

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UZUN MESAFE TAŞIMACILIKTA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN
TÜRKİYE’DE POTANSİYELİ**

DOKTORA TEZİ

Levent ÖZLÜ

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**UZUN MESAFE TAŞIMACILIKTA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN
TÜRKİYE'DE POTANSİYELİ**

DOKTORA TEZİ

**Levent ÖZLÜ
(507172004)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS

TEMMUZ 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**THE POTENTIAL OF ELECTRIC VEHICLES IN LONG-DISTANCE
TRANSPORTATION IN TURKEY**

Ph.D. THESIS

**Levent ÖZLÜ
(507172004)**

Department of Management Engineering

Management Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS

JULY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507172004 numaralı Doktora Öğrencisi Levent ÖZLÜ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “UZUN MESAFE TAŞIMACILIKTA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TÜRKİYE’DE POTANSİYELİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hür Bersam SİDAL
Maltepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ
Maltepe Üniversitesi

Prof. Dr. Yavuz GÜNALAY
Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : 24 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 29 Temmuz 2024





Anneme, merhum babama, kız kardeşime, eşime ve oğluma,



ÖNSÖZ

Doktora sürecinde gelişimime yaptığı katkı, verdiği destek ve motive eden tutumu için değerli hocam Prof.Dr. Dilay ÇELEBİ GONİDİS'e minnet ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmaları boyunca paylaştıkları bilgi ve tecrübeler, çalışmaya değer katan yorumları ve yapıcı yaklaşımları nedeniyle jüri üyelerim Prof.Dr. Ferhan ÇEBİ ve Prof.Dr. Mehmet TANYAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim. Eğitim hayatım boyunca sevgi, destek ve teşviklerini esirgemeyen annem, merhum babam, kız kardeşim, eşim ve oğluma şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2024

Levent ÖZLÜ
(Tedarik Zinciri Uzmanı)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
1.2.1 Ulaştırma sektörü sera gazı emisyonları ve elektrikli araç performansı	4
1.2.2 EYA'ların potansiyeli	6
1.2.3 EA filo yönetimi.....	17
2. TÜRKİYE'DE YÜK ARAÇLARI, ŞARJ İSTASYONLARI, SERA GAZI EMİSYONLARI VE DÜNYA ELEKTRİKLİ KAMYON PAZARI	27
2.1 Türkiye'de Yük Araçları	27
2.2 Dünya Elektrikli Kamyon Pazarı	28
2.3 Türkiye'de Şarj İstasyonu Altyapısı.....	31
2.4 Türkiye'nin Sera Gazı Emisyon İstatistikleri	31
3. YÖNTEM.....	35
3.1 Delphi Yöntemi	35
3.2 Bulanık Mantık.....	37
4. MODELDE KULLANILACAK DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ VE MODELİN OLUŞTURULMASI.....	41
4.1 Problemin Belirlenmesi ve Dilsel Değişkenlerin Tanımlanması	42
4.1.1 Girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi	42
4.1.1.1 Engeller	43
4.1.1.2 Ekonomik faktörler	43
4.1.1.3 Sosyal faktörler	44
4.1.1.4 AEK satın alma karar modelinin nihai yapısı	44
4.1.2 Dilsel değişkenlerin tanımlanması	47
4.1.2.1 Sosyal faktörler	47
4.1.2.2 Ekonomik faktörler	47
4.1.2.3 Engeller	48
4.2 Bulanık Kümelerin Belirlenmesi.....	49
4.3 Bulanık Kuralların Oluşturulması	51
4.4 Uzman Sistemde Bulanık Çıkarım Gerçekleştirmek için Bulanık Kümelerin, Bulanık Kuralların ve Prosedürlerin Kodlanması	53
4.5 AEK Satın Alma Oranı	54

4.6 Açıklayıcı Bir Örnek	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
5.1 Sonuçlar.....	61
5.2 Sınırlamalar	66
5.3 Öneriler.....	66
KAYNAKLAR.....	69
EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	85



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AEA	: Akülü Elektrikli Araç
AEK	: Akülü Elektrikli Kamyon
CO2	: Karbondioksit
EA	: Elektrikli Araç
EYA	: Elektrikli Yık Aracı
GZFT	: Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar, Riskler
İYMA	: İçten Yanmalı Motorlu Araç
İYMK	: İçten Yanmalı Motorlu Kamyon
LiP	: Lityum-iyon Pil (Lithium-ion Battery)
SS	: Seyahat Süresi
TSM	: Toplam Sahip Olma Maliyeti
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)



SEMBOLLER

$c_0, c_1, \dots$	: Toplam sahip olma maliyeti oranı için dilsel terimler
$t_0, t_1, \dots$	: Seyhat süresi oranı için dilsel terimler
$e_0, e_1, \dots$	: Algılanan ekonomik fayda için dilsel terimler
$\mu(x)$	: Üyelik fonksiyonu





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : EYA benimsenme literatür özeti	18
Çizelge 1.2 : Elektrikli araç filo yönetimi literatür özeti	20
Çizelge 1.3 : Elektrikli araç filo yönetim kriterleri literatür özeti	22
Çizelge 2.1 : Yıllara göre motorlu kara taşıtları sayıları (Url-2)	27
Çizelge 2.2 : Türkiye’de en fazla EA istasyonuna sahip şehirler (Url-3).....	31
Çizelge 2.3 : Sektörlere göre sera gazı emisyonları (Milyon ton CO2 eşd.) (Url-4). 32	
Çizelge 2.4 : Gazlara göre sera gazı emisyonları (Milyon ton CO2 eşd.) (Url-4).....	33
Çizelge 3.1 : Delphi çalışması için uzman grubu	37
Çizelge 4.1 : Bulanık kurallar	53
Çizelge 4.2 : Geçerlilik testi	56



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Dünya genelinde 2015-2023 dönemi elektrikli kamyon satış adetleri (International Energy Agency, 2024).....	28
Şekil 2.2 : Dünya genelinde 2015-2023 dönemi elektrikli kamyon satış payları (International Energy Agency, 2024).....	29
Şekil 2.3 : Orijinal ekipman üreticisi genel merkezine, araç tipine ve çıkış tarihine göre mevcut akülü elektrikli ağır hizmet aracı modelleri, 2020-2023 (International Energy Agency, 2024).	30
Şekil 2.4 : Genel merkez konumuna göre akülü elektrikli orta ve ağır hizmet ticari araçları piyasaya süren orijinal ekipman üreticilerinin kümülatif sayıları, 2020-2023 (International Energy Agency, 2024).....	30
Şekil 2.5 : Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu, 1990-2021 (Url-4).	31
Şekil 4.1 : AEK satın alma oranının belirleyicileri.....	45
Şekil 4.2 : TSM oranı AEK/İYMK için belirlenen terim kümesinin dilsel ölçekleri (c ile temsil edilmektedir).	49
Şekil 4.3 : SS oranı AEK/İYMK için belirlenen terim kümesinin dilsel ölçekleri (t ile temsil edilmektedir).	50
Şekil 4.4 : Algılanan ekonomik faydaya ilişkin terim kümesinin dilsel ölçekleri (e ile temsil edilmektedir).	51
Şekil A.1 : TSM oranı AEK/İYMK üyelik fonksiyonu.....	78
Şekil A.2 : SS oranı AEK/İYMK üyelik fonksiyonu	79
Şekil A.3 : Algılanan ekonomik fayda üyelik fonksiyonu.	80
Şekil B.1 : Anket 1	81
Şekil B.2 : Anket 2	82
Şekil B.3 : Anket 3	83
Şekil B.4 : Anket 4	84



UZUN MESAFE TAŞIMACILIKTA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TÜRKİYE’DE POTANSİYELİ

ÖZET

Çevre kirliliği konusunda öncelikle gelişmiş ülkelerde başlayan hassasiyet dünya geneline yayılmaktadır. Özellikle küresel ısınma konusunda oluşan farkındalık, ülkeleri bu konuda stratejiler oluşturmaya ve hedefler koymaya teşvik etmektedir. Küresel ısınma konusunda sera gazı salınımı önemli bir faktördür. Ulaşım sektörünün sera gazı salınımında önemli bir payı bulunmaktadır. Yüksek emisyonlu dizel ve benzinli araçlar yerine düşük emisyonlu elektrikli araçlar (EA) ulaşım sektörü nedeniyle oluşan sera gazı salınımına bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle AB hedefleri içinde EA’larla ilgili net hedeflerin olması şaşırtıcı değildir. İncelenen kaynaklarda, EA sayıları konusunda Türkiye için hedeflere rastlanmamıştır ancak Türkiye’deki EA’lar konusunda stratejilerin ve hedeflerin belirlenmesi elzemdir.

Şehir içi taşımacılık konusunda akademik çalışmalar son dönemde giderek artmaktadır ancak özellikle uzun mesafe yük taşımacılığında EA’lar konusunda çalışmalar daha kısıtlı sayıdadır. EA’larla ilgili tüm paydaşların doğru strateji ve hedefleri belirleyebilmeleri için konunun bütün unsurlarıyla ilgili akademik çalışmalara ihtiyacı bulunmaktadır.

Tez çalışmasında, uzun mesafe yük taşımacılığını temsil eden ve sera gazı emisyonlarında önemli pay sahibi olan kamyonların satın alma karar süreçleri incelenmektedir. Bu çalışma kapsamında, pilot bölge Türkiye için, sera gazı emisyonlarının azaltılması için umut vaat eden AEK’ların benimsenmesi konusunda;

- Engellerin tanımlanması ve limit değerlerinin belirlenmesi,
- Ekonomik faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlerin AEK satın alma kararını nasıl etkilediğinin ortaya konulması,
- Sosyal faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlerin AEK satın alma kararı üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
- AEK satın alma karar süreci modelinin oluşturulması hedeflenmektedir.

Tez çalışması ile devlet kurumları ve lojistik firmalarının oluşturacakları stratejilere, hedeflere ve operasyonel kararlara katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Literatür araştırmasında, EYA’ların benimsenmesi konusunda etkili faktörlerin belirlenmesi yönünde çok sayıda nitel analiz incelenmiştir ancak uzun mesafe yük taşımacılığında satın alma karar sürecini ortaya koyan nicel modellerle karşılaşılmamıştır. Dünyadaki ve Türkiye’deki EYA verileri incelendiğinde, zaman serisi analizleri veya çok etmenli analizler gibi niceliksel teknikleri uygulayabilecek yeterli sayıda veri bulunmadığı görülmektedir. Satın alma karar sürecini modellemede insan karar alma sürecini en iyi yansıttığı düşünüldüğü için bulanık mantık kullanılmıştır.

Kontrollü geri bildirim yoluyla bir grup uzman arasında fikir birliğine varılmasını kolaylaştırarak kolektif yargının güvenilirliğini sağladığı için Delphi yönteminin

kullanılmasına karar verilmiştir. Uzman grup, uluslararası nakliyeciler firmaların üst düzey yöneticileri, lojistik derneklerinin üst düzey yöneticileri ve lojistik alanında uzmanlığı olan akademisyenlerden oluşturulmuştur.

Her bir uzman ekip üyesiyle bireysel çevrimiçi toplantılar düzenlenmiş ve bu toplantılarda literatür özetleri paylaşılmıştır. Ekip üyeleriyle yapılan değerlendirmelerde, çıktı değişkeni, Türkiye'deki akülü elektrikli kamyon (AEK) satın alma oranı olarak belirlenmiştir. AEK'ların tek rakibi olarak şu anda pazara hakim olan içten yanmalı motorlu kamyonlar (İYMK) dikkate alınmıştır. Çalışmada AEK satın alma oranını belirleyen girdi değişkenleri üç başlık altında ele alınmaktadır: (1) engeller, (2) algılanan ekonomik fayda ve (3) algılanan sosyal fayda.

Uzman ekiple engeller başlığında dört faktörde ve bu faktörlerin limit değerlerinde mutabık kalınmıştır: AEK sürüş menzili (≥ 500 km), Şarj istasyonu sayısı/Benzin istasyonu sayısı (≥ 0.5), AEK bakım hizmetleri kalitesi (=İYMK bakım kalitesi), AEK mevzuatının açıklığı ve etkinliği (Mevzuatın yayınlanması ve uygulamaya alınması).

AEK satın alma oranının ana belirleyicisi olan algılanan ekonomik fayda başlığında uzman ekiple iki faktörde mutabık kalınmıştır: Toplam Sahip Olma Maliyeti (TSM) oranı AEK/İYMK, Seyahat süresi (SS) oranı AEK/İYMK. Her bir ekonomik faktör için dilsel ifadeler ve bu dilsel ifadelerin bulanık kümeleri uzman ekiple netleştirilmiştir. Hem hesaplama basitliği, hem bilgi gösterimi arasındaki denge nedeniyle, bulanık kümeler için üçgen şekli seçilmiştir. TSM oranı ve SS oranı dilsel ifadelerinin her bir kombinasyonu için bulanık kurallar yine uzman ekibin mutabakatıyla oluşturulmuştur. Bulanık kümeler, bulanık çıkarım çerçevesinde girdi değişkenlerini çıktılara dönüştürürler. Hesaplama kolaylığı nedeniyle bulanık çıkarım gerçekleştirmek için Sugeno çıkarımı tercih edilmiştir. Algılanan ekonomik fayda formülü Sugeno çıkarımı ile oluşturulmuştur.

Algılanan sosyal fayda başlığında iki faktörde mutabık kalınmıştır: AEK için toplumda olumlu algı, AEK'nın sera gazı emisyonlarını azaltması. Sosyal fayda faktörleri için dilsel ifadeler doğrudan belirlenmemiştir. Sosyal faktörlerin AEK satın alma kararını etkilemesine rağmen, bunun öncelikle ekonomik faktörlerden kaynaklandığı kabul edilmiştir. Algılanan ekonomik fayda ile belirlenen AEK satın alma oranına her bir sosyal faktörün nasıl ve hangi oranda etki edeceği uzman ekiple tartışılmıştır. Sosyal faktörlerin, algılanan ekonomik fayda ile belirlenen AEK satın alma oranını sınırlı bir oranda arttıracığında konsensüs oluşmuştur. Uzman ekiple yapılan değerlendirmelerde, algılanan ekonomik fayda ile belirlenen AEK satın alma oranını her bir sosyal fayda faktörünün %10 olmak üzere toplamda %20 oranında arttıracığında mutabakat sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında oluşturulan AEK satın alma karar süreci üç adımda özetlenebilir. Birinci adımda engeller başlığında incelenen dört faktörden herhangi birinin limit değerleri aşılamazsa AEK satın alma oranları %0 seviyesine yakın, çok düşük oranlarda kalacaktır. Engeller başlığında belirlenen tüm faktörlerin limit değerleri aşıldığı takdirde, algılanan ekonomik fayda, AEK satın alma oranının genel seviyesini belirleyecektir. Algılanan ekonomik fayda tarafından belirlenen AEK satın alma oranlarını sosyal faktörler belirlenen oranlarda arttıracaktır. Ekler kısmında açıklayıcı bir örnek uygulama, modelin, farazi varsayımlar kullanılarak yapılan hesaplamalarını göstermek amacıyla sunulmuştur.

AEK'ların satın alma maliyetinin önemli bir kısmını akü maliyetleri oluşturmaktadır. Yakın gelecekte, akü maliyetlerindeki azalma beklentisine paralel olarak AEK'ların TSM bazında İYMK'larla rekabet edebilir hale gelebileceği beklenmektedir. Yarı

römorklara yönelik çekicilerin karşılaştırılmasında, AEK'ların, seri üretildiğinde, İYMK'lara göre önemli bir maliyet avantajı sağlayacağını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Diğer taraftan, AEK'nın benimsenmesinin önündeki engeller arasında bulunan sınırlı sürüş menzili konusunda ultra hızlı şarj teknolojisinin geliştirilmesi ve şarj ağlarının genişletilmesinin menzil endişelerini azaltabileceği düşünülmektedir. Literatürde uygulama deneyimi konusunda karşılaşılan makalelerde, kullanıcıların AEK'lar için tatmin edici teknik performans bildirdikleri aktarılmakta, aracın sessizliği, konforlu ve keyifli bir sürüş deneyimi sunması olumlu bir özellik olarak vurgulanmaktadır. Zaman içinde toplumdaki çevre hassasiyetlerinin artacağı yönündeki beklentilerin de AEK'ların benimsenmesine katkı sağlayacağı tahmin edilmektedir. Engeller, ekonomik faktörler ve sosyal faktörlerle ilgili beklenen pozitif gelişmeler AEK satın alma oranlarının önümüzdeki yıllarda artacağı tahminlerini güçlendirmektedir.





THE POTENTIAL OF ELECTRIC VEHICLES IN LONG-DISTANCE TRANSPORTATION IN TURKEY

SUMMARY

Society's awareness about environmental pollution started in developed countries and is spreading throughout the world. Awareness about global warming encourages countries to create strategies and set targets on this issue. Greenhouse gas emissions are an important factor in global warming. The transportation sector has a significant share in greenhouse gas emissions. Instead of high-emission diesel and gasoline vehicles, low-emission electric vehicles (EV) stand out as a solution to greenhouse gas emissions caused by the transportation sector. Therefore, there are clear targets regarding EVs within the EU goals. In the literature review, no government targets were found for Turkey regarding the number of EVs, but it is essential to determine strategies and targets regarding EVs in Turkey.

Academic studies on urban transportation have been increasing recently, but studies on EVs, especially in long-distance freight transportation, are limited. In order to determine the right strategies and goals for EVs, academic studies on all elements of the subject are essential.

In this thesis, the procurement decision processes of trucks, which represent long-distance freight transportation and have a significant share in greenhouse gas emissions, are examined. Within the scope of this study, below mentioned goals are aimed for the pilot region Turkey regarding the adoption of promising BETs for reducing greenhouse gas emissions.

- Identification of barriers and determination of limit values,
- Identifying economic factors and revealing the relationship between economic factors and BET procurement decision,
- Identifying social factors and determining the impact of these factors on the BET procurement decision,
- Creation of BET procurement decision process model.

This thesis study aims to contribute to the strategies, objectives and operational decisions of government institutions and logistics companies.

In the literature research, many qualitative analyzes were examined to determine the effective factors in the adoption of EFVs, but quantitative models revealing the procurement decision process of BET were not encountered. When EFV data in the world and in Turkey are examined, it is seen that there is not enough data to apply quantitative techniques such as time series analysis or multi-factor analysis. For this reason, fuzzy logic was used in modeling the purchasing decision process as it is thought to be the best method that reflects the human decision-making process.

It was decided to use the Delphi method because it ensures the reliability of the collective judgment by facilitating consensus among a group of experts through

controlled feedback. The expert group is composed of senior managers of international freight forwarders, senior managers of logistics associations and academicians with expertise in the field of logistics.

Individual online meetings were held with each expert team member and literature summaries were shared in these meetings. In the evaluations made with the team members, the output variable was determined as the battery electric truck (BET) procurement ratio in Turkey. Internal combustion engine trucks (ICET), which currently dominate the market, were taken into account as the only competitors of BETs. In the study, the input variables that determine the BET procurement rate were discussed under three headings: (1) barriers, (2) perceived economic benefit and (3) perceived social benefit.

An agreement was reached with the expert team on four factors under the heading of barriers and the limit values of these factors: BET driving range (≥ 500 km), Number of charging stations/Number of gas stations (≥ 0.5), BET maintenance services quality (=ICET maintenance quality), Clarity and effectiveness of BET legislation (Publication and implementation of the legislation).

On the topic of perceived economic benefit, which is the main determinant of the BET procurement ratio, the expert team agreed on two factors: Total Cost of Ownership (TCO) rate BET/ICET, Travel time (TT) rate BET/ICET. For each economic factor, linguistic expressions and fuzzy sets of these linguistic expressions were clarified by the expert team. The triangle shape was chosen for fuzzy sets due to the balance between both computational simplicity and information representation. Fuzzy rules for each combination of linguistic expressions of TCO ratio and TT ratio were created by consensus of the expert team. Fuzzy sets transform input variables into outputs within the framework of fuzzy inference. Sugeno inference was preferred to perform fuzzy inference due to its ease of calculation. The perceived economic benefit formula was created by Sugeno inference.

Under the topic of perceived social benefit, two factors were agreed upon: Positive perception in society for BET, and BET's reduction of greenhouse gas emissions. Linguistic expressions for social benefit factors have not been directly determined. Although social factors influence the decision to purchase BET, it is accepted that this is primarily due to economic factors. How and to what extent each social factor would affect the BET procurement rate was discussed with the expert team. There is a consensus that social factors will increase the BET purchasing rate, determined by perceived economic benefit, to a limited extent. In the evaluations made with the expert team, it was agreed that the BET purchasing rate, determined by perceived economic benefit, would increase by 10% for each social benefit factor, by 20% in total.

