection in survey research
- Mirhedayatian, S. M., & Yan, S.** (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.
- Morganti, E., & Browne, M.** (2018). Technical and operational obstacles to the adoption of electric vans in France and the UK: An operator perspective. *Transport Policy*, 63, 90-97.
- Morikawa and Ben-Akiva** (1992): Estimation of Disaggregate Behavioural Model Using RP and SP Data, *Transportation Engineering Vol. 27 No. 4*, pp. 21-30
- Nowakowska-Grunt, J., & Strzelczyk, M.** (2019). The current situation and the directions of changes in road freight transport in the European Union. *Transportation Research Procedia*, 39, 350-359.
- Özatmaca Erden, E.** (2015). Kocaeli'de Otomobil Sahipliğinin Lojit Model İle İncelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pelletier, S., Jabali, O., & Laporte, G.** (2018). Charge scheduling for electric freight vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 115, 246-269.

- Petrik, O., Silva, J. D. A. E., & Moura, F.** (2016). Stated preference surveys in transport demand modeling: disengagement of respondents. *Transportation Letters*, 8(1), 13-25.
- Polat, Ö.** ELEKTRİKLİ ARAÇ VE ŞARJ İSTASYONLARININ TÜRKİYE'DEKİ GÜNCEL DURUMU. Erişim: 20/01/2019. http://www.emo.org.tr/ekler/e4bd872ffdbfb6c_ek.pdf.
- Prohaska, R., Ragatz, A., Simpson, M., & Kelly, K.** (2016). Medium-duty plug-in electric delivery truck fleet evaluation. In 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC) (pp. 1-6). IEEE.
- Quak, H., Nesterova, N., & van Rooijen, T.** (2016b). Possibilities and barriers for using electric-powered vehicles in city logistics practice. *Transportation Research Procedia*, 12, 157-169.
- Quak, H., Nesterova, N., van Rooijen, T., & Dong, Y.** (2016a). Zero emission city logistics: current practices in freight electromobility and feasibility in the near future. *Transportation Research Procedia*, 14, 1506-1515.
- Robinson, R. S.** (2014). Purposive Sampling. *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*, 5243-5245
- Sanko, N.** (2001). Guidelines for stated preference experiment design. Master of Business Administration diss., Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Schücking, M., Jochem, P., Fichtner, W., Wollersheim, O., & Stella, K.** (2017). Charging strategies for economic operations of electric vehicles in commercial applications. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 173-189.
- Schreuder, H. T., Gregoire, T. G., & Weyer, J. P.** (2001). For What Applications can Probability and Non-Probability Sampling be Used?. *Environmental Monitoring and Assessment*, 66(3), 281-291
- Sezen, B. & İşler, A.U.** (2017). ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MEVCUT DURUMU, TERCİH EDİLME VE EDİLMEME SEBEPLERİ. *Turkish Journal of Marketing*, 82-103.
- Sierzechula, W., Bakker, S., Maat, K., & Van Wee, B.** (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183-194.
- Siragusa, C., Tumino, A., Mangiaracina, R., & Perego, A.** (2020). Electric vehicles performing last-mile delivery in B2C e-commerce: An economic and environmental assessment. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1-16.
- Şenlik, İ.** (2015). Uyuyan Devrim: Elektrikli Araçlar. *Elektrik Mühendisliği*, 64-67.
- Talebian, H., Herrera, O. E., Tran, M., & Mérida, W.** (2018). Electrification of road freight transport: Policy implications in British Columbia. *Energy policy*, 115, 109-118.
- Taşkın, D.** (2016). TÜRKİYE'DE ULAŞIM SEKTÖRÜNDE YAŞANAN DEĞİŞİMLER VE MEVCUT DURUM. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 135-156.