The BET procurement decision process created within the scope of the study can be summarized in three steps. If the limit values of any of the four factors examined under the heading of barriers in the first step are not exceeded, BET procurement rates will remain at very low rates, close to 0%. If the limit values of all factors determined under the heading of barriers are exceeded, the perceived economic benefit will determine the general level of BET procurement rate. Social factors will increase BET procurement rates which is set by perceived economic benefit, at determined rates. An explanatory sample application is presented in the appendices to demonstrate the model's calculations using hypothetical assumptions.

Battery costs constitute a significant part of the procurement cost of BETs. In the near future, it is expected that BETs will be able to compete with ICETs on a TCO basis, in parallel with the expectation of a decrease in battery costs. When comparing tractors for semi-trailers, there are studies showing that BETs, when mass produced, will provide a significant cost advantage over ICETs. On the other hand, it is thought that the development of ultra-fast charging technology and the expansion of charging networks can reduce range concerns regarding the limited driving range, which are among the barriers to the adoption of BET. In the articles about application experience, it is stated that users reported satisfactory technical performance for BETs. The silence of the vehicle and its provision of a comfortable and enjoyable driving experience are also emphasized as a positive feature. It is estimated that environmental sensitivities in society will increase over time and contribute to the adoption of BETs.





1. GİRİŞ

Doğal çevrenin insan faaliyetleri nedeniyle bozulmasından kaynaklanan çevre kirliliğinin olumsuz etkilerine ilişkin endişeler dünya genelinde artmaktadır. Özellikle hava kirliliği ve küresel ısınmayla ilgili artan bu farkındalık, gelişmiş ülkeleri kapsamlı stratejiler oluşturmaya, net yol haritaları hazırlamaya ve bu çevresel zorlukları hafifletmek için iddialı hedefler belirlemeye zorlamaktadır.

Ulaştırma sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki karbondioksit (CO₂) emisyonlarının %26'sından (Kast ve diğ, 2017), Latin Amerika'da %19'undan (Tanco ve diğ, 2019) ve Avrupa'da %25'inden (Plötz ve diğ, 2019) sorumludur. Avrupa'nın taşımacılık sektöründe ağır hizmet araçları, kıtanın sera gazı emisyonlarının dörtte birine karşılık gelen önemli çevresel etkileriyle öne çıkmaktadır (Plötz ve diğ, 2019). Uluslararası Enerji Ajansı (UEA), ağır hizmet kamyonlarının karayolu kargo taşımacılığında ana petrol tüketicileri olduğunu ve bu sektörde tüketilen petrolün yarısını kullandıklarını vurgulamıştır (International Energy Agency, 2017). Bu kanıt, ulaştırma sektörünü, özellikle de kamyonları, emisyonları azaltmaya yönelik küresel çabaların ön saflarına yerleştirmektedir. Hava kirlenici emisyonlar alanında, yaşam döngüleri boyunca akülü elektrikli kamyonların (AEK) geleneksel muadillerinden önemli ölçüde daha iyi performansı olduğu gösterilmiştir (Sen ve diğ, 2017) ve bu da onları emisyon azaltımları için önemli bir fırsat olarak öne çıkarmaktadır.

Sürdürülebilir ulaşım çözümlerine duyulan ihtiyaca yanıt olarak, özellikle şehir içi binek ve hafif ticari araç uygulamaları bağlamında elektrikli araçlara (EA) odaklanan akademik araştırmalarda önemli bir artış görülmektedir ancak elektrikli yük araçlarının (EYA) yayılımına ilişkin literatür nispeten sınırlı kalmaktadır. EYA'lar için çeşitli ülkelerde kritik parametreler ve eşik değerleri için farklı sonuçlar sunan mevcut çalışmalar bulunmaktadır (Tanco ve diğ, 2019 ; Liimatainen ve diğ, 2019).

McKinnon ve Leonardi (2009), kamyonların çoğunlukla uzun mesafe için kullanıldığını ve uzun mesafe taşımacılığın pragmatik tanımının 3,5 tonun üzerinde

bir araç kullanarak 150 km'nin üzerinde bir mal taşımacılığı olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışma kapsamında, McKinnon ve Leonardi (2009) tarafından yapılan tanım dikkate alınarak kamyonların uzun mesafe taşımacılığı temsil ettiği kabul edilmiştir.

Literatür taraması, önceki araştırmaların AEK'ların benimsenmesine yönelik kriterlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi gibi niteliksel yönleri ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu niteliksel yaklaşım, AEK'nın benimsenmesini etkileyen faktörlerin anlaşılmasını sağlamaktadır ancak hedeflere ulaşmayı sağlayacak kararları alabilmek için hayati önem taşıyan ayrıntılı, niceliksel verileri ortaya koymamaktadır. 2030 ve 2050 yıllarındaki sera gazı emisyon hedeflerine etkili bir şekilde katkıda bulunmak için, farklı kriterlerin AEK satın alma oranlarını nasıl etkilediğini gösteren niceliksel analizlere ihtiyaç vardır. Bu tür veriler, yalnızca belirli kriter değerlerine dayalı olarak AEK'nın benimsenmesine ilişkin doğru tahminleri kolaylaştırmakla kalmayacak, aynı zamanda bu kriterlerde gerekli ayarlamalara veya emisyon azaltma hedeflerini karşılamak için hedeflenen teşviklerin uygulanmasına da yol gösterecektir. Literatürdeki bu eksiklik, AEK'nın benimsenmesi konusunda nicel karar verme araçlarına olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Bu çalışma, literatürde tespit edilen boşluğu doldurmak üzere, AEK satın alma karar süreçlerini açıklayan nicel bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır. AEK alımında karar verme sürecine yönelik kapsamlı bir model sunarak sürdürülebilir ulaşım literatürüne katkı sağlamayı hedeflemektedir. Çalışmada, sürdürülebilir nakliye seçenekleri üzerinde çalışma sektör uzmanları, politika yapıcılar ve akademisyenler için önemli bilgiler sunulmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde EYA'ların benimsenmesi ve EA filolarının yönetimi hakkında kapsamlı bir literatür taraması sunulmaktadır. İkinci bölümde Türkiye'de yük taşımacılığında kullanılan araçlar ve şarj istasyonlarının mevcut durumu ve dünya elektrikli kamyon pazarı ile ilgili bilgiler paylaşılmaktadır. Üçüncü bölümde analitik modelin geliştirilmesi için bu çalışmada kullanılan bulanık mantık ve Delphi yöntemi ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde, bulanık mantık kullanan potansiyel alıcılar için karşılaştırma süreci detaylandırılarak adım adım bir analiz sunulmaktadır. Bölüm 5'te, araştırmanın önemli bulguları özetlenmekte ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesine yönelik çıkarımlar ve AEK'ların bu çabadaki rolü vurgulanmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Tez çalışmasında, uzun mesafe yük taşımacılığını temsil eden ve sera gazı emisyonlarında önemli pay sahibi olan kamyonların satın alma karar süreçleri incelenmektedir. Bu çalışma kapsamında, pilot bölge Türkiye için, sera gazı emisyonlarının azaltılması için umut vaat eden AEK'ların benimsenmesi konusunda;

- Engellerin tanımlanması ve limit değerlerinin belirlenmesi,
- Ekonomik faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlerin AEK satın alma kararını nasıl etkilediğinin ortaya konulması,
- Sosyal faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlerin AEK satın alma kararı üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
- AEK satın alma karar süreci modelinin oluşturulması hedeflenmektedir.

Kamyon satın alma kararları lojistik firmaların karlılığı ve başarısı için önemlidir. TÜİK verilerine göre 2023 sonu itibariyle Türkiye 959,793 araç ile büyük bir kamyon parkına sahiptir (Url-2). Elektrikli araçlar konusunda gelişen teknolojiler, uzun mesafe yük taşımacılığında fırsatlarla beraber riskler de yaratmaktadır. Bu çalışmada ortaya konulan modelle yatırım kararlarındaki belirsizliklerin azaltılması, bir yandan risklerin iyi yönetilmesine diğer yandan fırsatların değerlendirilmesine imkan verecektir.

Oluşturulan modelle AEK satın alma oranları ile ilgili belirsizliğin azaltılması, politika yapıcıların sera gazı emisyonları, motorin tüketimi, elektrik tüketimi gibi konularda belirleyecekleri hedeflere ve oluşturacakları stratejilere katkıda bulunacaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Bu çalışmanın literatür araştırmasında, Google Akademik arama motoru kullanılmıştır. Çeşitli anahtar kelime grupları ile arama yapılarak konu ile ilgili bilimsel makalelerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi hedeflenmiştir. Arama için aşağıdaki anahtar kelime kombinasyonları kullanılmıştır:

- “Battery electric vehicle” VE “long haul transportation”;
- “Battery electric logistics vehicles” VE “long haul transportation”;
- “Electric trucks” VE “long haul transportation”;

- “Electric trucks” VE “lifetime costs”;
- “Battery electric trucks” VE “life cycle emissions”;
- “Electric vehicles” VE “logistic fleets”.

Tezle ilgili yayınlar belirlendikten sonra yayın listesi ilgili yayınların alıntı bağlantıları ile genişletilmiştir. Literatür araştırmasının güvenilirliğini korumak için, saygın yayıncıların kitap bölümleri ve akademik standartlara uygun doktora tezleri dahil olmak üzere güvenilir kaynaklara odaklanılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı gibi köklü kuruluşların öne çıkan raporları da alanla ilgisi ve güvenilirliği nedeniyle değerlendirmeye alınmıştır. Bu yaklaşım, ilgili makalelerin elde edilmesi için kapsamlı bir arama ve seçme süreci sağlamaktadır. EYA satın alma kararlarını etkileyen faktörlerin anlaşılmasını sağlamak için bulgular biraraya getirilerek makalelerin içeriğinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

1.2.1 Ulaştırma sektörü sera gazı emisyonları ve elektrikli araç performansı

Hem ulaştırma sektörünün neden olduğu CO₂ emisyonlarını, hem de orta ve ağır vasıtaların emisyonlardaki payını gösteren yazılar incelenmiştir. Latin Amerika'da CO₂ emisyonlarının %19'undan ulaştırma sektörünün sorumlu olduğu ve yük taşımacılığı emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip olan AEK'ların dizel kamyonlara modern bir alternatif temsil ettiği belirtilmektedir (Tanco ve diğ. 2019). Plötz ve diğ. (2019), Avrupa'daki sera gazı emisyonlarının %25'inden ulaştırma sektörünün sorumlu olduğunu, ulaştırma sektörü emisyonlarının ise yaklaşık %25'inden ağır vasıtaların sorumlu olduğunu belirtmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, 2017), yük taşımacılığının yaklaşık %65'inin brüt ağırlığı 15 tonun üzerinde olan ağır kamyonlar tarafından gerçekleştirildiğini, karayolu yük taşımacılığı sektöründeki petrolün yarısını ağır kamyonların tükettiğini ifade etmektedir. Kast ve diğ. (2017) orta ve ağır hizmet araçlarının ABD taşımacılık sektöründeki karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %26'sından sorumlu olduğunu, ağır hizmet araçlarının ise ulusal nitrojen oksit emisyonlarının %36'sına katkıda bulunduğunu belirtmektedir.

Çalışma kapsamında EYA'ların sera gazı emisyonlarına ilişkin yazılar incelenmiştir. Çabukoğlu ve diğ. (2018), iyi geliştirilmiş bir akü değiştirme altyapısıyla taşınan elektrikli kamyonların emisyonları yarıya indireceğini, akü teknolojisi veya altyapısındaki yeniliklerin ise daha fazla iyileştirmeye yol açabileceğini belirtmiştir.

Sen ve diğ. (2017), yaşam döngüsü sera gazı emisyonları karşılaştırıldığında akülü elektrikli ağır hizmet kamyonlarının en yakın rakipleri olan hibrit ve biyodizel kamyonlardan biraz daha iyi performans gösterdiğini ifade etmektedir. Sen ve diğ. (2017) ayrıca akülü elektrikli kamyonların, yaşam döngüleri boyunca açığa çıkan toplam konvansiyonel hava kirleticileri karşılaştırıldığında rakiplerinden çok daha iyi performans gösterdiğini, yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla elektrik enerjisi elde edilmesi durumunda akülü elektrikli kamyonların performansının daha da artabileceğini belirtmektedir. Sabet ve Farooq (2023) trafik ve emisyonların kapsamlı bir mikro simülasyonunu gerçekleştirmiştir ve akülü elektrikli araçların, hibrit elektrikli araçlar ve yenilenebilir yakıtlarla karşılaştırıldığında en düşük sera gazı emisyonlarına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Syre ve diğ. (2024) bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapmış ve akülü elektrikli araçların (AEA) sera gazı emisyonlarının yakıt hücreli EA'lara göre sürekli olarak daha düşük olduğunu belirtmiştir. Rogstadius ve diğ. (2024) teknolojik sınırlamalar ve ölçeklenebilirlik göz önüne alındığında biyoyakıtlar, hidrojen ve e-yakıtların 2035'ten önce sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunma kabiliyetine sahip olmadığını ifade etmiştir. Büyük ölçekte sıfır egzoz borusu emisyonuna ulaşmak için akülü elektrikli araçların tek uygun çözüm olduğu belirtilmiştir.

Wang ve Yu (2021), Çin'deki elektrikli araçların Lityum-iyon pillerinin (LiP) ayrıntılı yaşam döngüsü sürecini ortaya koymaktadır. Daha sonra her bir LiP türünün çevresel etkisi, yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi kullanılarak tahmin edilmektedir. LiP'lerin evrimi ile çevresel etkilerinin azaldığı belirtilmektedir. Ek olarak, atık LiP'ler uygun şekilde geri dönüştürülebilirse yaşam döngüsündeki çevresel etkilerinin önemli ölçüde azalacağı vurgulanmaktadır.

Bu bölümde belirtilen yaşam döngüsü sera gazı emisyonları karşılaştırmalarının detayı incelendiğinde, AEK'ların üretimi esnasında ortaya çıkan doğrudan emisyonların ve AEK'larda kullanılan elektriğin üretimi esnasında oluşan emisyonların dikkate alındığı görülmektedir. Üretim esnasında ortaya çıkan emisyonlar kapsam 1, satın alınan elektrik, buhar, ısı ve soğutmadan kaynaklanan emisyonlar kapsam 2 olarak tanımlanmaktadır (URL-7). Bu bölümde belirtilen yaşam döngüsü sera gazı emisyonları karşılaştırmalarında genel itibariyle kapsam 1 ve kapsam 2 olarak tanımlanan emisyonlar dikkate alınmaktadır. Tedarik zinciri boyunca oluşan ve kapsam 2 içerisinde olmayan tüm emisyonlar kapsam 3 olarak tanımlanmaktadır

(URL-7). Tedarik zinciri boyunca oluşan tüm emisyonları (kapsam 3) dikkate alan yaşam döngüsü emisyonu değerlendirmeleri ile literatür çalışmalarında karşılaşılmamıştır. Tedarik zinciri boyunca oluşan tüm emisyonların (kapsam 1 & kapsam 2 & kapsam 3) yapılan karşılaştırmalarda dikkate alınması ürünlerin çevreye toplam etkisini göstereceği için daha doğru analiz imkanı sağlayacaktır.

1.2.2 EYA'ların potansiyeli

Wang ve Thoben (2016) elektrikli ticari araçlar için şehir içi yük taşımacılığında etkili faktörleri analiz etmektedir. Uzun şarj süreleri, kısa sürüş menzili ve yüksek başlangıç yatırımlarının elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki başlıca engeller olduğu belirtilmektedir.

Cheng ve Lin (2024) çalışmasında, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki filo taşıyıcıları tarafından uzun mesafeli elektrikli kamyonların benimsenmesinin önündeki büyük engelleri tespit ederek, yüksek ilk maliyetleri, uzun şarj sürelerini, otoyol şarj istasyonlarının azlığını ve yetersiz politika desteğini vurgulamaktadır. Lin ve diğ. (2024), filo taşıyıcıları arasında uzun mesafe elektrikli kamyon taşımacılığının benimsenmesini kolaylaştırmak için destekleyici politikaların uygulanmasını, şarj altyapısı için finansman ve mali teşvikler yoluyla hükümet müdahalesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Bae ve diğ. (2024) ağır hizmet taşıt filosu operatörlerinin elektrik, hidrojen, sıkıştırılmış doğal gaz ve hibrit seçenekler de dahil olmak üzere çeşitli alternatif yakıtlı taşıtlara ilişkin bakış açılarını araştırmaktadır. Araştırma, yüksek başlangıç maliyetleri, belirsiz yatırım getirileri, operasyonel yetersizlikler, olgunlaşmamış altyapı, araç bulunamaması ve yetersiz hükümet desteği gibi endişelere dikkat çekmektedir. Chowdhury ve diğ. (2024) davranışsal faktörlerin düşük karbonlu ulaşım seçeneklerinin benimsenmesini nasıl etkilediğini inceleyerek finansal engellerin küçük filo kuruluşlarını önemli ölçüde caydırdığını, teknik zorlukların ise daha büyük kuruluşlar için daha korkutucu olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, politika yapıcılarının bu engelleri ortadan kaldırarak ve destekleyici bir ekosistem yaratarak düşük karbonlu taşımacılığın daha hızlı benimsenmesini teşvik edebileceğini öne sürmektedir. Tanco ve diğ. (2023) Uruguay'da AEK'ların benimsenmesinin önündeki ana engelleri tanımlamaktadır. Bunlar arasında sürüş menzili, satın alma maliyeti, şarj altyapısının kullanılabilirliği ve yetersiz teşviklerle ilgili endişeler yer almaktadır. Konstantinou ve Gkritza (2023), şarj süresi, ürün kullanılabilirliği, iş

modelleri, şebeke esnekliği, operasyonel güvenilirlik ve hükümet desteği gibi faktörlerin ABD'de elektrikli kamyonların benimsenmesini nasıl kritik bir şekilde etkilediğini tartışmaktadır.

Samet ve diğ. (2023), akülü elektrikli kamyonların geniş çapta benimsenme potansiyeline sahip olduğunu ve operasyonel menzil kısıtlamaları için minimum gerekliliklerin karşılanması ve akü şarjı için bir elektrik güç ağına erişilmesi durumunda, yük taşımacılığı sektöründe sera gazı emisyonunu azaltacağını belirtmiştir.

Wang ve Thoben (2017) alternatif yakıtlı araçların (elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve doğalgazlı araçlar) 2013 yılı itibarıyla toplam hafif ticari araçların %1'ini oluşturduğunu belirterek, elektrikli ticari araçların benimsenme niyetinin yüksek olmasına rağmen yayılımın düşük olmasının nedenlerini araştırmıştır. Düşük işletme maliyetleri, düşük çevre maliyetleri, halkın katılımı, düşük emisyon salınımı, düşük gürültü seviyesi, düşük enerji tüketimi, çabuk hızlanma ve yüksek enerji verimliliğinin elektrikli ticari araçları teşvik eden faktörler olduğu belirtilmiştir. Elektrikli ticari araçların yaygınlaşmasını olumsuz etkileyen sorunların yatırım maliyetleri, akü yenileme maliyetleri, sürücü maliyetleri, erişilebilirlik, güvenlik, eğitim, ikinci akü kullanımı, akülerin teknolojik sınırlamaları ve şarj altyapıları olduğu belirlenmiştir.

Jiang ve Guo (2020), çalışma kapsamında Çin teşvik politikalarını ve akülü elektrikli lojistik araçların (AELA) sanayileşme sürecini gözden geçirmektedir. AELA teknolojik ilerlemesini değerlendirmek için 8 teknolojik göstergeden oluşan bir değerlendirme sistemi önerilmiştir. 2017 ve 2019 pazar modelleri için faydalı yük miktarı, araç hacmi, menzil, en yüksek hız, sürüş gücü, enerji verimliliği, çekiş aküsü ve motor teknolojisinin özellikleri analiz edilmiştir. AELA'ların araç toplam maliyeti, araç performansı ve güvenilirliğinin henüz avantajlı olmadığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, tüm performans parametrelerinin her geçen yıl gelişmekte olduğu ve lojistik talepleri sürekli karşıladığı belirtilmiştir. Pazarın olgunlaşması için sübvansiyonlara daha uzun süre ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır. Çin'in enerjinin dış ülkelere olan bağımlılığını azaltmaya ve enerji yapısının stratejik dönüşümünü gerçekleştirmeye acil ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır. Çin'in, yakıtlı araçlardan çıkış programları ve yeni enerji araçlarının geliştirilmesini desteklemek için ilgili endüstriyel politikaları oluşturduğu belirtilmektedir.

Taefi ve diğ. (2016a) politika yapıcılar ve EYA kullanıcılarıyla görüşmeler gerçekleştirmiştir ve onlardan literatürde önerilen 23 politika önlemini derecelendirmelerini istemiştir. Politika yapıcılar ile EYA kullanıcılarının derecelendirmeleri arasında büyük farklar olduğu belirtilmektedir. İYMK ile EYA arasındaki toplam sahip olma maliyeti (TSM) arasındaki açığı kapatmak için mali desteklerin literatürdeki bazı kaynaklarda ana çözüm olduğu belirtilmesine karşın çalışma sonuçlarının farklı sonuçlar gösterdiği belirtilmiştir. Çalışma sonuçlarının, şirket şarj altyapısı kurulumunun ve özel yasal önlemlerin alınmasının gerekliliğini gösterdiğini ancak politika yapıcılar tarafından bu konuların yeterince önemsenmediği vurgulanmıştır.

Taefi ve diğ. (2016b) Danimarka, Almanya, Hollanda, İsveç ve Birleşik Krallık'taki EYA girişimlerine ilişkin vaka çalışması örneklerini tartışmayı ve ortak eğilimler için destekleri ve engelleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Tüm ülkeler için ortak bulgular şu şekilde sıralanmıştır; daha yüksek kullanım oranı sağlamak için menzilin arttırılması beklenmektedir, akülerin ağırlığından dolayı yük kaybı oluşmaktadır, satış sonrası hizmetlerde kalite eksikliği bulunmaktadır (yedek parça eksikliği, onarım bilgilerinin sınırlı olması vb.), EYA kullanıcıları bunu karlı görmemektedirler ancak deneyim kazanıp geleceğe yönelik politikalar oluşturup sürdürülebilirlik konusunda müşterilerin gözündeki imajlarını güçlendirmek istemektedirler. Satış sonrası hizmetlerin eksikliğinin, kamyon üreticilerinin elektrikli kamyon pazarlarının geliştirilmesine güçlü bir şekilde dahil olmadıklarını gösterdiği de ayrıca belirtilmiştir.

Quak ve diğ. (2016a), uygulanan bir dizi uygulamadan (FREVIEW ve Amsterdam'daki Cargohopper örneği) elde edilen deneyimlere dayanarak, günlük şehir lojistik operasyonlarında EYA'ların kullanımına yönelik engelleri ve fırsatları tartışmıştır. EYA'ların kullanımı, konvansiyonel araçlara göre yüksek araç alım fiyatı ve ikinci el değerindeki belirsizlik gibi sorunlara yol açsa da, EYA'ların iyi bir teknik performansa sahip olduğu ifade edilmiştir. EYA'ları kullanan firmaların genel olarak bu araçlardan memnun olduğu belirtilmiştir. EYA'ların İYMK karşılaştırıldığında yapılan GZFT analizinde şu unsurlar öne belirtilmektedir;

- Güçlü yönler: Düşük yakıt maliyetleri, iyi çevresel performans, aracın sessizliği, devlet desteğiyle çalışma verimliliği, halk tarafından olumlu kabul görmesi.

- Zayıf Yönler: Yüksek tedarik maliyetleri, sınırlı yükleme kapasitesi, güvenilmez ve pahalı satış sonrası destek, büyük filoyla ilgili ağ sorunları, sınırlı araç kullanılabilirliği.
- Fırsatlar: Daha yeni araçların menzilinın daha yüksek olması, belirli niş işlere daha uygun olması, halka açık şarj noktalarının bulunması, yenilikçi araç/akü kiralama programları, akü fiyatında indirimler.
- Tehditler: Sertifikasyona ilişkin belirsiz düzenlemeler, düşük petrol fiyatları, artan enerji fiyatları, alternatif yakıtlarla çalışan araçların iyi çevresel performansı.

Quak ve diğ. (2016b), şehir içi yük taşımacılığında EA'ların kullanımının taşıyıcı perspektifinden uygulanabilirliğini araştırmaktadır. Çalışmada, taşıyıcıların EYA'lara yönelik tutumları da dahil olmak üzere iş durumunu etkileyen ilgili tüm faktörler incelenmiştir; teknolojik özellikler, mevcut kısıtlayıcı ve teşvik politikaları, mali ve mali olmayan teşvikler, faaliyet türleri, kentsel ortamlar ve lojistik organizasyonu dikkate alınmıştır. Sonuçlar, elektrikli yük taşıtlarına yönelik olumlu sosyal tutumu doğrulamaktadır. Elektrikli yük araçlarının çevresel performansının onların en güçlü yönlerinden biri olduğu teyit edilmektedir. EA'ların alım fiyatının konvansiyonel araçlara göre oldukça yüksek olduğu, EYA'ların operasyonel avantajlarının ise ticari durumu olumluya çevirmeye yetmediği vurgulanmaktadır. Bu nedenle işletmecilerin yeni sahiplik biçimleri aramaya devam ettiği ve yerel yönetimlerden hâlâ aktif bir rol beklendiği belirtilmektedir.

Rizet ve diğ. (2015) şehir içi ulaşımında İYMK'ların yerini EYA'ların alması durumunda karbondioksit oranlarının azalacağını öngörmekle birlikte menzil ve yükleme alanlarının EYA'ların kullanımına engel oluşturduğunu belirtmişlerdir.

EYA'ların uzun mesafe taşımacılığının geleceğine etkileri, bu değişimin kritik parametreleri, bu parametrelerin eşik değerleri ve EA kullanım oranlarına etkileri konusunda farklı ülkeler için farklı sonuçlar ortaya koyan çalışmalar bulunduğu ifade edilmiştir (Tanco ve diğ. 2019).

Higueras-Castillo ve diğ. (2023), EA'ların benimsenmesinde kültürel hususların önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Smith ve diğ. (2020) EA'ların orta ve ağır ticari araç pazarındaki payını arttırmak için geleneksel kamyonlara göre daha düşük TSM'ye ulaşması gerektiğini belirtmiştir.

Bakım, güvenilirlik, aşırı sıcaklıklarda performans, verimlilik ve parça ömrünü konu alan Ar-Ge çalışmalarının maliyet analizindeki belirsizlikleri azaltacağı düşünülmektedir. Orta ve ağır yük taşıtlarının kullandığı daha büyük bataryalar için hızlı şarj sağlayabilecek şarj cihazları ve altyapının geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Zhou ve diğ. (2017), Kanada'da sınıf 6 (orta hizmet sınıfı) AEK'lar ve dizel kamyonlar arasında yaptıkları karşılaştırmada, AEK'ların hem yaşam döngüsü sera gazı emisyonları hem de yaşam döngüsü TSM açısından dizel kamyonlara bir alternatif olduğunu göstermiştir. Karşılaştırma sonuçlarının hava sıcaklığı, elektrik fiyatları, dizel fiyatları, seyahat sırasındaki duraklama sıklığı gibi faktörlerden etkilendiği, hem sera gazı emisyonunda hem de TSM'de farklı senaryolarda AEK'ların veya dizel kamyonların öne geçebileceği belirtilmiştir.

Tanco ve diğ. (2019) AEK'lara yapılan ilk yatırımların benimsenmenin önündeki ana engel olduğunu vurgulamaktadır. Bunun EA'larla dizel araçlar arasındaki TSM'deki farkın ana nedeni olduğu belirtilmiştir. AEK'ların elektrik ve dizel kamyonların yakıt maliyetlerindeki farkın, ilk yatırımdaki farkı kapatabilecek bir faktör olduğu belirtilmiştir. Akaryakıt, elektrik, bakım, sigorta ve ithalat tarifelerinin, EA'ları ve dizel araçları TSM açısından başabaş noktasına getiren faktörler olarak gösterilmektedir. Değişik Latin Amerika ülkelerindeki farklı faktör fiyatlarının, başabaş noktasında ülkeden ülkeye önemli farklılıklar yarattığı, bunun da elektrikli araçların yaygınlaşmasının beklendiği zaman ufkunu değiştirdiği ifade edilmiştir.

De La Pena ve diğ. (2020), şarj altyapısının mevcudiyeti ve rota optimizasyonunun önemli olduğunu, dolayısıyla altyapı sistemi geliştirme ile araç operasyon planlaması arasındaki ilişkinin göz ardı edildiğini belirtmektedir.

Çabukoğlu ve diğ. (2018), iyi gelişmiş bir akü değiştirme altyapısıyla taşınan AEK'ların emisyonları yarıya indirme potansiyeline sahip olduğunu ifade etse de, mevcut durumda AEK'ların dizel kamyonlarla değiştirilemeyeceği sonucuna varmaktadır. Her ne kadar araştırma verilerinde tespit edilen birçok engel dikkate alınarak bu sonuca varılmış olsa da, daha ileri araştırmalar için hala birçok fırsatın bulunduğu da belirtilmektedir.

Liimatainen ve diğ. (2019) AEK'ların İsviçre'de ton-kilometrenin %71'ini, Finlandiya'da ise %38'ini kapsayabileceğini belirtmektedir. Çalışmada, AEK'ların,

orta hizmet kamyonlarıyla karayolu yük taşımacılığının büyük bir kısmı için zaten uygun bir çözüm olduğu gösterilmektedir. Akü kapasitesi ve şarj altyapısındaki iyileştirmelerle, AEK'ların ağır hizmet kamyonları ve yarı römorklar için uygun bir seçenek haline gelebileceği belirtilmektedir.

Sen ve diğ. (2017), akülü elektrikli ve hafif hibrit kamyonların, kullanım ömrü boyunca ortaya çıkan toplam maliyetler temelinde karşılaştırıldığında en iyi genel performansa sahip olduğunu belirtmiştir.

Burke ve Sinha (2020), uzun vadeli ekonomik değerlendirmede, menzil ihtiyaçlarının karşılanması durumunda EYA'ların yakıt hücreli taşıtlara göre daha uygun görüldüğünü belirtmiştir. Farkın elektrik ve hidrojenin göreceli maliyetlerine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Benzer şekilde EYA'ların dizel araçlarla rekabetçi maliyetlerinin elektrik ve dizel yakıtların göreceli fiyatlarına bağlı olduğu ifade edilmiştir.

EYA'ların uzun mesafe taşımacılıkta kullanılmasının önündeki en belirgin engellerden biri EYA'ların tek şarjla kat edebileceği mesafelerdir. Tek şarjla taşımının ne kadarının yapılabileceği, EA'ların uzun mesafe taşımacılıkta yaygınlaşması için temel eşiklerden biri olarak görünmektedir.

Çabukoğlu ve diğ. (2018) İsviçre örneğinden elde ettikleri verilerle EYA'ların çoğunluğunun günde 800 km'nin altında yol kat ettiği sonucuna ulaşmıştır. EYA'ların önemli bir bölümünün ise günde 400 km ve altında yol katettiği belirtilmiştir.

AEK'ların İsviçre'de ton-kilometrenin %71'ini, Finlandiya'da ise %38'ini karşılayabildiği bulgusu (Liimatainen ve diğ, 2019), iki ülke arasında dağıtım açısından beklentilerin ne kadar farklı olabileceğinin önemli bir örneğini oluşturmaktadır.

Earl ve diğ. (2018) ücretler, bakım, sigorta, yakıt ve elektrik fiyatları ile yolda şarjı dikkate alarak, dizel kamyonlar ile AEK'lar arasında teknik analiz, TSM karşılaştırması yapmayı mümkün kıldığını belirtmektedir. Sonuçlar, maliyet rekabeti konusunda en büyük hassasiyetin elektrik fiyatı ve daha az ölçüde de karayollarındaki sıfır emisyonlu kamyonlara uygulanabilecek karayolu şarj indirimi olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, akülü elektrikli ağır hizmet kamyonlarının hem teknik hem de ekonomik fizibilitesine ilişkin bazı şüphelerle çelişmektedir.

Mareev ve diğ. (2017), yaşam döngüsü maliyet esasına göre AEK'ların belirli senaryolarda dizel kamyonlarla aynı maliyet seviyesinde performans gösterebileceğini ifade etmektedir.

AEK'lardan farklı teknolojilerin kullanıldığı EA alternatifleri de bulunmaktadır.

Plötz ve diğ. (2019) üstten beslenen katener hibrit elektrikli kamyonları incelemiştir. Avrupa elektrik sistemine getireceği ek yükün toplam enerji sistemi üzerindeki etkisinin sınırlı olacağı belirtilmiştir.

Kast ve diğ. (2017), hidrojen yakıt hücresi EA'ların, taşıma gücü üretimi için kullanılacak temiz hidrojen yakıtı için ölçeklenebilir bir yol sağladığını ve birçok kamyon sınıfı için uygulanabilir olduğunu ifade etmektedir.

Quaranta ve diğ. (2023) dizel bir kamyon (450 HP'lik 6 silindirli bir dizel motor ve 44 tonluk brüt araç ağırlığı), bir AEK ve hidrojenle çalışan bir kamyon arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Hidrojenle çalışan kamyonların TSM ve hayat boyu emisyonlarının daha düşük olduğu belirtilmiştir.

De Wolf ve Smeers (2023), hidrojenli araçların temel avantajlarını özerklik ve hızlı şarj olarak, akülü elektrikli araçların ise temel avantajlarını daha düşük fiyat ve elektrik şebekesinin geniş kullanılabilirliği olarak belirtmektedir. AEA'ların kısa mesafeli yolculuklarda kullanılacağı, yakıt hücresi elektrikli araçların ise uzun mesafeli ve ağır yük taşımacılığında talebi karşılayacağı tahmin edilmektedir.

Göckeler ve diğ. (2023) akülü elektrikli ağır hizmet araçlarının taşımacılık pazarına hakim olacağını belirtmektedir. Yakıt hücresi kamyonların ve katenerli kamyonların potansiyelinin düşük olduğu tahmin edilmektedir.

Burke ve Sinha (2020), bataryalı elektrikli araçların ve yakıt hücresi hidrojen teknolojilerinin orta hizmet (MD) ve ağır hizmet (HD) araç pazarlarına girişini projelendirmeyi ve her bir teknoloji için hangi pazarların en uygun olacağını ve başarılı girişleri için en kritik faktörleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada çeşitli türdeki kamyonlar ve otobüsler (teslimat kamyonetleri, transit otobüsler, şehirlerarası otobüsler, uzun mesafe ve kısa mesafe çekici römorkları ve ağır hizmet kamyonları) ele alınmaktadır. Özetle, eğer kamyonun menzil gereksinimi (mil) akü kullanılarak karşılanabiliyorsa, akülü elektrikli otobüs ve kamyonların uzun vadeli ekonomisinin, yakıt hücresi/hidrojen seçeneğine göre daha avantajlı görüldüğü belirtilmektedir. Bunun temel nedeninin, hidrojenden elde edilen elektriğin kullanılmasıyla enerji

işletim maliyetlerinin (\$/mil) önemli ölçüde düşük olması şeklinde ifade edilmiştir. Fark elbette elektrik ve hidrojenin göreceli maliyetlerine bağlıdır.

Canese (2018), teknik ve ekonomik analize dayanarak, yakıt hücreli EA ağırlığı ve maliyetinin, artan menzile pillere göre çok daha az duyarlı olduğu tespitini yapmaktadır. Tespitin temel nedeni, AEK'larda hem güç hem de enerjiden akünün sorumlu olması, yakıt hücreli elektrikli kamyonlarda ise gücün yakıt hücresi sistemi tarafından sağlanması ve enerjinin depolanan hidrojen yakıtı miktarıyla ilgili olmasına dayandırılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çalışmasında, yakıt hücreli elektrikli kamyonlar, gelecekteki kamyonla karbonsuzlaştırma senaryoları için umut verici bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır.

Hovi ve Ruben (2019), Norveç'te teknoloji durumu, AEA'ları ilk benimseyenlerin kullanıcı deneyimleri ve akülü elektrikli ağır hizmet araçlarının çalıştırılma potansiyeli hakkında genel bir bakış sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, küçük ölçekli seri üretimde, ağır hizmet kamyonlarındaki dizel kamyonlara karşı rekabet açısından uygun maliyetli başka bir seçenek olmadığı gösterilmektedir. Aynı varsayımlarla seri üretim yapılması halinde AEK'ların maliyetlerinin düşerek ağır kamyonlarda dizel rakiplerine karşı ciddi bir rekabet avantajı sağlayabileceği öngörülmektedir. Seri üretildiğinde aynı varsayımlar altında, AEK'ların, yarı römork çekicilerde, hem dizel araçlara hem de hidrojen yakıt hücreli araçlara göre ciddi bir maliyet avantajı sağlayacağı tahmin edilmektedir.

Mareev ve Sauer (2018), tavan üstü katenerli kamyonun, ağır hizmet kamyonlarıyla uzun mesafe taşımacılığı için ilginç bir teknoloji olduğunu, çünkü sürüş sırasında katener aracılığıyla enerji sağlama avantajını ve aküyle çalışan bir kamyonun esnekliğini birleştirebildiğini belirtmektedir. Çalışmada, katener kamyonların Almanya yollarındaki enerji tüketimi araştırılmaktadır ve cer aküsü ve katener güç sistemi için farklı konfigürasyonlar değerlendirilmektedir. Tavana monteli katener kamyonların yaşam döngüsü maliyetleri, belirli bir uzun mesafe taşıma senaryosu için hesaplanmıştır ve sonuçlar, yazarların önceki çalışmasının bulguları kullanılarak akülü elektrikli kamyonlar ve dizel kamyonlarla karşılaştırılmıştır. Dikkate alınan tavan katenerli kamyonların enerji tüketiminin, akülü elektrikli kamyonların enerji tüketimine yaklaşık olarak eşit olduğu, ancak geleneksel bir dizel kamyonun eşdeğer enerji tüketiminin yalnızca yarısı kadar olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmadaki maliyet varsayımlarına göre, tavana monteli katenerli kamyonların toplam yaşam döngüsü

maliyetleri, geleneksel dizel kamyonlarla aynı aralıkta olabilmektedir ve bu da bu alternatif kamyon teknolojisinin rekabet gücünü göstermektedir.

Speth ve Funke (2019), üstten katener hatlar veya hidrojen gibi diğer çözümlerin yanı sıra, akü değiştirme sistemlerinin de, akü şarjına izin vermeyen, yalnızca kısa boşta kalma sürelerine sahip ağır karayolu taşımacılığındaki kullanım durumları için ilginç olabileceğini ifade etmektedir. Makale, Almanya'daki Berlin-Peine güzergahı boyunca belirli bir kullanım durumu için pil değişimi ve elektrikli yol sistemlerinin teknolojik karşılaştırmasını yapmaktadır. TSM perspektifinden bakıldığında, akü değiştirme istasyonları ve katener araçları gibi her iki alternatif de ağır hizmet karayolu taşımacılığının elektrikli hale getirilmesi için bir seçenek olarak görünmektedir.

Mourello (2016), bir treni ve birkaç elektrikli aracı birleştirebilen intermodal dağıtım ağlarının, müşterilerin dağıtımından bağımsız olarak, yüksek hacimli ve uzun mesafeli taşımacılık için tek modlu ağlardan daha verimli ve çevre dostu olduğunu göstermektedir. Böyle bir kombinasyon, sistemin kapasitesini en üst düzeye çıkaran, kat edilen toplam mesafeyi en aza indiren, yol sıkışıklığını ve enerji tüketimini azaltan ve CO2 emisyonlarını yüzde 50'den fazla azaltarak hava kalitesinin ve çevre koşullarının iyileştirilmesine katkıda bulunan çevre dostu bir dağıtım ağıyla sonuçlanmaktadır.

Literatür taramasında elektrikli yük taşıtlarına ilişkin öne çıkan bulgular aşağıda yer almaktadır:

- İlk Yatırım Maliyeti: Literatür, EYA'larla ilişkili yüksek başlangıç yatırım maliyetini, bunların daha geniş çapta benimsenmesinin önündeki temel engel olarak tutarlı bir şekilde tanımlamaktadır (Quak ve diğ, 2016a ; Quak ve diğ, 2016b ; Wang ve Thoben, 2016 ; Wang ve Thoben, 2017 ; Bae ve diğ, 2024 ; Chowdhury ve diğ, 2024 ; Tanco ve diğ, 2023).
- Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi: Yaşam döngüsü maliyetlerine dayalı olarak AEK ve İYMK'yı karşılaştıran çalışmalar, bu araç türlerinin özellikle uzun mesafeli yük taşımacılığı bağlamında maliyet eşitliğine ulaşabileceğini göstermektedir (Sen ve diğ, 2017 ; Liimatainen ve diğ, 2019 ; Burke ve Sinha, 2020 ; Earl ve diğ, 2018 ; Hovi ve Ruben, 2019 ; Mareev ve diğ, 2018 ; Zhou ve diğ, 2017 ; Mourello, 2016). Bu eşitlik, belirli sektörlerde elektrikli araçların

benimsenmesini destekleyen değişen bir ekonomik manzaraya işaret etmektedir.