- TEHAD.** (2020) Türkiye Şarj İstasyonu Haritası – Bölgeler 2020. Erişim: 10/02/2021. <http://tehad.org/2020/11/09/turkiye-sarj-istasyonu-haritasi-bolgeler-2020/>.
- TEHAD.** (2021) 2020 yılı Elektrikli ve Hibrid otomobil satış rakamları belli oldu. Erişim: 10/02/2021. <http://tehad.org/2021/01/16/2020-yili-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-belli-oldu/>.
- Tretvik, T. C., Cerasi, I. R. and Dahl, E.** (2017). Validating Freight Electric Vehicles in Urban Europe. D3. 1: Technical Suitability of EVs for Logistics– Report. European Union: FREVUE.
- TÜBİTAK.** ELEKTRİKLİ VE HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİ ÇAĞRI PROGRAMI BİLGİ NOTU. Erişim: 10/08/2019. http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/1003-OT01/OT01.pdf.
- TÜİK,** Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, 2020
- UAB,** (2020). Ulaşan ve Erişen Türkiye 2020: Ulaştırma Altyapı Bakanlığı.
- URL-1**<<https://www.haberturk.com>>. (2018, 02 15). Elektrikli Otomobilde MTV Oranı Belli Oldu. Erişim: 15/02/2018. <https://www.haberturk.com/elektrikli-otomobilde-mtv-miktari-belli-oldu-1838610-ekonomi>
- URL-2**< <https://www.eufal-project.eu>>. (2021, 04 25). EUFAL. Erişim: 25/04/2018. <https://www.eufal-project.eu/home>
- URL-3**< <https://people.richland.edu>>.(2021, 05 12). Table: Chi-Square Probabilities. Erişim:12/05/2021. <https://people.richland.edu/james/lecture/m170/tbl-chi.html>
- URL-4**<<http://tehad.org>. (2019, 02 01)>. İthal Elektrikli araçlarda ÖTV oranı neye göre hesaplanır? Erişim: 01/02/2019. <http://tehad.org/2019/02/01/ithal-elektrikli-araclarda-otv-orani-neye-gore-hesaplanir/>
- URL-5**<<https://www.evdenevenakliyatvar.com>>. (2018, 6 21). Kamyonlar ne kadar mazot yakar. Erişim: 21/06/2018. <https://www.evdenevenakliyatvar.com/kamyonlar-ne-kadar-mazot-yakar/>
- URL-6**<<https://www.opet.com.tr>>. (2020, 5 16). İstanbul Akaryakıt Fiyatları. Erişim: 16/05/2020. <https://www.opet.com.tr/istanbul-akaryakit-fiyatlari>
- URL-7**<<https://www.iveco.com>>. (2020, 5 16). New Daily strong by nature. Erişim: 16/05/2020. https://www.iveco.com/Denmark/Documents/Configurator/Brochure/Dailyvan_DK.pdf
- URL-8**<<https://www.iveco.com>>. (2020). Ocak 2020 Tavsiye Edilen Fiyat Listesi. Erişim:21/05/2020. <https://www.iveco.com/turkey/Documents/PriceList/Ocak%202020%20Tavsiye%20Edilen%20Fiyat%20Listesi.pdf>
- URL-9**<<https://kamyonfiyat.mercedes-benz.com.tr>>. (2020). ATEGO Tavsiye Edilen Perakende Satış Fiyat Listesi. Erişim: 21/05/2020. <https://kamyonfiyat.mercedes-benz.com.tr/atego>