- Şarj Altyapısı Yatırımı: EYA şarj altyapısının geliştirilmesi için gerekli olan önemli yatırımın, İYMK için mevcut yakıt altyapısıyla karşılaştırıldığında kayda değer bir dezavantaj olduğu vurgulanmakta ve EYA'lar için ömür boyu maliyet karşılaştırmalarını olumsuz yönde etkilemektedir (Wang ve Thoben, 2017 ; Taefi ve diğ, 2016a).
- Operasyonel Maliyetler: AEK'ların, İYMK'ların yakıt maliyetleriyle karşılaştırıldığında daha düşük elektrik maliyetlerine atfedilen operasyonel maliyet avantajı, daha yüksek ilk yatırım maliyetlerinin sunduğu dezavantajı potansiyel olarak telafi etmektedir. Bu denge, elektrik ve dizel fiyatlarına ilişkin tahminlere duyarlı olup, AEK'nın benimsenmesiyle ilgili ekonomik karmaşıklıkları göstermektedir (Tanco ve diğ, 2019 ; Quak ve diğ, 2016a ; Wang ve Thoben, 2017 ; Mareev ve Sauer, 2018).
- Ülkeye Özgü Faktörler: Değişik ülkeler arasında enerji fiyatları ve altyapı yatırımları gibi faktör maliyetlerindeki farklılıklar, AEK'lar ve İYMK'lar arasındaki ekonomik başabaş noktasında önemli eşitsizliklere yol açmakta, bu da AEK'ların uygulanabilirliğinin ulusal koşullara bağlı olduğunu göstermektedir (Tanco ve diğ, 2019).
- Menzil ve Şarj Sınırlamaları: AEK'ların özellikle uzun mesafe taşıma için tek şarjla çalışma menzili ve AEK'ların uzun şarj süreleri, bunların yaygın kullanımlarının önünde kritik engeller olarak tanımlanmaktadır (Wang ve Thoben, 2016 ; Tanco ve diğ, 2023 ; Taefi ve diğ, 2016b ; Rizet ve diğ, 2016 ; Konstantinou ve Gkritza, 2023). Bu operasyonel zorluklar, AEK'ları daha rekabetçi hale getirmek için pil teknolojisinde ve şarj altyapısında ilerleme yapılmasını gerektirmektedir.
- Batarya Ağırlığı ve Faydalı Yük: AEK'lardaki bataryaların, İYMK'lardaki dizel tanklara göre artan ağırlığı, AEK'ların benimsenmesi için bir dezavantaj olarak değerlendirilen faydalı yük kaybına neden olmaktadır. Bu durum, pillerin enerji yoğunluğunu iyileştirmek için teknolojik yeniliklere olan ihtiyacı vurgulamaktadır (Quak ve diğ, 2016a ; Taefi ve diğ, 2016b).

- Rota Planlama Kısıtlamaları: AEK'ların kullanıma sunulması, pil menzili ve şarj istasyonlarının kullanılabilirliği de dahil olmak üzere rota planlamasına ek kısıtlamalar getirir. Bu, bu yeni değişkenlere uyum sağlamak için lojistik stratejilerin yeniden değerlendirilmesini gerektirir (De la Pena ve diğ, 2020).
- Teknolojik Gelişmeler: Seri üretim yoluyla artan menzil ve azaltılmış TSM dahil olmak üzere pil teknolojisindeki gelişme beklentisi, AEK'ların çekiciliğini artırabilecek önemli bir faktör olarak görülmektedir (Hovi ve Ruben, 2019).
- Servis ve Bakım: Bakım hizmet kalitesinin İYMK'larla aynı seviyede olması beklentisi literatürde açıkça belirtilmektedir. Hizmet kalitesi, AEK'lara ilişkin satın alma kararlarında etkili bir faktördür (Quak ve diğ, 2016a ; Taefi ve diğ, 2016b ; Smith ve diğ, 2020).
- Yeniden Satış Değeri Kaygıları: AEK'ların ikinci el piyasa değerindeki belirsizlik, AEK'ların benimsenmesinde bir engel teşkil etmektedir ve potansiyel alıcılar için TSM ve mali hususlar üzerinde belirsizlik yaratmaktadır (Quak ve diğ, 2016a ; Bae ve diğ, 2024).
- Çevresel Hususlar: AEK'lar İYMK'lara kıyasla daha düşük sera gazı emisyonları sunarken, bu çevresel avantaj tek başına yaygın bir şekilde benimsenmesi için yeterli görülmemektedir. Taşıyıcılar arasında gelişmiş halkla ilişkiler ve sosyal sorumluluk arzusu dikkat çekicidir ancak ekonomik ve operasyonel faktörler hâlâ en önemli konu olmaya devam etmektedir (Quak ve diğ, 2016a ; Quak ve diğ, 2016b ; Wang ve Thoben, 2017 ; Bae ve diğ, 2024 ; Taefi ve diğ, 2016b).
- Uzun Vadeli Yatırım ve Belirsizlik: AEK'ların satın alınması, belirsizliklerle dolu uzun vadeli bir yatırım kararı olarak kabul edilmektedir. Hükümetler tarafından belirlenen strateji ve hedeflere rağmen, taşıyıcılar AEK'lara geçişle ilişkili riskleri azaltmak için daha somut yol haritaları ve resmi yasal rehberlik beklemektedir (Quak ve diğ, 2016a ; Bae ve diğ, 2024 ; Chowdhury ve diğ, 2024 ; Taefi ve diğ, 2016a).

1.2.3 EA filo yönetimi

EA filosu yönetimine ilişkin literatür özeti, uygulama alanları, yöntemler, kriterler, uygulamalar ve bulgular dahil olmak üzere çeşitli kategoriler altında düzenlenmiştir. Bu yaklaşım, ayrıntıları Çizelge 1.1, Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3'te verilen özetlerle ortaya konmuştur.

EA filosu yönetimine ilişkin literatür özetlendiğinde, ekonomik hususların, özellikle de TSM'nin, EYA tedarikine yönelik karar verme sürecinde çok önemli bir rol oynadığı ortaya çıkmaktadır. Feng ve diğ. (2019), EA'nın benimsenme oranlarını etkileyen faktörleri iki ana kategori altında analiz etmiştir: algılanan ekonomik fayda ve algılanan sosyal fayda. Algılanan ekonomik faydanın elektrikli araç satın alma konusundaki genel eğilimi önemli ölçüde belirlediği, diğer taraftan algılanan sosyal faydanın belirli koşullar altında bu eğilimi artırabileceği belirtilmiştir.

Tez çalışmasında yapılan literatür taraması, tek bir şarjla ulaşılabilen menzil gibi operasyonel sınırlamaların, belirli eşik değerlerin altına düştüğünde EYA'ların benimsenmesine engel teşkil ettiğini göstermektedir. Bu tür engeller karar verme sürecinde kritik öneme sahiptir ve EYA'ların daha geniş çapta benimsenmesini etkilemektedir.

Şehir içi binek ve hafif ticari araç kullanımına yönelik EYA'lar de dahil olmak üzere EA'lar hakkında önemli miktarda çalışma bulunmasına rağmen, yük taşımacılığı sektöründe AEK'lar için satın alma kararı sürecini etkileyen faktörlerin açıklanmasında eksiklikler bulunmaktadır. Önceki araştırmalar AEK'ların benimsenmesini etkileyen kriterler ve bu kriterlerin önemi konusunda farklı sonuçlar göstermektedir. Tüm kriterleri tek bir çerçevede birleştiren kapsamlı modellerin eksikliği göze çarpmaktadır. Ayrıca, mevcut literatürde ilk yatırım maliyetleri, ücretlendirme altyapısı ve mevzuat netliği gibi belirli engeller ve faktörler tartışılrsa da, bu engellerin limit değerlerini belirlemek ve diğer faktörlerin satın alma kararları üzerindeki etkilerini ölçmek ve analiz etmek için sistematik bir yöntem kullanan bir araştırma ile karşılaşılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, bulanık mantık ve Delphi tekniğinin bir kombinasyonunu kullanarak bu boşluğu gidermektir. Tezde oluşturulan model, bulanık mantık ve Delphi yöntemini kullanarak, yalnızca subjektif değerlendirmeleri nicel analizle bağlamakla kalmamakta, aynı zamanda AEK alımına ilişkin karar verme süreci için kapsamlı bir çerçeve sağlamaktadır.

Çizelge 1.1 : EYA benimsenme literatür özeti

Makale	Araç Türleri	Ulaşım Türü	Ülke	Yöntem	Araştırma Konusu
Bae ve diğ. (2024)	EYA	Yük taşımacılığı	ABD	Yarı yapılandırılmış görüşme	Ağır hizmet araçlarının daha geniş çapta ve daha hızlı benimsenmesini kolaylaştırmak için filo operatörlerinin alternatif yakıtlara ilişkin bakış açılarını anlamak
Burke ve Sinha (2020)	Tüm araç türleri	Yük ve Yolcu taşımacılığı	ABD	Literatür taraması, İkincil veri analizi	2020-2040 dönemi için orta ve ağır hizmet araç sınıflarında EA ve yakıt hücreli araçların hangi pazarlarda uygun olduğunun araştırılması
Chowdhury ve diğ. (2024)	EYA	Yük taşımacılığı	ABD	Yarı yapılandırılmış görüşme	Yarı yapılandırılmış görüşmelerin niteliksel bir değerlendirmesi. Sonuçlar üretken yapay zeka aracıyla iyileştirilmiştir
Earl ve diğ. (2018)	EYA	Yük taşımacılığı	Avrupa Birliği	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Uzun mesafe taşımacılığında toplam sahip olma maliyetine göre EYA ve İYMA karşılaştırması
Hovi ve diğ. (2019)	EYA	Yük taşımacılığı	Norveç	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Bataryalı elektrikli ağır hizmet araçlarının kullanıcı deneyimlerine ve potansiyeline genel bir bakış sağlanması
Kast ve diğ. (2017)	Yakıt hücreli EYA	Yük taşımacılığı		Literatür taraması, İkincil veri analizi	Orta ve ağır hizmet tipi dizel kamyonların yakıt hücreli elektrikli araçlara dönüştürülmesinin uygunluğu
Konstantinou ve Gkritza (2023a)	EYA	Yük taşımacılığı	ABD	Grey-DEMATEL yöntemi	AEK'nın bir sistem olarak benimsenmesinin önündeki engellere ilişkin daha fazla çalışma ve politika karar alma sürecini geliştirmek için sıralamalarının incelenmesi
Liimatainen ve diğ. (2019)	EYA	Yük taşımacılığı	İsviçre, Finlandiya	Literatür taraması, İkincil veri analizi	İsviçre ve Finlandiya'daki kamyon filolarından elde edilen verileri kullanarak EYA'ların potansiyelini keşfetme
Mareev ve Sauer (2018)	EYA	Yük taşımacılığı	Almanya	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Tavana monte akülü EA'ların, tamamen akülü EA'ların ve dizel kamyonların yaşam döngüsü maliyet karşılaştırması
Mareev ve diğ. (2018)	EYA	Yük taşımacılığı	Almanya	İkincil veri analizi	Uzun mesafe taşımacılığında farklı taşıma senaryolarında EYA'ların ve İYMK'ların yaşam döngüsü maliyetlerinin karşılaştırılması
Plötz ve diğ. (2019)	EA	Yük taşımacılığı	Avrupa Birliği	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Havai hatlardan beslenen katener hibrit elektrikli kamyonların Avrupa elektrik sistemine getirdiği ek yükün toplam enerji sistemine etkisi
Quak ve diğ. (2016)	EYA	Yük taşımacılığı	Avrupa Birliği	Araştırma projeleri	Kentsel yük taşımacılığında EYA'ların engelleri ve GZFT analizi

Çizelge 1.1 (devam) : EYA benimsenme literatür özeti

Makale	Araç Türleri	Ulaşım Türü	Ülke	Yöntem	Araştırma Konusu
Rizet ve diğ. (2016)	EA	Yük taşımacılığı	Fransa	Anket	Şehir içi yük taşımacılığının dizel araçlardan EYA'lara aktarılmasıyla CO2 emisyonlarının azaltılması
Schmid ve diğ. (2020)	EYA	Yük taşımacılığı	Almanya	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Dizel motorlu ve elektrikli atık toplama araçlarının ömür boyu emisyon değerleri ve TSM analizi
Sen ve diğ. (2017)	EYA	Yük taşımacılığı	ABD	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Sınıf 8 ağır hizmet kamyonlarının kullanım ömrü emisyonları ve maliyetlerinin karşılaştırılması: EYA, İYMK ve Hibrit
Smith ve diğ. (2020)	Tüm araç türleri	Yük ve Yolcu taşımacılığı	ABD	Literatür taraması, İkincil veri analizi, Bire bir ve Odak grup tartışması	Ticari araçların EA'lara dönüşüm durumunun değerlendirilmesi ve gelişim ve yayılmayı etkileyen boşlukların ve engellerin belirlenmesi
Taefi ve diğ. (2016)	EYA	Yük taşımacılığı	Almanya	Anket	EYA'ları desteklemek için önerilen politikaların belirlenmesi
Taefi ve diğ. (2016)	EYA	Yük taşımacılığı	Almanya, Danimarka, Hollanda, İngiltere, İsveç	Araştırma projeleri	EYA vaka çalışmalarının analizi yoluyla desteklerin ve engellerin belirlenmesi
Tanco ve diğ. (2019)	EYA	Yük taşımacılığı	Arjantin, Brezilya, Kolombiya, Şili, Uruguay	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Kantitatif doğrusal bir model kullanarak, farklı segmentlerdeki EYA'ların TSM açısından İYMA'larla başabaş noktasına ulaştığı yılın hesaplanması
Tanco ve diğ. (2023)	EYA	Yük taşımacılığı	Uruguay	Delphi çalışması	AEK'ların benimsenmesinin önündeki engellerin listesinin sunulması
Wang ve Thoben (2016)	EYA	Yük taşımacılığı		Literatür taraması, Anket	EYA'lar kentsel yük taşımacılığında nasıl uygulanabilir?
Wang ve Thoben (2017)	EYA	Yük taşımacılığı		Literatür taraması	EYA'ların benimsenme niyetinin yüksek ancak yayılmasının düşük olmasının nedenleri
Zhou ve diğ. (2017)	EYA	Yük taşımacılığı	Kanada	Literatür taraması, İkincil veri analizi	Sınıf 6 orta hizmet kamyonların yaşam döngüsü emisyonları ve maliyetlerinin EYA ve İYMK karşılaştırması

Çizelge 1.2 : Elektrikli araç filo yönetimi literatür özeti

Makale	Uygulama Alanı	Yöntem	Kriter	Uygulama ve tespitler
Lebeau ve diğ. (2015)	Hafif Ticari Araçlar	Decision making process	TSM	Duyarlılık analizi ile gelecekteki potansiyel araştırılıyor
Wikström ve diğ. (2016)	Akülü Elektrikli Araçlar (AEA)	Focus Group Discussions	Pratik deneyimler	40 AEA kullanıcısının AEA'ları çalıştırma konusundaki gerçek deneyimleri ve operasyonel engellere odaklanma
Globisch ve diğ. (2018a)	Ticari havuzlu araba filoları	Teknoloji kabul modeli Yapısal denklem modelleme	Algılanan bireysel fayda, Algılanan kullanım kolaylığı	EA'ların ticari havuzlu araç filolarında kabul edilmesinin öncüllerini araştırıyor.
Globisch ve diğ. (2018b)	Elektrikli Araç Havuzu Yönetimi	Organismic Integration Theory	Kurumsal değerler, Bireysel değerler	Araba havuzu yöneticilerini AEA alımı için kampanya yapmaya neyin motive ettiğini incelemek için regresyon analizi
Giordano ve diğ. (2018)	Akülü elektrik dağıtım kamyonetleri	Decision making process	TSM	Ekonomik açıdan zaten çekici olan bazı şehirlerde mevcut teşvikler varken, diğer şehirlerde teşviklere ihtiyaç duyulmaktadır.
Ahani ve diğ. (2016)	Şehir içi ulaşımaya yönelik elektrikli araçlar	Mixed integer nonlinear programming	TSM, Minimum risk	Maliyet ve riskleri dikkate alan portföy teorisi kullanılarak bir optimizasyon çerçevesi geliştirildi
Zhao ve diğ. (2016)	Ticari filo için elektrikli kamyon	Multi-Objective Linear Programming	Yaşam döngüsü maliyetleri ve Çevresel kaygılar	30 ticari teslimat kamyonundan oluşan bir filo için optimize edilmiş çözümler sunan bir model
Ghandriz ve diğ. (2021)	Elektrikli Ağır Vasıta Filosu	Decision making process	TSM	Heterojen bir ağır araç filosu (AEK ve İYMK) daha maliyet ve enerji açısından verimli bir şekilde tasarlanmıştır.
Adeniran (2020)	Kurye, ekspres ve paket teslimatı	Ajan bazlı seyahat talebi modeli	TSM	İki sürdürülebilir durum senaryosu, bir temel senaryoyla karşılaştırılmıştır.
Taşdan ve diğ. (2023)	Elektrikli yük araçları	Karışık Tam Sayılı Programlama modeli	Sürücü maliyeti, yakıt maliyeti	Kısa mesafeli yük taşımacılığında EA kullanımının hem maliyet hem de emisyonlar açısından faydaları
Taefi ve diğ. (2017)	Orta hizmet EA	Sayısal simülasyon yaklaşımı	TSM	Saha testlerinden elde edilen gerçek dünyadaki enerji tüketimine ilişkin ampirik bulgular
Schmid ve diğ. (2020)	Elektrikli atık toplama araçları	Rota sentezleme yaklaşımı	TSM Yaşam boyu emisyon maliyetleri	Beş farklı rota tipinin gerçek hayattaki operasyonel verileri

Çizelge 1.2 (devam): Elektrikli araç filo yönetimi literatür özeti

Makale	Uygulama Alanı	Yöntem	Kriter	Uygulama ve tespitler
Sosyal ve diğ. (2021)	Elektrikli yük araçları	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama modeli	Yakıt ve elektrik maliyeti, Ulaşım emisyonları	Elektrikli ve konvansiyonel araçların karma filosu altında Kapalı Döngü Envanter Yönlendirme Problemi
Bae ve diğ. (2022)	Ağır vasıta filoları	Niteliksel araştırma yaklaşımı	İşlevsel uygunluk, Genel maliyetler, Çevresel faydalar	Alternatif yakıtlı araçların benimsenmesine ilişkin ağır hizmet taşıt filosu operatörünün davranışını anlamak
Lehmann ve diğ. (2024)	Service Network Fleet Transition Problem	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Sabit maliyetler + İşletme Maliyetleri + Altyapı Maliyetleri	Şirketlerin düşük karbonlu araç filolarına ve operasyonlarına geçişlerini yönlendirin ve kolaylaştırın
Anderhofstadt ve Spinler (2019)	Ağır hizmet kamyonları	Delphi çalışması	Maliyet, sosyal, çevresel, politik, pratiklik faktörleri	Bir kamyonun sahip olma maliyeti genellikle müşteriler için en önemli faktördür
Konstantinou ve Gkritza (2023a)	Elektrikli kamyonlar	Gri-DEMATEL yöntemi	Ürün bulunabilirliği, Şarj süresi	Ürün kullanılabilirliği ve şarj süresi, sistemdeki AEK'nın benimsenmesinin önündeki en önemli engellerdir
Konstantinou ve Gkritza (2023b)	Orta ve ağır hizmet tipi elektrikli kamyonlar	Kamyon filosu yöneticileri/sahipleri anketi	TSM, Sürdürülebilirlik	Kamyon filosu yöneticilerinin filolarını elektrikli hale getirme niyetleri
Lyu ve diğ. (2023)	Elektrikli kamyonlar	Yaşam döngüsü değerlendirmesi ve TSM	TSM, Sera gazı emisyonları	Dizel kamyonlardan AEK'lara geçiş için yaşam döngüsü sera gazı emisyonları ve TSM analiz edildi
Tanco ve diğ. (2023)	Elektrikli kamyonlar	Delphi çalışması	Yaşam döngüsü maliyeti, altyapı, menzil, teknoloji uyarlama	Uruguay'da AEK'ların benimsenmesinin önündeki engellerin bir listesini sunuyor
Cantillo ve diğ. (2022)	Alternatif yakıt kamyonları	Ayrık seçim modeli	Satın alma maliyeti, işletme maliyeti	Kamyon taşımacılığı şirketlerinin alternatif yakıtlı araçlara yönelme faktörleri
Scorrano ve diğ. (2021)	Hafif Ticari Araçlar	Karar verme süreci	TSM	Temel senaryoda hafif ticari araçların maliyet açısından rekabetçi olabilmesi için teşviklere ihtiyacı var
Bae ve diğ. (2024)	Ağır hizmet aracı	Yarı yapılandırılmış görüşmeler	Sera Gazı Emisyonu, kullanılabilirlik, altyapı, uygunluk, yatırım getirisi	İşlevsel uygunsuzluk, hazır olmayan altyapı, araçların algılanan kullanılamazlığı, belirsiz yatırım getirisi, hükümetin desteği
Chowdhury ve diğ. (2024)	Ağır hizmet aracı	Yarı yapılandırılmış görüşmeler	Satın alma ve işletme maliyeti, düzenlemeler, şarj altyapısı	Yarı yapılandırılmış görüşmelerin niteliksel bir değerlendirmesi. Sonuçlar üretken yapay zeka aracıyla iyileştirilir

Çizelge 1.3 : Elektrikli araç filo yönetim kriterleri literatür özeti

Kriterler	Makale															
	Chowdhury ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2024)	Scorrano ve diğ. (2021)	Canillo ve diğ. (2022)	Tanco ve diğ. (2023)	Lyu ve diğ. (2023)	Konstantinou ve Gkritza (2023b)	Konstantinou ve Gkritza (2023a)	Anderhofstadt ve Spinler (2019)	Lehmann ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2022)	Sosyal ve diğ. (2021)	Schmid ve diğ. (2020)	Taeft ve diğ. (2017)	Taşdan ve diğ. (2023)	Adeniran (2020)
TSM			X		X	X	X		X	X	X		X	X		X
Kâr Marjı, Yatırım Getirisi		X														
Sabit maliyetler																X
Satın alma maliyeti	X			X						X				X		
KDV , Araç Kayıt Vergisi															X	
Doğrudan Satın Alma Desteği																X
Araç Üretim Maliyeti															X	
Sermaye Yatırım Maliyeti																X
Amortisman																X
Tasarruf																X
Kurtarma Geliri										X						
Altyapı iyileştirmelerinin maliyeti										X	X					
Şarj İstasyonu Sermaye Maliyeti																X
Altyapı maliyetini şarj etme															X	X
Yakıt ikmali altyapı maliyeti																X
Şarj altyapısı																
Şarj süresi							X	X						X		

Çizelge 1.3 (devam): Elektrikli araç filo yönetim kriterleri literatür özeti

Kriterler	Makale														
	Chowdhury ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2024)	Scottano ve diğ. (2021)	Canillo ve diğ. (2022)	Tanco ve diğ. (2023)	Lyu ve diğ. (2023)	Konstantinou ve Gkritza (2023b)	Konstantinou ve Gkritza (2023a)	Anderhofstadt ve Spinler (2019)	Lehmann ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2022)	Sosyal ve diğ. (2021)	Schmid ve diğ. (2020)	Taeft ve diğ. (2017)	Taşdan ve diğ. (2023)
Pil üretim maliyeti															
Pil Değiştirme Maliyeti															
Pil Garanti Süresi															
Pil kapasitesi															
Pil ağırlığı															
Boş ağırlık															
Brüt ağırlık															
Faydalı Yük															
Pil aralığı ve maliyeti															
Menzilin değerlendirilmesi															
Değişken fiyatlar															
Yakıt maliyeti															
Dizel üretim maliyeti															
Elektrik üretim maliyeti															
Enerji fiyatları															
Enerji tüketimi															
Akaryakıt Maliyeti Vergisi															

Çizelge 1.3 (devam): Elektrikli araç filo yönetim kriterleri literatür özeti

Kriterler	Makale														
	Chowdhury ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2024)	Scottano ve diğ. (2021)	Cantillo ve diğ. (2022)	Tanco ve diğ. (2023)	Lyu ve diğ. (2023)	Konstantinou ve Gkritza (2023b)	Konstantinou ve Gkritza (2023a)	Anderhofstadt ve Spinler (2019)	Lehmann ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2022)	Sosyal ve diğ. (2021)	Schmid ve diğ. (2020)	Taeft ve diğ. (2017)	Taşdan ve diğ. (2023)
Enerji/Yakıt Tüketimi										X					
Yıllık Kilometre															
Bakım Maliyetleri										X					
Sürücü maaşı														X	
Araç Dolaşım Vergileri															
Yol geçiş ücretleri															
İndirim oranı														X	
Sigorta														X	
Yükleme-boşaltma maliyetleri														X	
Toplam personel maliyetleri															X
Araçların mevcudiyeti								X							
Amaca uygunluk											X				
Verilen görevi yerine getirmek															X
Mali teşvikler											X				
Hükümet düzenlemeleri											X				
Çevresel faydalar											X				
Emisyon Maliyeti												X	X		

Çizelge 1.3 (devam): Elektrikli araç filo yönetim kriterleri literatür özeti

Kriterler	Makale														
	Chowdhury ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2024)	Scottano ve diğ. (2021)	Canillo ve diğ. (2022)	Tanco ve diğ. (2023)	Lyu ve diğ. (2023)	Konstantinou ve Gkritza (2023b)	Konstantinou ve Gkritza (2023a)	Anderhofstadt ve Spinler (2019)	Lehmann ve diğ. (2024)	Bae ve diğ. (2022)	Sosyal ve diğ. (2021)	Schmid ve diğ. (2020)	Taeft ve diğ. (2017)	Taşdan ve diğ. (2023)
Hava kirleticisi dışsalılık çarpanları															
Emisyon miktarları		X				X									
CO2 Emisyonları															
İklim koruması															
Artan motivasyon															
EV'nin pratik deneyimi									X						
Hareketlilik kısıtlamaları															
Azaltılmış güvenilirlik															
Teknofili															
Güvenlik ve güvenilirlik											X				
Operasyonel karmaşıklık											X				
Organizasyon imajı															
Öncü olmak															
Konfor															
Maksimum hız															
Algılanan keyif															
Dış kontrol algısı															



2. TÜRKİYE’DE YÜK ARAÇLARI, ŞARJ İSTASYONLARI, SERA GAZI EMİSYONLARI VE DÜNYA ELEKTRİKLİ KAMYON PAZARI

2.1 Türkiye’de Yük Araçları

McKinnon ve Leonardi (2009), kamyonların çoğunlukla uzun mesafe için kullanıldığını ve uzun mesafe taşımacılığın pragmatik tanımının 3,5 tonun üzerinde bir araç kullanarak 150 km'nin üzerinde bir mal taşımacılığı olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışma kapsamında, McKinnon ve Leonardi (2009) tarafından yapılan tanım dikkate alınarak kamyonların uzun mesafe taşımacılığı temsil ettiği kabul edilmiştir. 2023 yılı sonu itibariyle Türkiye’de kayıtlı kamyon sayısı TÜİK verilerine göre 959,793 adettir (Url-2). TÜİK verilerine göre Türkiye’de yıllara göre motorlu kara taşıt sayıları (Url-2) Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

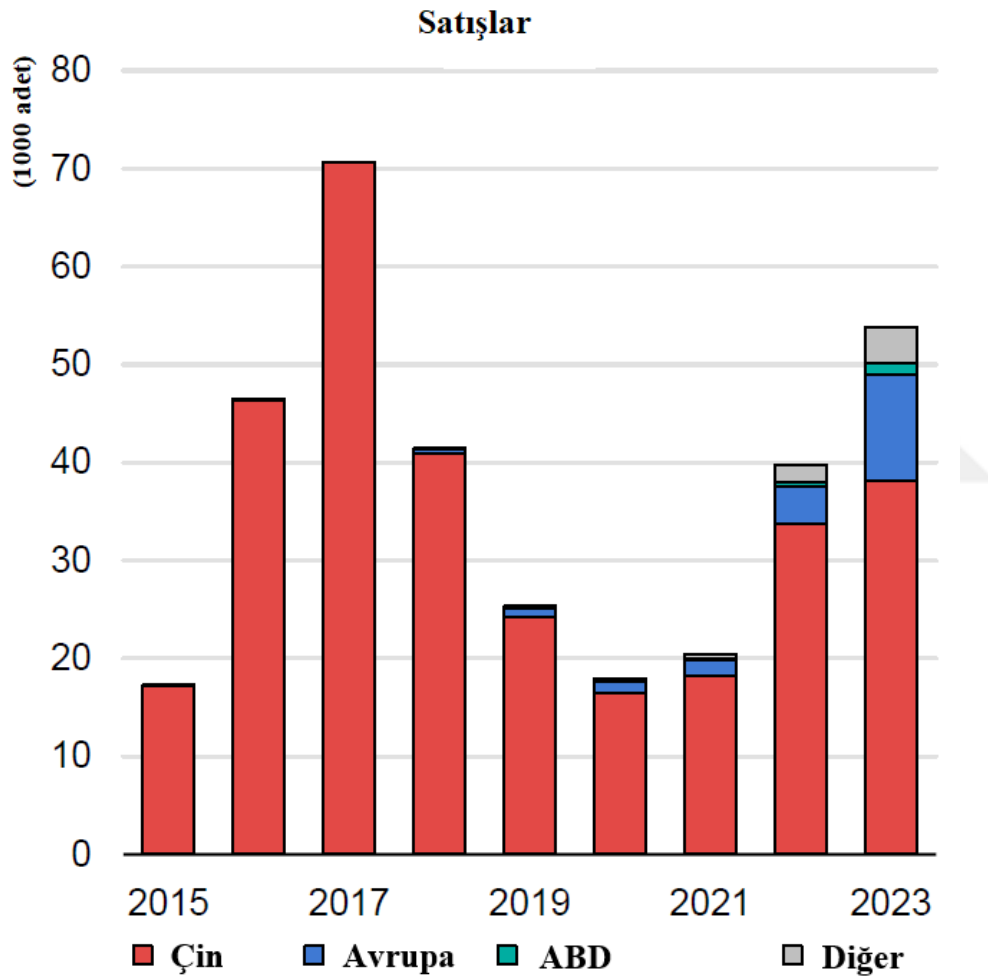
Çizelge 2.1 : Yıllara göre motorlu kara taşıtları sayıları (Url-2)

Yıl	Kamyon	Kamyonet	Özel Amaçlı Taşıtlar	Traktör
2004	647 420	1 259 867	28 004	1 210 283
2005	676 929	1 475 057	30 333	1 247 767
2006	709 535	1 695 624	34 260	1 290 679
2007	729 202	1 890 459	38 573	1 327 334
2008	744 217	2 066 007	35 100	1 358 577
2009	727 302	2 204 951	34 104	1 368 032
2010	726 359	2 399 038	35 492	1 404 872
2011	728 458	2 611 104	34 116	1 466 208
2012	751 650	2 794 606	33 071	1 515 421
2013	755 950	2 933 050	36 148	1 565 817
2014	773 728	3 062 479	40 731	1 626 938
2015	804 319	3 255 299	45 732	1 695 152
2016	825 334	3 442 483	50 818	1 765 764
2017	838 718	3 642 625	60 099	1 838 222
2018	845 462	3 755 580	63 359	1 885 952
2019	844 481	3 796 919	65 470	1 908 999
2020	859 670	3 938 732	70 309	1 958 727
2021	886 303	4 115 205	78 482	2 025 006
2022	919 125	4 277 424	85 276	2 093 933
2023	959 793	4 487 244	93 407	2 186 150

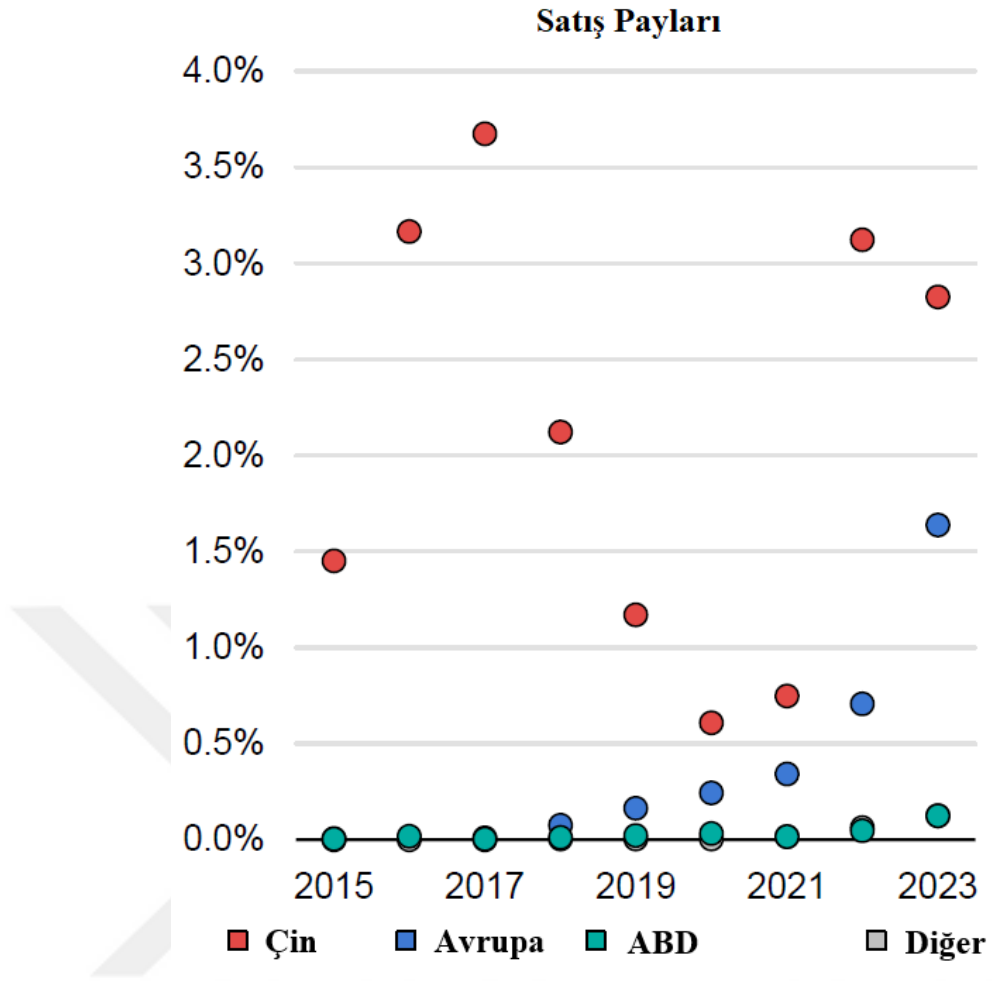
2.2 Dünya Elektrikli Kamyon Pazarı

Ulurlararası Enerji Ajansının (UEA) “Global EV Outlook 2024” raporunda elektrikli kamyon satışlarının ivme kazandığı ve 2023 yılı satışlarının, 2022 satışlarına göre %35 artarak 54,000 adete ulaştığı belirtilmektedir. Elektrikli kamyonlar için lider pazar olan Çin’in, 2023’te küresel satışların %70’ini gerçekleştirdiği ifade edilmiştir (International Energy Agency, 2024).

Dünya genelinde 2015-2023 döneminde elektrikli kamyon satış adetleri Şekil 2.1’de ve satış payları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

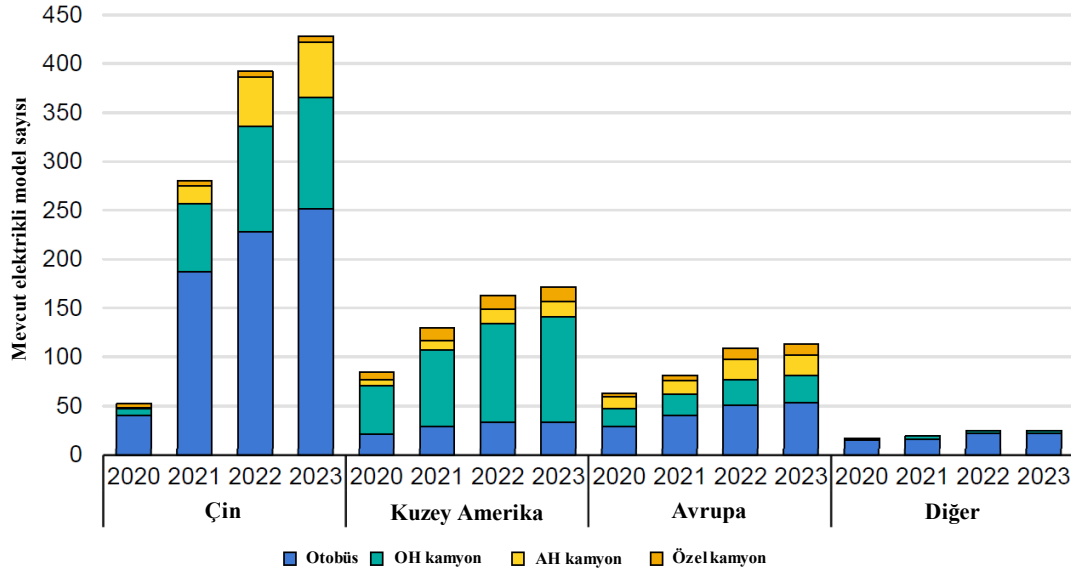


Şekil 2.1 : Dünya genelinde 2015-2023 dönemi elektrikli kamyon satış adetleri (International Energy Agency, 2024).



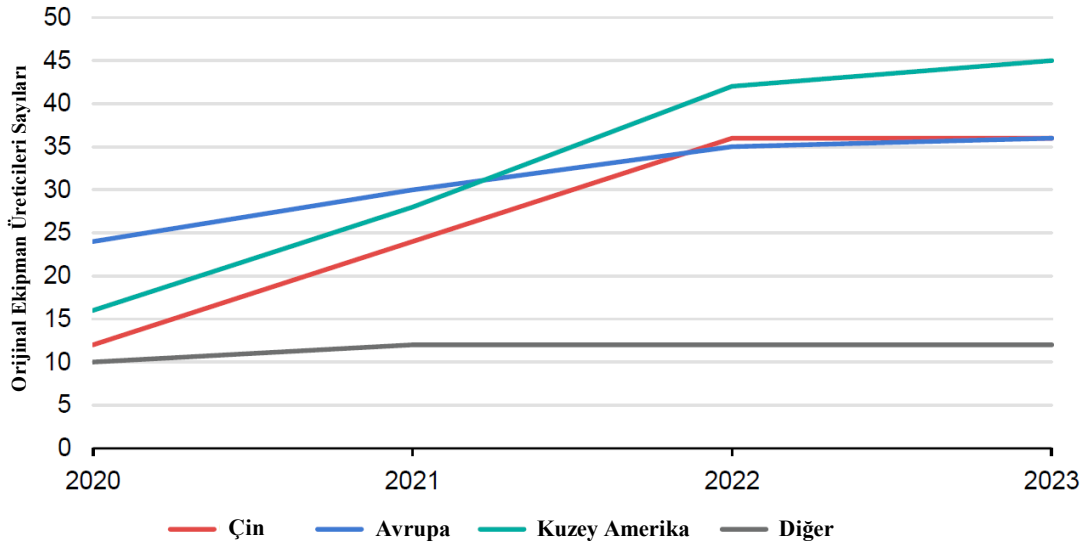
Şekil 2.2 : Dünya genelinde 2015-2023 dönemi elektrikli kamyon satış payları (International Energy Agency, 2024).

Model bulunabilirliği, akülü elektrikli ağır hizmet araçları pazarının büyümesinin önemli bir göstergesidir. Şekil 2.3’de orta hizmet (OH) kamyonları, ağır hizmet (AH) kamyonları ve özel kamyonların 2020-2023 döneminde dünyadaki bölgeler itibariyle mevcut model sayıları gösterilmektedir. Model sayılarında, AH kamyonlarda Çin’in liderliği göze çarpmaktadır. OH kamyonlarda ise Çin ve Kuzey Amerika’nın model sayıları birbirlerine yakın görünmektedir.



Şekil 2.3 : Orijinal ekipman üreticisi genel merkezine, araç tipine ve çıkış tarihine göre mevcut akülü elektrikli ağır hizmet aracı modelleri, 2020-2023 (International Energy Agency, 2024).

Orijinal ekipman üreticilerinin sayısı, pazarda güçlü rekabeti ve gelecekteki talebi karşılama yeteneğini göstermesi bakımından önemli bir göstergedir. Şekil 2.4'te orijinal ekipman üreticilerinin kümülatif sayıları paylaşılmıştır. Diğer göstergelerden farklı olarak orijinal ekipman üreticisi sayılarında Kuzey Amerika lider durumdadır. Çin ve Avrupa ise Kuzey Amerika'yı yakından takip etmektedir.



Şekil 2.4 : Genel merkez konumuna göre akülü elektrikli orta ve ağır hizmet ticari araçları piyasaya süren orijinal ekipman üreticilerinin kümülatif sayıları, 2020-2023 (International Energy Agency, 2024).