- URL-10**<<https://kamyonfiyat.mercedes-benz.com.tr>>. (2020). ACTROS Tavsiye Edilen Perakende Satış Fiyat Listesi. Erişim: 21/05/2020. <https://kamyonfiyat.mercedes-benz.com.tr/atego>
- URL-11**<<https://esarj.com>>. (2020, 5 6). EŞARJ Ağına Hoşgeldiniz. Erişim: 06/05/2020. <https://esarj.com/uyelik>
- URL-12**<<https://www.tcmb.gov.tr>>. (2020, 03 20). 20.03.2020 Günü Saat 15:30'da Belirlenen Gösterge Niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Kurları. Erişim: 20/03/2020. <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+page+site+area/bugun>
- URL-13**< <https://ec.europa.eu>>. (2020, 10 20). Standard values for emission factors. Erişim:20/10/2020. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Standard%20values%20v.1.0.xlsx>
- URL-14**<<https://ecoscore.be>>. (2020, 10 20). How to calculate the CO2 emission from the fuel consumption? Erişim: 20/10/2020. <https://ecoscore.be/en/info/ecoscore/co2>
- URL-15**< <https://tr.sputniknews.com> >. (2021, 02, 02). Elektrikli Araçlarda ÖTV Artışı Resmi Gazete'de. Erişim: 02/02/2021. <https://tr.sputniknews.com/turkiye/202102021043710909-elektrikli-araclarda-otv-artisi-resmi-gazetede/>
- Ustabaş, A.** (2014). Mikro ve makro etkileri yönünden elektrikli otomobiller (Türkiye ekonomisi örneği). Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi ,269-291.
- Wang, M., & Thoben, K. D.** (2016). The Influential Factors for Application of the Electric Commercial Vehicle in the Urban Freight Transport. In Dynamics in Logistics (pp. 375-378). Springer, Cham.
- Wang, M., & Thoben, K. D.** (2017). Sustainable Urban Freight Transport: Analysis of Factors Affecting the Employment of Electric Commercial Vehicles. In Dynamics in Logistics (pp. 255-265). Springer, Cham.
- Wang, M., Thoben, K. D., Bernardo, M., & Daudi, M.** (2018). Diversity in employment of electric commercial vehicles in urban freight transport: A literature review. Logistics Research, 11(10), 1-13.
- Wikström, M., Hansson, L., & Alvfors, P.** (2014). Socio-technical experiences from electric vehicle utilisation in commercial fleets. Applied Energy, 123, 82-93.
- Wikström, M., Hansson, L., & Alvfors, P.** (2016). Investigating barriers for plug-in electric vehicle deployment in fleets. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 49, 59-67.
- Williams, C. D.** (2015). The socialization of secure computing practices for home internet users: A quantitative analysis of individual perceptions. Retrieved from ProQuest Dissertations
- World Economic Forum.** (2021) This electric car battery takes the same time to charge as filling up with gas. Erişim: 12/06/2021. <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/electric-car-battery-charge-time-vehicles-climate-change-sustainability>



EKLER

EK A: Belirtilen seçim anketi



EK A : Anket Örneği

Bu anket İTÜ İşletme Mühendisliği bölümü akademisyenlerinden Prof.Dr. Dilay Çelebi yürütücülüğünde Şükrü İmre'nin doktora tezi kapsamında yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Elektrikli Araçların yük taşımacılığında kullanımı araştırılmaktadır. Siz değerli katılımcılarla ülkemiz için gelecekte yük taşımacılığında elektrikli araçların ne kadar yaygınlaşacağı ve filolarda hangi oranda kullanılacağı ortaya çıkarılacaktır. Şimdiden vermiş olduğunuz yanıtlar için teşekkür ederiz.

1. Şehir içi yük taşımacılığında kullandığınız araç tiplerinden filonuzun kaç tane içerdiğini ve toplam kapasitelerini yazınız.

Araç Tipi	Araç Sayısı	Toplam Kapasite (ton)
Elektrikli Olmayan Araç		
Elektrikli Araç		

2. Şehir içi yük taşımacılığı yaptığınız bölgelere hangi yük türlerini taşımaktasınız.

Yük Türü	Şehir İçi Taşıma
Metal cevheri ve türevleri	
Hazır gıda	
İçecek	
Tütün mamulleri	
Metal olmayan madenden çıkarılmış mallar	
Tarım ve ormancılık ürünleri	
Kırmızı ve beyaz et ürünleri	
İlaç	
Kimyasal ürünler	
Beyaz eşya	
Mobilya	
Atıklar (evsel veya diğer)	
Ev araç ve gereçleri	
Kıyafet	
Diğer...	

3. Filonuzda şehir içi yük taşımacılığında kullanılan araçların yakıtlarına yaptığınız harcamaların dağılımını yüzde olarak belirtiniz.

Araç Tipi	Dağılım (%)
Benzin	
Dizel	
LPG	
Elektrik	
Diğer Yakıt Türü	

Şekil A.1 : Belirtilen seçim anketi.

4. Filonuzda şehir içi yük taşımacılığında kullandığınız araç tiplerine göre tipik bir seferdeki ulaştırma mesafesi, miktarı ve zamanlarını doldurunuz.

Araç Tipi	Mesafe (km/sefer)	Miktar (ton/sefer)	Ulaştırma Zamanı (saat/sefer)
Elektrikli Olmayan Araç			
Elektrikli Araç			

5. Aşağıda verilen durumlara göre tür seçiminizi işaretleyiniz.

Not:

- Yüksek emisyonlu araçlar için benzin ve dizel yakıtlı araçları göz önünde bulundurunuz.
- Düşük emisyonlu araçlar için hibrit ve elektrikli yakıtlı araçları göz önünde bulundurunuz.