2.3 Türkiye’de Şarj İstasyonu Altyapısı

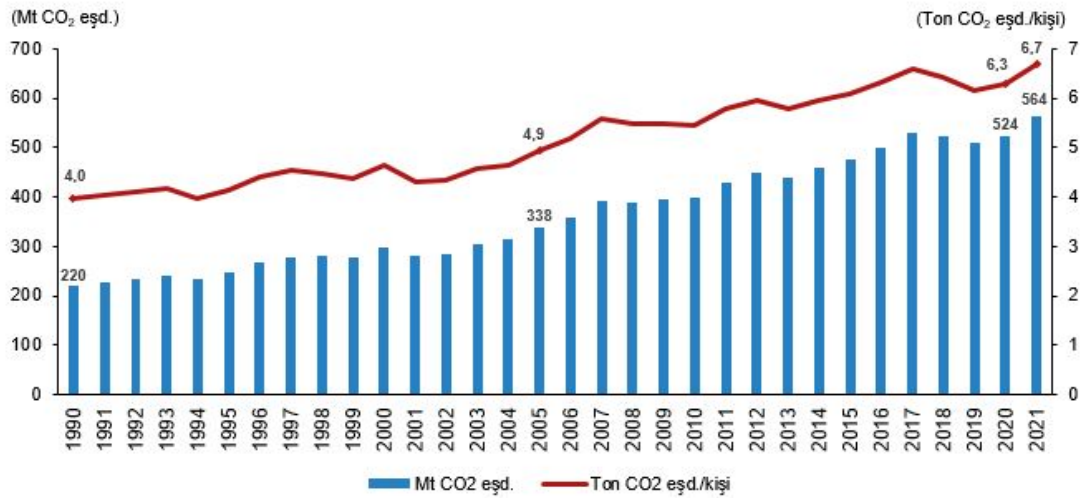
EPDK verilerine göre, 2023 başında Türkiye çapında 1,719 olan şarj istasyonu sayısı ocak sonu itibarıyla 6,058'e, 3,081 olan şarj noktası (soketi) sayısı ise 13,160 adete yükseldi. (Url-3). Türkiye’de en fazla EA istasyonuna sahip şehirler Çizelge 2.2’de verilmiştir (Url-3).

Çizelge 2.2 : Türkiye’de en fazla EA istasyonuna sahip şehirler (Url-3)

İller	İstasyon Sayısı	Toplam Soket Sayısı	AC Soket Sayısı	DC Soket Sayısı
İstanbul	1411	3588	2752	836
Ankara	610	1426	1006	420
Antalya	461	884	658	226
İzmir	309	590	414	176
Bursa	280	611	455	156
Muğla	242	453	343	110
Konya	200	395	271	124
Kayseri	139	325	224	101
Kocaeli	124	321	196	125
Balıkesir	120	265	163	102

2.4 Türkiye’nin Sera Gazı Emisyon İstatistikleri

2021 yılı toplam sera gazı emisyonu 2020 yılına göre %7,7 artarak 564,4 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eşd.) olarak hesaplanmıştır (Url-4). Sera gazı emisyonları Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5 : Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu, 1990-2021 (Url-4).

Toplam sera gazı emisyonlarında 2021 yılında CO2 eşd. olarak en büyük payı %71,3 ile enerji kaynaklı emisyonlar almıştır. Sektör bazında sera gazı emisyonları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Sektörlere göre sera gazı emisyonları (Milyon ton CO2 eşd.) (Ur1-4)

Yıl	Toplam	Enerji	Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	Tarım	Atık
1990	219,5	139,5	22,9	46,1	11,1
1991	226,8	144,0	24,6	46,9	11,3
1992	233,1	150,3	24,3	47,0	11,5
1993	240,8	156,8	24,8	47,4	11,8
1994	234,4	153,3	24,1	44,9	12,0
1995	248,2	166,3	25,5	44,1	12,3
1996	267,6	184,0	26,2	44,8	12,7
1997	278,8	196,1	27,0	42,5	13,2
1998	280,3	195,8	27,3	43,7	13,5
1999	277,8	193,8	25,8	44,3	13,9
2000	298,9	216,0	26,2	42,3	14,3
2001	279,7	199,2	25,8	39,9	14,8
2002	285,6	206,0	26,8	37,6	15,2
2003	304,8	220,5	28,2	40,6	15,6
2004	314,4	226,3	30,8	41,3	16,1
2005	337,6	244,5	34,3	42,4	16,4
2006	358,0	260,5	36,8	43,9	16,8
2007	391,7	291,5	39,7	43,4	17,1
2008	388,5	288,3	41,7	41,3	17,2
2009	395,2	292,9	43,1	42,0	17,2
2010	398,8	287,9	49,1	44,4	17,4
2011	428,6	310,0	54,0	46,9	17,8
2012	448,2	321,6	56,3	52,7	17,6
2013	440,2	308,3	59,3	55,9	16,7
2014	459,5	326,7	60,1	56,2	16,5
2015	475,0	342,0	59,7	56,1	17,1
2016	501,1	361,7	63,8	58,9	16,7
2017	528,6	382,4	66,6	63,3	16,3
2018	523,1	373,4	67,7	65,3	16,6
2019	508,7	365,6	59,0	68,0	16,1
2020	524,0	366,6	68,0	73,2	16,3
2021	564,4	402,5	75,1	72,1	14,7

2021 yılında CO2 emisyonlarının %32,7'si elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %85,2'si enerji sektöründen, %14,5'i endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen, %0,3'ü ise tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanmıştır. Gazlara göre sera gazı emisyonları Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Gazlara göre sera gazı emisyonları (Milyon ton CO2 eşd.) (Url-4)

Yıl	Toplam	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F-gazlar
1990	219,5	151,6	42,5	25,0	0,5
1991	226,8	158,1	43,4	24,7	0,6
1992	233,1	164,1	43,3	25,3	0,5
1993	240,8	171,1	43,1	26,0	0,5
1994	234,4	167,6	42,8	23,6	0,5
1995	248,2	181,4	42,6	23,9	0,4
1996	267,6	199,6	43,0	24,5	0,4
1997	278,8	212,1	42,2	24,1	0,4
1998	280,3	212,1	42,4	25,3	0,4
1999	277,8	207,9	43,8	25,6	0,4
2000	298,9	229,9	43,7	24,8	0,5
2001	279,7	213,6	42,9	22,6	0,7
2002	285,6	221,2	41,0	22,6	0,8
2003	304,8	236,8	43,0	24,0	1,1
2004	314,4	244,8	43,5	24,8	1,4
2005	337,6	264,9	45,2	26,0	1,6
2006	358,0	282,4	46,6	27,2	1,8
2007	391,7	313,7	49,1	26,8	2,2
2008	388,5	310,6	50,2	25,4	2,3
2009	395,2	316,4	49,9	26,6	2,3
2010	398,8	316,2	51,6	27,4	3,5
2011	428,6	342,1	54,2	28,5	3,9
2012	448,2	356,1	57,8	29,7	4,6
2013	440,2	347,3	56,7	31,5	4,7
2014	459,5	364,0	58,5	31,7	5,2
2015	475,0	384,9	52,8	32,3	5,0
2016	501,1	406,0	55,6	34,3	5,2
2017	528,6	430,9	56,8	35,4	5,4
2018	523,1	422,1	60,4	35,5	5,2
2019	508,7	402,7	63,2	37,0	5,8
2020	524,0	412,9	63,9	40,5	6,7
2021	564,4	452,7	64,0	40,3	7,4



3. YÖNTEM

Bu çalışmada, bulanık mantık ve Delphi yöntemini bir arada kullanarak AEK satın alma kararları için bir model geliştirilmiştir. Aşağıda uygulanan yöntemler ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

3.1 Delphi Yöntemi

Bir kişinin uzman görüşüne dayanan yöntemler, uzman kişinin hatalı görüş veya önyargı riskini taşımaktadır. Buna çözüm olarak, uzman grubun görüşü tüm grubun katıldığı yuvarlak masa toplantıları veya çevrimiçi toplantılar ile alınmak istendiğinde, baskın sesler nesnel bir kolektif düşüncenin oluşmasını engelleyebilmektedir. Birebir görüşme veya anketlerle kontrollü geri bildirim yoluyla bir grup uzman arasında fikir birliğine varılmasını kolaylaştırarak nesnel bir kolektif yargının oluşmasını sağladığı için Delphi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Delphi yöntemi, kontrollü geri bildirim yoluyla bir grup uzman arasında fikir birliğine varılmasını kolaylaştırarak kolektif yargının güvenilirliğini sağlamaktadır (Delbecq ve diğ, 1975). Tekil bir bakış açısına dayanan yaklaşımların aksine Delphi yöntemi, bir panelin kolektif uzmanlığından yararlanarak önyargılı veya hatalı bireysel görüş riskini azaltmaktadır. Geleneksel yuvarlak masa tartışmaları baskın seslerin etkisiyle çarpıtılabilmektedir ve bu da potansiyel olarak nesnellikten ödün verilmesine neden olabilmektedir. Delphi yöntemi anonimliği sağlayarak bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. Delphi yönteminde katılımcılara, bilgilerin kimden geldiği belirtilmeden diğer katılımcıların yanıtları iletilir, bu da tarafsız bir değerlendirme yapmalarına izin verir (Ogden ve diğ, 2005). Delphi yönteminin tercih edilmesinin bir diğer nedeni, uzmanların farklı lokasyonlarda olması, zaman kısıtları ve finansal kısıtlar gibi uzmanların bir yerde toplanması ve yüzyüze görüşme yapması ile ilgili sorunlar olarak gösterilmiştir (Richardson ve diğ, 2016). Diğer kitle kaynak kullanımı yöntemleri, konu ile ilgili uzmanlığı olmayan sıradan kişiler de dahil daha geniş bir katılımcı tabanını içerebilmektedir ancak Delphi yönteminin seçilmiş bir uzman grubu

ile çalışarak gösterdiği etkinlik, çeşitli alanlarda kanıtlanmıştır (Förster ve von der Gracht, 2014).

Delphi yöntemi üç temel özellik ile karakterize edilmektedir (Rowe ve Wright, 1999).

- Gizlilik/Anonimlik: Katkıda bulunan uzmanların kimlikleri gizli tutularak önyargısız katkılarının sağlanması garanti altına alınmaktadır.
- Sıralılık: Yöntem, fikir birliğinin derinliğini ve genişliğini arttıran çok sayıda anket turunu içermektedir.
- Kontrollü Geri Bildirim/İstatistiksel Grup Reaksiyon Analizi: Delphi yönteminin bu farklı yönü, katılımcılar arasında yinelemeli geri bildirim ve öğrenme yoluyla fikir birliği oluşturmayı kolaylaştırmaktadır.

Delphi yönteminin başarısı için uzmanların seçimi ve çeşitliliği çok önemli bir faktördür. Panelistler arasındaki heterojenliğin tartışmayı zenginleştirmesi ve sinerji yaratması nedeniyle farklı uzmanlık alanları olan panelist grubu tercih edilmektedir (Spickermann ve diğ., 2014). Çeşitlilik içeren bir panelist grubu oluşturmak için endüstri, akademi ve devlet kurumları dahil olmak üzere çeşitli sektörlerden uzmanlar seçilmektedir (Bolger ve Wright, 2011). Ancak Delphi yöntemine özellikle uzmanların seçimi konusunda eleştiriler de yapılmaktadır. Anketin kapsamında bulunan uzmanlık alanlarında panelistlerin uzmanlık seviyelerindeki farklılıklar, özellikle panel üyeliğinin değişmesi veya sonraki turlarda yeni uzmanların panelist gruba katılması durumunda Delphi turlarında sorunlarla karşılaşılabilir (Murray, 1979).

Bu çalışma için uzman paneli, AEK karar verme süreciyle ilgili geniş bir bilgi ve deneyim yelpazesini kapsayacak şekilde dikkatlice oluşturulmuştur. Uzman panelinde sektöre dair içgörü sağlayan, Türkiye'nin önde gelen uluslararası nakliye şirketlerinden dört üst düzey yönetici de bulunmaktadır. Kendi filolarını yönetenler de dahil olmak üzere potansiyel AEK alıcılarının daha geniş perspektifini yakalamak için önde gelen lojistik birliklerinden üst düzey yöneticiler de uzman paneline dahil edilmiştir. Ayrıca panele, sektör trendleri ve değişimleri hakkında akademik bakış açısı sunmak üzere lojistik alanında geniş deneyime sahip iki akademisyen davet edilmiştir.

Uluslararası nakliye şirketlerinden üst düzey yöneticilerin yanı sıra lojistik derneklerinden üst düzey yöneticilerin ve deneyimli akademisyenlerin dahil edilmesi, yüksek kalitede, heterojen bir uzman paneli oluşturulmasını sağlamaktadır. Tutarlılığı korumak ve fikir birliği oluşturma sürecinde herhangi bir kesintiyi önlemek için,

çalışmanın başlamasından sonra hiçbir yeni üye uzman panele alınmamıştır. Delphi uzman grubunun bilgileri Çizelge 3.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Delphi çalışması için uzman grubu

Paydaş Grubu	Organizasyon Türü/Bölüm	Görevi
Endüstri	Uluslararası Nakliyeciler	İcra Kurulu Başkanı
Endüstri	Uluslararası Nakliyeciler	Yurtdışı Karayolları Direktörü
Endüstri	Uluslararası Nakliyeciler	Satın Alma Genel Müdürü
Endüstri	Uluslararası Nakliyeciler	Genel Müdür Yardımcısı
Akademik	Üniversite / Ulaştırma Teknolojileri ve Araştırma Merkezi	Profesör
Akademik	Üniversite / Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü	Profesör
Politika Planlayıcı	Lojistik Dernekleri	İcra Kurulu Başkanı
Politika Planlayıcı	Lojistik Dernekleri	Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı

3.2 Bulanık Mantık

Dünya genelinde elektrikli kamyonların satış verileri (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2) incelendiğinde, zaman serisi analizleri veya çok etmenli analizler benzeri nicel tekniklerin uygulanabilmesi için yeterli verinin bulunmadığı görülmektedir. Bu nedenle, zaman serisi analizleri ve çok etmenli analizler bu çalışmada bir seçenek olarak değerlendirmeye alınmamıştır.

Bulanık mantık, satın alma karar verme sürecindeki belirsiz algıları modelleme ve ölçme konusundaki benzersiz yeteneği nedeniyle bu araştırmanın yöntemi olarak seçilmiştir. Bu yaklaşım, öznel yargıların ve nitel değerlendirmelerin yapılandırılmış bir matematiksel çerçeveye dönüştürülmesini sağlamaktadır.

Lotfi Zadeh tarafından 1965 yılında 'Bulanık Kümeler' üzerine makalesi ile tanıtılan temel bulanık mantık kavramı (Zadeh, 1965), belirsizliğe ve belirsizlik içeren karar verme süreçlerine yaklaşımımızda devrim yaratmıştır. Zadeh'in bulanık kümeler içindeki verileri temsil etmek ve işlemek için doğal dil terimlerini uygulaması, şu anda bulanık mantık olarak bilinen olgunun temelini atmıştır. Olayların doğru ya da yanlış

olarak sınıflandırılmasında katı olan (siyah beyaza benzer şekilde) klasik ikili mantığın aksine, bulanık mantık, gerçek dünya senaryolarının sıklıkla hem doğru hem de yanlış öğelerini aynı anda barındırdığını kabul ederek bir olasılık derecesi sunmaktadır (Negnevitsky, 2005 ; Aungkulanon ve diğ, 2023).

İkili mantık ile bulanık mantığın farkını açıklayan klasik örnek uzun boylu erkekler kümesidir. Uzun boylu erkekler kümesi, erkekler kümesinin bir alt kümesidir.

İkili mantık bu alt kümeyi oluştururken kesin bir sınır belirlemektedir. Örneğimizde bu sınır değeri 180 cm olsun. İkili mantık 180 cm üzerindeki her erkeği uzun boylu erkekler kümesinde değerlendirecektir. 181 cm boyundaki bir erkek uzun boylu erkekler kümesinde olurken, 179 cm boyundaki bir erkek, uzun boylu erkekler kümesinin dışında kalacaktır.

Bulanık küme teorisinin temel fikri, bir elemanın bir bulanık kümeye belirli bir üyelik derecesiyle ait olmasıdır. Bulanık kümeye üyelik derecesi 0 ile 1 arasındaki herhangi bir değeri alabilir. Bulanık mantıkta, 210 cm boyundaki bir erkeğin uzun boylu erkekler kümesine üyelik derecesi 1 olarak, 150 cm boyundaki bir erkeğin uzun boylu erkekler kümesine üyelik derecesi 0 olarak belirlenmiş olsun. Belirlenecek üyelik fonksiyonuna göre değişmekle birlikte, 179 cm boyundaki bir erkeğin uzun boylu erkekler kümesine üyelik derecesi 0 ile 1 arasında bir değer örneğin 0.49 olabilir veya 181 cm boyundaki bir erkeğin uzun boylu erkekler kümesine üyelik derecesi 0.51 olabilir.

Satın alma kararları bağlamında alternatifler, her alıcı tarafından farklı algılanan bir dizi faktöre göre değerlendirilmektedir. Bulanık mantık, doğası gereği algıdaki bu çeşitliliği ele alacak donanıma sahiptir ve alıcıların belirsiz algılarının değişen üyelik dereceleri aracılığıyla karakterizasyonuna olanak tanımaktadır. Alıcılar tercihlerini ve değerlendirmelerini ifade etmek için sıklıkla "oldukça güvenilir", "orta derecede pahalı" veya "biraz verimli" gibi dilsel terimleri kullandıklarından bu çeşitlilik önemlidir. Bulanık mantık, dilsel değişkenleri çeşitli üyelik dereceleriyle ilişkilendirerek bu niteliksel açıklamaların niceliksel bir analize çevrilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu süreç, bulanık mantığın yerleşik kurallarına dayalı olarak nicel sonuçların hesaplanmasını sağlamaktadır (Zadeh, 1996).

Bulanık mantık, çoklu faktörlerin ve öznel algıların dengelenmesi gereken satın alma kararlarının doğasında bulunan karmaşıklıklarla başa çıkmak için pragmatik bir araç sağlamaktadır (Feng ve diğ, 2019).

Bu çalışma, bulanık mantık kullanarak, karar verme sürecini anlamak ve modellemek, insan muhakemesindeki nüansları ve satın alma kararlarının doğasında var olan belirsizlikleri yakalamak için özel bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntem sayesinde araştırma, AEK'nın benimsenmesini ve satın alınmasını etkileyen faktörlerin daha doğru ve kapsamlı bir analizini sağlamayı, satın almacıların algılarının ve tercihlerinin karmaşık yapısını modele aktarmayı amaçlamaktadır.





4. MODELDE KULLANILACAK DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ VE MODELİN OLUŞTURULMASI

Bu analizde, yük taşıtı pazarında İYMK'lara temel alternatif olarak yalnızca AEK'ların değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bu karar, İYMK'ların lojistik ve nakliye operasyonları için baskın tercih olduğu Avrupa'daki ulaştırma endüstrisinin mevcut durumuna dayanmaktadır (Url-1). AEK'ların İYMK'lara tek önemli alternatif olarak seçilmesinin nedeni, otomotiv sektöründeki bazı önemli gelişmelerden kaynaklanmaktadır. Bunlar arasında EA teknolojilerinde, özellikle de pil verimliliği ve kapasitesi alanında kayda değer gelişmelerin yanı sıra, hem EA'ların üretimine hem de bunların çalışmasını destekleyen altyapıya yapılan önemli yatırımlar yer almaktadır (Taefi ve diğ., 2016b). AEK'lara geçiş süreci, karbon emisyonlarını azaltmaya ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye yönelik küresel çabalarla paralel bir şekilde, ulaştırma sektöründe sürdürülebilirlik ve çevre yönetimi konusundaki sosyal hassasiyet ile desteklenmektedir. Taefi ve diğ. (2016b) AEK'ları öngörülebilir gelecekte İYMK'lara en uygun ve stratejik alternatif olarak konumlandırmaktadır. Sen ve diğ. (2017), yaşam döngüsü sera gazı emisyonları karşılaştırıldığında akülü elektrikli ağır hizmet kamyonlarının en yakın rakipleri olan hibrit ve biyodizel kamyonlardan daha iyi performans gösterdiğini ifade etmektedir. Rogstadius ve diğ. (2024) teknolojik sınırlamalar ve ölçeklenebilirlik göz önüne alındığında biyoyakıtlar, hidrojen ve e-yakıtların 2035'ten önce sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunma kabiliyetine sahip olmadığını ifade etmiştir. Büyük ölçekte sıfır egzoz emisyonuna ulaşmak için akülü elektrikli araçların tek uygun çözüm olduğu belirtilmiştir.

Tüm bu değerlendirmeler sonucunda AEK'lar, ortaya çıkan önemleri ve lojistik ve yük taşımacılığı paradigmasını temelden dönüştürme potansiyelleri nedeniyle bu çalışmada İYMK'ye tek alternatif olarak seçilmiştir.

Bu araştırma kapsamında yapılan literatür taraması, yük araçları satın alırken karar verme sürecinde ekonomik faktörlerin öneminin altını çizmektedir. TSM'yi, işletme ve bakım maliyetlerini ve yakıt veya enerji tüketimini içeren ancak bunlarla sınırlı

olmayan bu faktörler, AEK ve İYMK arasındaki seçimi önemli ölçüde etkileyen temel faktörler olarak tanımlanmaktadır. Mevcut çalışmaların sentezinden, AEK'ların ekonomik uygulanabilirliğinin, endüstride benimsenme oranlarında önemli bir rol oynadığı açıkça görülmektedir.

AEK'lara ilişkin satın alma kararını ekonomik faktörlerin yanı sıra sosyal faktörler de etkilemektedir. Çevresel konularda artan toplumsal farkındalık ve işletmelerin sürdürülebilir uygulamalara katkıda bulunma konusundaki sosyal sorumluluğu, karar alma sürecine farklı bir boyut katmaktadır. Sosyal faktörlerin AEK'ların satın alma oranı üzerindeki doğrudan etkisi sınırlı olsa da, EA'ların benimsenmesine katkıda bulunmaktadırlar. Kurumsal imajın iyileştirilmesi, çevresel düzenlemelere uyum ve çevreye duyarlı tüketicilere hitap etmek için pazarlama stratejileri gibi başlıklar üzerinden AEK'nın benimsenmesine katkı sağlama potansiyelini içermektedir.

4.1 Problemin Belirlenmesi ve Dilsel Değişkenlerin Tanımlanması

Bu çalışmada AEK satın alma kararlarını etkileyen faktörler şu temalar altında kategorize edilmiş ve tartışılmıştır: (1) engeller, (2) algılanan ekonomik fayda ve (3) algılanan sosyal fayda. Bu yapılandırılmış yaklaşım, yük taşımacılığı sektöründe AEK'ların benimsenmesini etkileyen çok boyutlu hususların kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır.

4.1.1 Girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi

Soruna kapsamlı bir anlayış ve yaklaşım sağlamak için, her uzman ekip üyesiyle bireysel çevrimiçi toplantılar düzenlenmiştir ve bu toplantılarda literatür özetleri paylaşılmıştır ve tartışılmıştır. Bu tartışmaların başında, ilgilenilen birincil çıktı değişkeninin, geleneksel İYMK'larla karşılaştırıldığında AEK'ların benimsenme oranını gösteren Türkiye'deki AEK satın alma oranı olarak belirlenmiştir. Çalışmanın amacı TÜİK'in kamyon tanımı içinde yer alan tüm araçlar için tahminde bulunmaktır. TÜİK'in internet sitesinde kamyon, izin verilebilen azami yüklü ağırlığı 3500 kg'dan fazla olan ve yük taşımak için imal edilmiş motorlu taşıt olarak tanımlanmaktadır (URL-2). Delphi çalışmalarında karşılaştırmaların daha sağlıklı yapılması için baz kamyon modeli olarak sınıf 8 çekiciler dikkate alınmıştır. Brüt ağırlığı 33.000 lb'yi aşan kamyonlar sınıf 8 olarak tanımlanmaktadır (URL-5). Çekici, römork ve yarı römorkları çekmek için imal edilmiş olan ve yük taşımayan motorlu araç olarak

tanımlanmaktadır (URL-6). Tüm Delphi turlarında yapılan anketler EK B’de paylaşılmıştır.

4.1.1.1 Engeller

Delphi yönteminin ilk turunun çıktı değişkeni sonrası ilk odak noktası, AEK’ların benimsenmesini potansiyel olarak önleyecek engellerin belirlenmesidir. Uzmanlara literatür taramasından elde edilen bir dizi faktör sunulmuştur ve bu faktörlerin modele engel olarak dahil edilmesi, revize edilmesi veya genişletilmesi gerekip gerekmediği konusunda görüşleri sorulmuştur. Aşağıdaki faktörler tartışılmıştır:

- AEK’ların sürüş menzili (Wang ve Thoben, 2016 ; Tanco ve diğ, 2023 ; Taefi ve diğ, 2016b ; Rizet ve diğ, 2016).
- Şarj istasyonları sayısı ile benzin istasyonları sayısının oranı (Wang ve Thoben, 2016 ; Bae ve diğ, 2024 ; Chowdhury ve diğ, 2024 ; Tanco ve diğ, 2023 ; Taefi ve diğ, 2016a).
- AEK bakım hizmetleri kalitesi (Quak ve diğ, 2016a ; Taefi ve diğ, 2016b ; Smith ve diğ, 2020).
- AEK mevzuatın açıklığı ve etkinliği [7,11,12,20]. (Quak ve diğ, 2016a ; Bae ve diğ, 2024 ; Chowdhury ve diğ, 2024 ; Taefi ve diğ, 2016a).

Bu dört faktörün modele önemli engeller olarak dahil edilmesi oybirliğiyle onaylanmıştır ve dahil edilmesi için herhangi bir ek engel önerilmemiştir.

4.1.1.2 Ekonomik faktörler

Literatür taramasının bulguları dikkate alınarak, ekonomik faktörler AEK satın alma kararını etkileyen kritik belirleyiciler olarak ele alınmıştır. Uzmanlardan, ekonomik faktörlerin bir listesini değerlendirmeleri ve modele dahil edilmeleri, çıkarılmaları veya değiştirilmeleri konusunda fikirlerini ve önerilerini bildirmeleri istenmiştir:

- AEK ve İYMK arasındaki TSM oranı (Sen ve diğ, 2017 ; Liimatainen ve diğ, 2019 ; Chowdhury ve diğ, 2024 ; Tanco ve diğ, 2023 ; Burke ve Sinha, 2020 ; Earl ve diğ, 2018 ; Hovi ve diğ, 2019 ; Mareev ve diğ, 2018 ; Zhou ve diğ, 2017 ; Mourelo, 2016)
- AEK ve İYMK arasındaki Seyahat Süresi (SS) Oranı (Wang ve Thoben, 2016 ; Konstantinou ve Gkritza, 2023a).

Tartışmada, AEK pillerinin daha düşük enerji yoğunlukları nedeniyle daha ağır olduğu ve bunun da yük kaybına yol açtığı genel kabul görmüştür ve bunun AEK'ların TSM hesaplamasında önemli bir husus olduğunda mutabakata varılmıştır. Böylece, herhangi bir ek ekonomik faktör öne sürülmeden, daha önce bahsedilen faktörlerin yanı sıra, batarya ağırlığından kaynaklanan faydalı yük kaybının da TSM değerlendirmesine dahil edilmesi konusunda fikir birliğine varılmıştır.

4.1.1.3 Sosyal faktörler

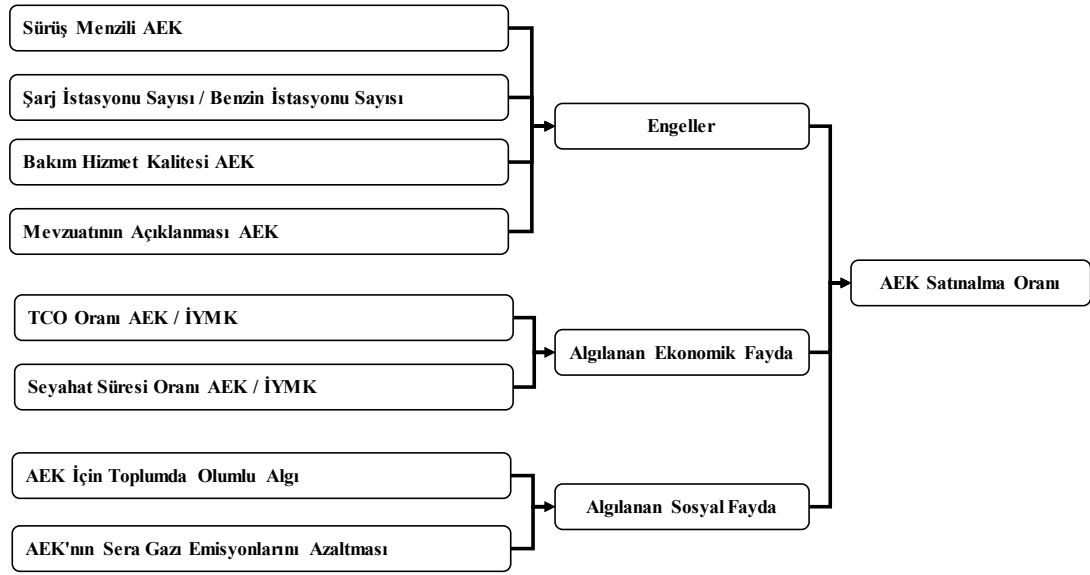
Sosyal faktörler hakkındaki Delphi turları, AEK'ların sosyal sorumluluk ve halkla ilişkiler bağlamında algılanmasını ve konumlandırılmasını kapsamaktadır. Uzmanlara tartışma için literatürden üç konu sunulmuştur:

- Olumlu bir halkla ilişkiler stratejisinin parçası olarak AEK'lara yönelik kurumsal eğilim (Quak ve diğ, 2016a ; Quak ve diğ, 2016b ; Wang ve Thoben, 2017 ; Bae ve diğ, 2024 ; Taefi ve diğ, 2016b).
- Satın alma karar vericilerinin çevresel duyarlılığı ve bunun AEK'nın benimsenmesi üzerindeki etkisi (Quak ve diğ, 2016a ; Quak ve diğ, 2016b ; Wang ve Thoben, 2017 ; Taefi ve diğ, 2016b).
- AB ve Türkiye'de çevresel kaygılar doğrultusunda öngörülen yasal düzenlemeler (teşvikler, cezalar ve kısıtlamalar dahil) (Taefi ve diğ, 2016a).

Başlangıçta sosyal faktörler altında ele alınması beklenen yasal düzenlemelerin, özellikle teşvik ve cezalar kapsamındaki TSM hesaplamalarında ekonomik faktörler olarak sınıflandırılmasına toplu olarak karar verilmiştir. Sonuç olarak, bu düzenlemeler yeniden sınıflandırılmış ve geri kalan iki faktörün başka bir ekleme yapılmadan modele dahil edilmesi onaylanmıştır.

4.1.1.4 AEK satın alma karar modelinin nihai yapısı

AEK satın alma kararı modelinin nihai yapısı, tanımlanan faktörlerle birlikte, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi tüm uzman grup üyeleri arasındaki kapsamlı fikir birliğinden ortaya çıkmıştır. Bu model, satın alma kararının benimsenmesini etkileyen dinamikleri ve hususları anlamak için temel bir çerçeve görevi görmektedir. Türkiye'deki AEK'ların satın alma karar modeli, engelleri, ekonomik faktörleri ve sosyal etkileri temel belirleyiciler olarak birleştirmektedir.



Şekil 4.1 : AEK satın alma oranının belirleyicileri.

Şekil 4.1'de kullanılan terimler aşağıda tanımlanmıştır.

- **AEK Satın Alma Oranı:** Tüm yeni kamyon satışları arasında AEK'ların oranı. Geleneksel kamyonlarla karşılaştırıldığında AEK'ların pazara nüfuzunu gösterir.
- **Engeller:** Engel veya caydırıcı etki yaparak AEK'ların benimsenmesini potansiyel olarak engelleyebilecek unsurlar.
- **Sürüş Menzili AEK:** Bir AEK'nın tam şarjla kat edebileceği maksimum mesafe (kilometre cinsinden), aracın operasyonel uygunluğunun değerlendirilmesinde kritik bir faktördür.
- **Şarj İstasyonu Sayısı:** Altyapının AEK operasyonlarını destekleme kapasitesini yansıtan Türkiye'deki toplam EA şarj istasyonu sayısını göstermektedir.
- **Benzin İstasyonu Sayısı:** Türkiye'deki toplam benzin istasyonu sayısı. İYMK'lar için mevcut yakıt ikmal altyapısının göstergesidir.
- **Bakım Hizmetleri Kalitesi AEK:** Yol kenarı yardımı ve hizmet noktalarının mevcudiyeti gibi hususlar dahil, satış sonrası desteğin karşılaştırılabilir olmasını sağlamak üzere, bakım hizmetleri açısından AEK'ların İYMK'lara göre durumunu göstermektedir.

- Mevzuatın Açıklanması AEK: Teşvikler ve düzenleyici çerçeveler de dahil olmak üzere AEK'larla ilgili mevzuatın açıkça yayınlanma ve uygulanma derecesidir. AEK'nın benimsenmesine ilişkin yasal ve operasyonel ortamı etkilemektedir.
- Algılanan Ekonomik Fayda: Maliyetleri, tasarrufları ve finansal teşvikleri kapsayan, AEK'larla İYMK'lar arasındaki ekonomik fayda ve dezavantajların alıcılar tarafından subjektif değerlendirmesini içermektedir.
- AEK'lar için TSM: Bir AEK'ya sahip olmak için hesaplanan ilk satın alma maliyeti, katma değer vergisi (KDV), tüketim vergisi, bakım giderleri, sigorta ücretleri, motorlu taşıt vergisi, toplam elektrik maliyetleri ve faydalı yük kaybıyla ilişkilendirilebilecek ek maliyetler, eksi tüm teşvikler ve yeniden satış değeri ile hesaplanmaktadır. Faydalı yük kaybı, aşağıdaki formül aracılığıyla TSM hesaplamasına dahil edilmektedir: faydalı yük kaybı = (elektrik maliyeti AEK + bakım maliyeti AEK) * (yük kapasitesi İYMK / yük kapasitesi AEK - 1).
- İYMK'lar için TSM: Satın alma fiyatı, KDV, özel tüketim vergisi, bakım maliyetleri, sigorta ücretleri, motorlu taşıt vergisi, toplam dizel yakıt giderleri ve cezalar dahil olmak üzere, aracın satış geliri ile mahsup edilen bir İYMK'ya sahip olmanın toplam maliyetini göstermektedir.
- TSM Oranı (AEK/İYMK): Bir AEK'nın TSM'sini bir İYMK'ya göre değerlendiren karşılaştırmalı bir ölçüm olup, AEK'ları benimsemenin göreceli ekonomik verimliliği hakkında fikir vermektedir.
- SS Oranı (AEK/İYMK): Sürüş ve şarj süreleri dahil olmak üzere AEK'ların toplam seyahat süresini, sürüş ve yakıt ikmali süreleri dikkate alınarak İYMK'larınkiyle karşılaştıran ve operasyonel verimlilik farklılıklarını vurgulayan oran olarak tanımlanmaktadır.
- Toplumunda Olumlu Algı AEK: Şirketlerin, toplumun onayı ve kurumsal sorumluluğu yansıtan olumlu bir halkla ilişkiler stratejisinin parçası olarak AEK'ları filolarında benimseme derecesini gösterir.
- AEK'ların Sera Gazı Emisyonlarını Azaltması: Çevresel kaygılar ve İYMK'lara kıyasla sera gazı emisyonlarında önemli azalma potansiyeli

nedeniyle bireylerin ve karar vericilerin AEK satın almaya yönelik olumlu kişisel görüşlerini içermektedir.

4.1.2 Dilsel değişkenlerin tanımlanması

4.1.2.1 Sosyal faktörler

Sosyal faktörlere yönelik dilsel ifadeler doğrudan belirlenmemiştir; sosyal faktörlerin AEK satın alma kararını etkilemesine rağmen, bunun öncelikle ekonomik faktörlerden kaynaklandığı kabul edilmektedir.

Uzmanlara, algılanan sosyal faydanın, esas olarak ekonomik faydadan etkilenen AEK satın alma oranını nasıl artırabileceği sorulmuştur. "etki yok", "orta derecede etki" ve "yüksek etki" olmak üzere üç yanıt seçeneği sunulmuştur ve son ikisi için karşılık gelen matematiksel yüzdeleri bildirmeleri talep edilmiştir. "orta derecede etki" için %10 ve "yüksek etki" için %20 oranlarında görüş birliğine varılmıştır. Hem "toplumda AEK'lara yönelik olumlu algı" hem de "AEK'ların sera gazı emisyonlarının azalması" faktörleri için oybirliğiyle "orta etki" seçilmiştir ve algılanan sosyal fayda denkleminin bu iki faktörün toplamı olarak formüle edilmesinde mutabakata varılmıştır.

4.1.2.2 Ekonomik faktörler

AEK satın alma kararında ekonomik faydanın önemi göz önüne alındığında, bu boyutu özetlemek ve ölçmek için bulanık mantık kullanılmıştır.

- TSM Oranı AEK/İYMK: TSM oranına ilişkin öznel algıları ölçmek için, uzmanlardan başlangıçta bu algıları "çok düşük" ile "çok yüksek" arasında değişen dilsel terimlerle eşleştirmeleri istenmiştir. Sonraki Delphi turunda, bu terimlerle ilgili geri bildirimler, toplu yanıtlardan elde edilen çeyreklik veriler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yinelemeli süreç, ikinci turda dilsel terimler üzerinde anlaşmaya varılması ve model için medyan değerlerinin benimsenmesiyle sonuçlanmıştır. TSM oranına ilişkin spesifik dilsel değerler Şekil 4.2'de ayrıntılı olarak verilmektedir. Ek A'daki Şekil A.1, TSM oranına ilişkin üyelik fonksiyonu formüllerini sunmaktadır.
- Seyahat Süresi (SS) Oranı AEK/İYMK: Uzmanlardan seyahat süresi oranına ilişkin algılarını "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" terimleriyle ilişkilendirmeleri istenmiştir. AEK şarj sürelerinin İYMK yakıt ikmal

sürelerinden daha kısa olmayacağı varsayımı nedeniyle “düşük” ve “çok düşük” kasten hariç tutulmuştur. Sonraki Delphi turunda, bu terimlerle ilgili geri bildirimler, toplu yanıtlardan elde edilen çeyreklik veriler kullanılarak geliştirilmiştir. Yinelemeli süreç, ikinci Delphi turunda bu değerler üzerinde konsensüse varılmış ve modele dahil edilmek üzere medyan değerler benimsenmiştir. SS oranı için üzerinde anlaşılan dilsel ifadeler Şekil 4.3'te verilmiştir. SS oranı üyelik fonksiyonu formülleri Ek A'daki Şekil A.2'de listelenmiştir.

- Algılanan Ekonomik Fayda: Uzman grup, algılanan ekonomik faydayı tanımlamak için uygun dilsel terimler üzerinde tartışmıştır ve ikinci Delphi turunda fikir birliğine varılmıştır. Üzerinde mutabakata varılan dilsel ifadeler Şekil 4.4'te sıralanmıştır. Algılanan ekonomik faydaya ilişkin üyelik fonksiyonu formülleri Ek A'daki Şekil A.3'te gösterilmektedir.

4.1.2.3 Engeller

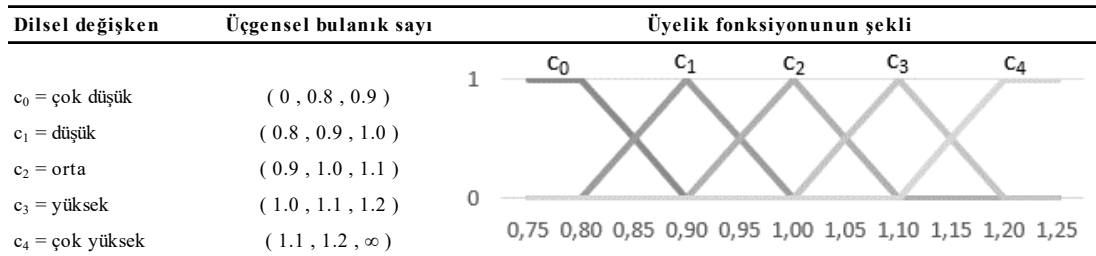
Engeller belirli dilsel ifadelerden ziyade sınır değerler olarak tanımlanmıştır. Bu sınır değerler, uzman grup içinde fikir birliğiyle belirlenmiştir. Sınır değerlerin altında AEK'ların kamyon satın alma karar sürecinde geçerli bir seçenek olmaktan çıktığı kabul edilmektedir.

- Mevzuatın Açıklığa Kavuşturulması AEK: Uzman grup, bu faktör için temel sınırın, AEK'ların satın alınması, kullanılması ve ücretlendirme altyapısına ilişkin tüm düzenleme ve prosedürlerin kapsamlı bir şekilde yayınlanması ve uygulanması olduğu konusunda mutabakata varmıştır.
- Bakım Hizmetleri Kalitesi AEK: İYMK'ların bakım hizmeti kalitesiyle aynı seviyede bakım hizmeti alınmasının bu faktör için temel sınır değeri temsil ettiği konusunda oybirliğiyle anlaşmaya varılmıştır.
- Sürüş Menzili AEK: İlk Delphi turunda, arzu edilen sürüş menzilinin belirlenmesi hedeflenmiştir. İkinci turda, ilk turdaki çeyrek değerleri (Q1, medyan, Q3) her uzmanla paylaşılmıştır. Uzman grup tarafından yeniden değerlendirilen sürüş menzili değerleri sonrası varılan fikir birliğiyle modele sürüş menzili 500 km olarak dahil edilmiştir.