Bu bilgiler ışığında aşağıdaki seçim çift senaryolarındaki tür seçimini yapınız.

Senaryolar:

Durum 1: “İstanbul şehir içi ulaşımında 0-50 km uzaklığa sahip olan bölgelere 0 ile 4 ton arasında yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	850 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	1020 TL /sefer	2 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	850 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	850 TL /sefer	6 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	850 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	680 TL /sefer	4 saat	Düşük Emisyonlu

Durum 2: “İstanbul şehir içi ulaşımında 0-50 km uzaklığa sahip olan bölgelere 4 ile 15 ton arasında yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	750 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	750 TL /sefer	4 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	950 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	750 TL /sefer	4 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	750 TL /sefer	6 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	1150 TL /sefer	2 saat	Düşük Emisyonlu

Şekil A.1 (devam) : Belirtilen seçim anketi.

Durum 3: “ İstanbul şehir içi ulaşımında 0-50 km uzaklığa sahip olan bölgelere 15 ton ve üzeri ağırlıkta yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	1050 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	1250 TL /sefer	2 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	1050 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	1050 TL /sefer	6 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	1050 TL /sefer	2 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	800 TL /sefer	4 saat	Düşük Emisyonlu

Durum 4: “İstanbul şehir içi ulaşımında 50-100 km uzaklığa sahip olan bölgelere 0 ile 4 ton arasında yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	2000 TL /sefer	3 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	2000 TL /sefer	5 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	2500 TL /sefer	3 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	2000 TL /sefer	5 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	2000 TL /sefer	7 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3000 TL /sefer	3 saat	Düşük Emisyonlu

Durum 5: “İstanbul şehir içi ulaşımında 50-100 km uzaklığa sahip olan bölgelere 4 ile 15 ton arasında yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	2200 TL /sefer	3 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	2200 TL /sefer	7 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	2750 TL /sefer	5 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	2200 TL /sefer	7 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3300 TL /sefer	3 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3300 TL /sefer	5 saat	Düşük Emisyonlu

Şekil A.1 (devam) : Belirtilen seçim anketi.

Durum 6: “İstanbul şehir içi ulaşımında **50-100 km** uzaklığa sahip olan bölgelere **15 ton ve üzeri** ağırlıkta yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3600 TL /sefer	3 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3600 TL /sefer	5 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3020 TL /sefer	3 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3020 TL /sefer	7 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3020 TL /sefer	7 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3600 TL /sefer	5 saat	Düşük Emisyonlu

Durum 7: “İstanbul şehir içi ulaşımında **100 km ve üzeri** uzaklığa sahip olan bölgelere **0 ile 4 ton** arasında yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3400 TL /sefer	6 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	4000 TL /sefer	6 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3400 TL /sefer	8 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	4000 TL /sefer	6 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	4000 TL /sefer	4 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	2700 TL /sefer	8 saat	Düşük Emisyonlu

Durum 8: “İstanbul şehir içi ulaşımında **100 km ve üzeri** uzaklığa sahip olan bölgelere **4 ile 15 ton** arasında yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	2950 TL /sefer	4 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3700 TL /sefer	6 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3700 TL /sefer	4 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3700 TL /sefer	6 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	2950 TL /sefer	6 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3700 TL /sefer	6 saat	Düşük Emisyonlu

Şekil A.1 (devam) : Belirtilen seçim anketi.

Durum 9: “İstanbul şehir içi ulaşımında 100 km ve üzeri uzaklığa sahip olan bölgelere 15 ton ve üzeri ağırlıkta yaptığınız gönderiler ”

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	4900 TL /sefer	4 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3250 TL /sefer	8 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3250 TL /sefer	4 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3250 TL /sefer	8 saat	Düşük Emisyonlu

Seçim	Tür	Maliyet	Zaman	Çevre Etkisi
	1	3250 TL /sefer	6 saat	Yüksek Emisyonlu
	2	3250 TL /sefer	8 saat	Düşük Emisyonlu

6. Firmanın bulunduğu sektörü işaretleyiniz.

- Ağaç İşleri, Kağıt ve Kağıt Ürünleri
- Bilişim Teknolojileri
- Cam, Çimento ve Toprak
- Çevre
- Eğitim
- Elektrik ve Elektronik
- Enerji
- Gıda
- İnşaat
- Kimya, Petrol, Lastik ve Plastik
- Kültür, Sanat ve Tasarım
- Maden
- Medya, İletişim ve Yayıncılık
- Metal
- Otomotiv
- Sağlık ve Sosyal Hizmetler
- Spor ve Rekreasyon
- Tarım, Avcılık ve Balıkçılık
- Tekstil, Hazır Giyim, Deri
- Ticaret (Satış ve Pazarlama)
- Turizm, Konaklama, Yiyecek-İçecek Hizmetleri
- Ulaştırma, Lojistik ve Haberleşme

7. Firmanızdaki çalışan kişi sayısının bulunduğu aralığı işaretleyiniz. (kaynak KOSGEB kanunu)

- 1-50
- 51-150
- 151 ve üzeri

Şekil A.1 (devam) : Belirtilen seçim anketi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Şükrü İmre

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, İşletme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2017 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi TÜBİTAK 1005 projesinde araştırmacı olarak çalıştı.
- 2018 yılında LC Waikiki Mağazacılık A.Ş.'de İş Analitiği Uzmanı (Lojistik) olarak çalışmaya başladı.
- Bu çalışma; İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince desteklenmiştir. Proje numarası : 41676
- Bu çalışma; Ekim 2017'den tezin bitimine kadar YÖK 100/2000 Doktora Bursu ile desteklenmiştir.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **İmre Ş., Çelebi D., Koca, F.** 2021. Understanding Barriers and Enablers of Electric Vehicles in urban freight transport: Addressing stakeholder needs in Turkey. *Sustainable Cities and Society*.
- **Çelebi, D., İmre, Ş.** 2021. A Systematic Review of Motivators, Determinants and Parameters for the Adoption of Electric Freight Vehicles. (*under review*).
- **İmre, Ş., Canitez F., Çelebi, D.** 2021. The Socio-technical Transition to Electric Vehicle Mobility in Turkey: A Multi-Level Perspective. *International Journal of Information Systems in the Service Sector* (*forthcoming*)

- **İmre, Ş.**, Çelebi, D., Asan U. 2021. Estimating Adoption Rates of Electric Vehicles in Urban Logistics. *Transport Part D: Environment and Transport (under review)*
- **İmre S.**, Kaya A., Çelebi, D. 2018. Classification of Barriers to Adoption of Electric Vehicles and Electric Freight Vehicles. *16th International Logistics and Supply Chain Congress*, October 18-20, 2018 Denizli, Turkey.
- **İmre S.**, Canitez F., Çelebi, D. 2019. The Adoption Of Electric Vehicles In Turkey: A Multi-Level Perspective. *International Engineering And Technology Management Summit 2019*, October 10-12, 2019 Istanbul, Turkey.
- **İmre S.**, Çelebi, D. Koca, F. 2019. Identifying The Issues Relevant To The Adoption Of Electric Vehicles In Urban Freight Transport In Turkey. *17th International Logistics and Supply Chain Congress*, October 17-18, 2019 Istanbul, Turkey.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **İmre, Ş.**, Çelebi, D. 2017. Measuring comfort in public transport: a case study for İstanbul. *Transportation Research Procedia*, 25, 2441-2449.
- **İmre, Ş.**, Kaya A., Yorulmuş H., Çelebi, D. 2018. Depo İçerisinde Sipariş Temelli Toplamada Durma Noktalarının Belirlenmesi İçin Matematiksel Model Önerisi. *ETMS Bildiriler Kitabı*, 141-148.
- Çelebi D., **İmre, Ş.** (2020) Measuring crowding-related comfort in public transport, *Transportation Planning and Technology*, 43:7, 735-750, DOI: 10.1080/03081060.2020.1805546
- Bolat B. Otay, İ., Temur G.T., **İmre, Ş.** (2021) An Integrated Fuzzy Multi-Criteria Approach for E-Waste Collection Center Location Problem. *International Journal of Fuzzy System Applications*. 10:2.