- Şarj İstasyonu Sayısı / Benzin İstasyonu Sayısı: Başlangıçta uzmanlardan, şarj istasyonu sayısının benzin istasyonu sayısına oranını değerlendirmeleri istenmiştir. Sürüş menzili değerlendirmesine benzer bir prosedür izlenmiştir ve ikinci turdaki fikir birliği ile istasyonların oranının 0,50 olarak modele dahil edilmesine karar verilmiştir.

4.2 Bulanık Kümelerin Belirlenmesi

Bulanık kümeleri temsil etmek için çeşitli geometrik şekiller kullanılabilir. Her bir şeklin uzman bilgisini modellemede ve hesaplama süreçlerini kolaylaştırmada kendi avantajları bulunmaktadır. Bunların arasında üçgen şekli, hem uzman görüşlerini temsil etmede ödün vermemesi hem de hesaplamaları önemli ölçüde kolaylaştırması nedeniyle özellikle değerlidir (Negnevitsky, 2005). Hesaplama basitliği ile etkili bilgi gösterimi arasındaki denge nedeniyle, bu çalışmada bulanık kümeler için tercih edilen şekil olarak üçgen şekli seçilmiştir. Bu karar, bir taraftan modeldeki uzmanların görüşlerini doğru bir şekilde yansıtmayı, diğer taraftan hesaplamaların verimliliğini optimize etmeyi amaçlamaktadır.



Şekil 4.2 : TSM oranı AEK/İYMK için belirlenen terim kümesinin dilsel ölçekleri (c ile temsil edilmektedir).

Aşağıdaki örnek uygulama, Şekil 4.2’de dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonunun farazi değerler verilerek hesaplanışını göstermektedir.

$$\text{TSM AEK} = 560,000 \text{ USD}$$

$$\text{TSM İYMK} = 500,000 \text{ USD}$$

$$\text{TSM oranı AEK/İYMK} = 560,000 / 500,000 = 1.12$$

TCO Oranı AEK/İYMK Üyelik Fonksiyonu için örnek hesaplama Şekil A.1’de verilen denklemler kullanılarak aşağıda gösterilmektedir.

$$x = 1.12$$

$$\text{Eğer } x \geq 0.9, \quad \mu_{c0}(x) = 0$$

$$\text{Eğer } x \geq 1.0, \quad \mu_{c1}(x) = 0$$

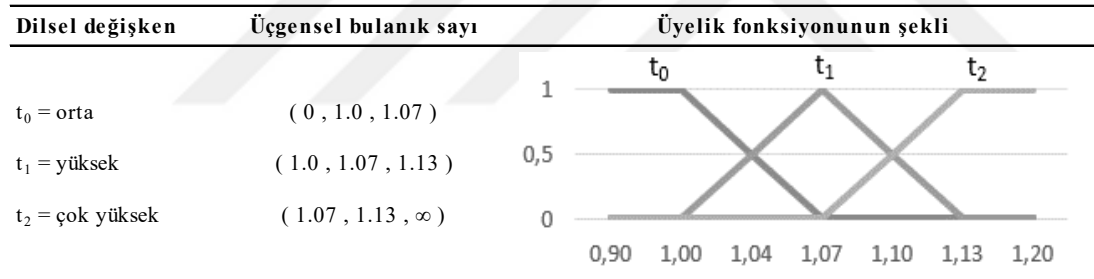
$$\text{Eğer } x \geq 1.1, \quad \mu_{c2}(x) = 0$$

$$\text{Eğer } x \in (1.1, 1.2) \quad \mu_{c3}(x) = (1.2 - x) / (1.2 - 1.1) = (1.2 - 1.12) / (1.2 - 1.1) = 0.8$$

$$\text{Eğer } x \in (1.1, 1.2) \quad \mu_{c4}(x) = (x - 1.1) / (1.2 - 1.1) = (1.12 - 1.1) / (1.2 - 1.1) = 0.2$$

TSM oranı AEK/İYMK=1.12’nin “c₃ = yüksek” bulanık kümesine üyelik fonksiyonu değeri 0.8’dir.

TSM oranı AEK/İYMK=1.12’nin “c₄ = çok yüksek” bulanık kümesine üyelik fonksiyonu değeri 0.2’dir.



Şekil 4.3 : SS oranı AEK/İYMK için belirlenen terim kümesinin dilsel ölçekleri (t ile temsil edilmektedir).

Aşağıdaki örnek uygulama, Şekil 4.3’de dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonun farazi değerler verilerek hesaplanışını göstermektedir.

$$\text{SS AEK} = 11 \text{ saat}$$

$$\text{SS İYMK} = 10 \text{ saat}$$

$$\text{SS oranı AEK/İYMK} = 11 / 10 = 1.10$$

SS oranı AEK/İYMK Üyelik Fonksiyonu için örnek hesaplama Şekil A.2’de verilen denklemler kullanılarak aşağıdaki gösterilmektedir.

$$y = 1.10$$

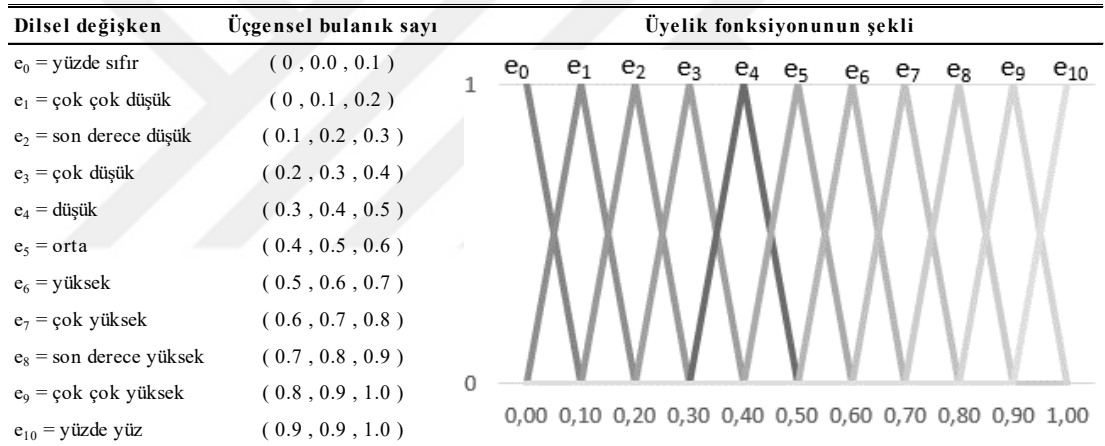
$$\text{Eğer } y \geq 1.07, \quad \mu_{t0}(y) = 0,$$

$$\text{Eğer } y \in (1.07, 1.13) \quad \mu_{t1}(y) = (1.13-y)/(1.13-1.07) = (1.13-1.10)/(1.13-1.07) = 0.5$$

$$\text{Eğer } y \in (1.07, 1.13) \quad \mu_{t2}(y) = (y-1.07)/(1.13-1.07) = (1.10-1.07)/(1.13-1.07) = 0.5$$

SS oranı AEK/İYMK=1.10’un “t₁ = yüksek” bulanık kümesine üyelik fonksiyonu değeri 0.5’tir.

SS oranı AEK/İYMK=1.10’nin “t₂ = çok yüksek” bulanık kümesine üyelik fonksiyonu değeri 0.5’tir.



Şekil 4.4 : Algılanan ekonomik faydaya ilişkin terim kümesinin dilsel ölçekleri (e ile temsil edilmektedir).

Bulanık kurallar bölüm 4.3’te paylaşılmıştır. Bulanık çıkarım bölüm 4.4’te anlatılmaktadır. Algılanan ekonomik faydanın üyelik fonksiyonu hesaplaması da dahil tüm uygulamanın paylaşıldığı açıklayıcı bir örnek bölüm 4.6’da gösterilmektedir.

4.3 Bulanık Kuralların Oluşturulması

Üçüncü Delphi turunda, uzman panelinin üyelerinden, TSM oranı ve SS oranı için olası tüm dilsel ifade eşleştirmeleri üzerinden Türkiye’deki AEK’ların satın alma oranını tahmin etmeleri istenmiştir. Bu çalışma, ekonomik ve operasyonel faktörlerin

AEK'nın benimsenme olasılığı üzerindeki birleşik etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Bu tahminleri hassaslaştırmak ve sağlam bir fikir birliğine varmak için dördüncü Delphi turu ayrıntılı bir inceleme sürecini içermektedir. Her uzmana, önceki turdaki bireysel katkılarının yanı sıra, grubun kolektif tahminlerinden derlenen çeyrek veriler (Q1, medyan, Q3) sunulmuştur. Bu yöntem, uzmanların daha geniş grup görüşlerini ve bakış açılarındaki farklılıkları dikkate alarak tahminlerini gözden geçirmelerini teşvik ederek yeniden bir değerlendirme yapmalarını sağlamaktadır.

Delphi süreci, dördüncü turun sonunda uzman grup arasında bulanık kurallarda fikir birliğinin ortaya çıkmasıyla sona ermiştir. Çeşitli TSM ve SS dilsel ifadelerinin AEK satın alma oranını nasıl etkilediğine ilişkin uzman grubun mutabakatını temsil eden bu kurallar özetlenmiş ve Çizelge 4.1'te sunulmuştur. Uzmanların müzakereleri sonucu oluşturulan bulanık kurallar, Türkiye'de AEK'ların benimsenmesinde ekonomik uygunluk ile operasyonel verimlilik arasındaki etkileşimin anlaşılmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Özellikle "VE" işlemi için, bulanık mantıkta birden fazla kriterin kesiştiği durumların değerlendirilmesinde, faktörler arasındaki ilişkileri doğru bir şekilde yansıtması nedeniyle, çarpım yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, ilgili bulanık kümelerin üyelik değerlerini çarpmaktadır ve böylece farklı değişkenler arasındaki etkileşimleri detaylı bir şekilde yansıtmaktadır.

Bu örnekte, TSM oranı ve SS oranı sırasıyla (x) ve (y) olarak gösterilsin. TSM oranı olan (x)'in üyelik değerinin 0.3 olduğu varsayalım. Benzer şekilde TT oranı (y) de 0.7 üyelik değerine sahip olsun. Bu iki faktör, (x) (TSM oranı) ve (y) (TT oranı), bir AEK'nın (z) ile gösterilen algılanan ekonomik değeri üzerindeki birleşik etkilerini belirlemek için birlikte analiz edildiğinde, "VE" işlemi aşağıdaki şekilde yürütülmüştür:

EĞER x, c_2 ise (0.3)

VE y, t_1 ise (0.7)

SONRA z, e_5 olacaktır (0.21) (Çizelge 4.1 - Kural 8)

$$\mu_{e_5}(z) = \mu_{c_2}(x) \times \mu_{t_1}(y) = 0.3 \times 0.7 = 0.21.$$

Bu sonuç (0,21), TSM ve SS kriterlerinin kesişimine dayalı olarak algılanan ekonomik faydanın birleşik üyelik derecesini temsil etmektedir. Bu yöntem uygulanarak, bu iki faktörün AEK'ların ekonomik çekiciliğini birlikte nasıl etkilediğine dair bir anlayışa ulaşmak mümkün olmaktadır.

Çizelge 4.1 : Bulanık kurallar

Kural	EĞER	VE	SONRA
	TSM Oranı AEK/İYMK	SS Oranı AEK/İYMK	Algılanan Ekonomik Fayda
1	çok düşük (c_0)	orta (t_0)	çok çok yüksek (e_9)
2	çok düşük (c_0)	yüksek (t_1)	çok çok yüksek (e_9)
3	çok düşük (c_0)	çok yüksek (t_2)	son derece yüksek (e_8)
4	düşük (c_1)	orta (t_0)	son derece yüksek (e_8)
5	düşük (c_1)	yüksek (t_1)	çok yüksek (e_7)
6	düşük (c_1)	çok yüksek (t_2)	yüksek (e_6)
7	orta (c_2)	orta (t_0)	yüksek (e_6)
8	orta (c_2)	yüksek (t_1)	orta (e_5)
9	orta (c_2)	çok yüksek (t_2)	düşük (e_4)
10	yüksek (c_3)	orta (t_0)	çok düşük (e_3)
11	yüksek (c_3)	yüksek (t_1)	son derece düşük (e_2)
12	yüksek (c_3)	çok yüksek (t_2)	çok çok düşük (e_1)
13	çok yüksek (c_4)	orta (t_0)	son derece düşük (e_2)
14	çok yüksek (c_4)	yüksek (t_1)	çok çok düşük (e_1)
15	çok yüksek (c_4)	çok yüksek (t_2)	çok çok düşük (e_1)

4.4 Uzman Sistemde Bulanık Çıkarım Gerçekleştirmek için Bulanık Kümelerin, Bulanık Kuralların ve Prosedürlerin Kodlanması

Bulanık kümeler, bulanık çıkarım çerçevesinde girdi değişkenlerini çıktılara dönüştürmek gibi kritik bir işlevi yerine getirmektedir. Mamdani tarzı çıkarım, sezgisel doğası ve anlaşılması kolay olmasıyla geniş çapta tanınmaktadır ve çıktı değerlerini belirlemek için iki boyutlu bir şeklin ağırlık merkezini hesaplamaktadır. Bu süreç etkili olmasına rağmen, ağırlık merkezini bulmak için şekil üzerinde integrasyon gerekliliği nedeniyle hesaplama açısından zordur ve karmaşık sistemlerde çıkarım sürecini potansiyel olarak yavaşlatmaktadır.

Buna karşılık, 1985 yılında Sugeno tarafından tanıtılan Sugeno (veya Takagi-Sugeno-Kang) çıkarımı, bulanık kuralların çıktısını tanımlamak için daha basit bir yaklaşım benimseyerek bu hesaplamayı kolaylaştırmaktadır. Değişken bir fonksiyon yerine Sugeno çıkarımı, bir kuralın sonucu için üyelik fonksiyonu olarak sabit bir tek ani yükselişi (tekli) kullanır (Sugeno, 1985). Bu yöntem, sistem çıktısının hesaplanmasını

basitleştirerek, modelleme uygulamaları için hesaplama açısından daha verimli hale getirmektedir.

Sıfır dereceli Sugeno bulanık modelinde bulanık kuralların uygulanması için uygun yapı: EĞER (x) (A) ise, VE (y) (B) ise, SONRA (z) (k) olur, burada (k) sabit bir değerdir. Bu formülasyon, her bulanık kuralın çıktısının bir sabit olduğunu ve bu çıktıların doğrudan toplanmasını sağladığını öngörmektedir. Daha sonra net, veya kesin çıktı, her kuralın eşleşme derecesi dikkate alınarak bu tekillerin (Negnevitsky, 2005) ağırlıklı ortalamasının hesaplanması yoluyla belirlenmektedir.

Bu araştırmada, hesaplama verimliliği ve algılanan ekonomik faydayı modellemenin karmaşıklıklarını ele almadaki etkinliği nedeniyle bulanık çıkarım yapmak için Sugeno çıkarım tarzı seçilmiştir. Algılanan ekonomik faydanın hesaplanmasına yönelik formül, karar alma sürecini etkileyen ekonomik faktörlerin kesin ve uygun bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyan Sugeno çıkarımına dayanılarak oluşturulmuştur. Algılanan ekonomik fayda formülü denklem 4.1’de gösterilmiştir.

$$\text{Algılanan Ekonomik Fayda} = [\mu_{e0}(Z) \times e_0 + \mu_{e1}(Z) \times e_1 + \mu_{e2}(Z) \times e_2 + \mu_{e3}(Z) \times e_3 + \mu_{e4}(Z) \times e_4 + \mu_{e5}(Z) \times e_5 + \mu_{e6}(Z) \times e_6 + \mu_{e7}(Z) \times e_7 + \mu_{e8}(Z) \times e_8 + \mu_{e9}(Z) \times e_9 + \mu_{e10}(Z) \times e_{10}] / [\mu_{e0}(Z) + \mu_{e1}(Z) + \mu_{e2}(Z) + \mu_{e3}(Z) + \mu_{e4}(Z) + \mu_{e5}(Z) + \mu_{e6}(Z) + \mu_{e7}(Z) + \mu_{e8}(Z) + \mu_{e9}(Z) + \mu_{e10}(Z)] \quad (4.1)$$

4.5 AEK Satın Alma Oranı

AEK’ların, kamyon satın alma karar verme sürecinde geçerli bir seçenek olarak görülmesi için, belirlenen her engel için belirlenmiş sınır değerlerini aşması zorunludur. Bu engeller ön filtre görevi görerek yalnızca gerekli kriterleri karşılayan AEK’ların potansiyel benimsenme için değerlendirilebilmesini sağlar. Bu eşikler aşıldığında, bir AEK satın alma kararı öncelikle algılanan ekonomik faydadan etkilenir ve algılanan sosyal faydanın etkisiyle hesaplama tamamlanmaktadır.

Algılanan ekonomik fayda, geleneksel İYMK seçeneği yerine AEK’ları seçme olasılığının belirlenmesinde temel faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu faktör, uzun vadeli sahiplik perspektifinden maliyet (TSM) ve operasyonel faydaların göz önünde bulundurularak kararın alındığını özetlemektedir. AEK’ların ekonomik çekiciliğini ölçerek, satın alma kararlarını etkilemede maliyet etkinliğinin ve mali teşviklerin öneminin altını çizmektedir.

Algılanan sosyal fayda ise toplumsal ve çevresel faktörler yoluyla değer katarak AEK’ların satın alma oranını artırmaktadır. Etkisi ekonomik faydaya göre ikincil olsa

da, algılanan sosyal fayda, karbon ayak izini azaltmak ve sürdürülebilirliği teşvik etmek gibi daha geniş sosyal ve çevresel hedeflerle uyum sağlayarak AEK'ların çekiciliğini arttırmaktadır. Bu faktör, kurumsal sosyal sorumluluğun ve özellikle çevresel etkilerle ilgili kamu algısının artan önemini göstermektedir.

Buna göre AEK satın alma oranı, satın alma kararlarını etkilemede ekonomik ve sosyal fayda arasındaki simbiyotik ilişkiyi gösteren, bu faktörleri birleştiren bir denklem yoluyla modellenmektedir. Feng ve diğ. (2019) EA'ların benimsenmesiyle ilgili oluşturdukları modelde, EA satın alma oranının genel seviyesini ekonomik fayda belirlemektedir ve sosyal fayda, ekonomik fayda tarafından belirlenen bu satın alma seviyesini sınırlı bir oranda arttırmaktadır. Uzman ekip üyeleriyle yapılan görüşmelerde, Feng ve diğ. (2019) algılanan ekonomik fayda ve algılanan sosyal fayda ile EA satın alma oranı arasında kurduğu bu ilişkinin, AEK satın alma karar süreci için de geçerli olduğu konusunda mutabık kalınmıştır. Feng ve diğ. (2019) EA için kullandığı ve bu çalışmada da kullanılan formül denklem 3.2 ile verilmektedir.

$$\text{AEK Satın Alma Oranı} = \text{Algılanan Ekonomik Fayda} \times (1 + \text{Algılanan Sosyal Fayda}) \quad (3.2)$$

Bu denklem, AEK'ların temel ekonomik faydasının, algılanan sosyal faydalarından elde edilen ek değerle artırıldığı ekonomik ve sosyal faktörler arasındaki etkileşimi yansıtmaktadır. Bu formülde, ekonomik kaygıların AEK'ların benimsenmesinin temelini oluşturduğu kabul edilirken, sosyal fayda faktörlerinin dahil edilmesinin, AEK'ların çekiciliğini ve pazardaki benimsenme oranlarını artırabileceği ortaya konmaktadır.

Oluşturulan modelin geçerliliğini test etmek için, uzman grup üyeleri içinden seçilen üç kişi ile yapılan birebir çevrimiçi görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmelerde, model girdileri için farklı değerler paylaşılmıştır ve bu girdi değerlerine göre AEK satın alma oranı için tahminleri istenmiştir. Aynı değerler çalışmamızda ortaya konan modele girilmiştir ve modelin öngördüğü AEK satın alma oranları hesaplanmıştır. Uzman grup üyelerinin tahminleri ile modelin öngördüğü AEK satın alma oranlarının birbirleri ile tutarlı olduğu görülmüştür. Geçerlilik testi Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Modelin uygulanmasını göstermek için bölüm 4.6'da açıklayıcı bir örnek verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Geçerlilik testi

Toplam Sahip olma Maliyeti (USD)			Seyahat Süresi (saat)			AEK Satın Alma Oranı %				Fark = Uzman - Model		
TSM AEK	TSM İYMK	TSM AEK/İYMK	SS AEK	SS İYMK	SS AEK/İYMK	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Model	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
600.000	500.000	1,2	15	15	1,00	20%	10%	30%	20%	0%	-10%	10%
600.000	500.000	1,2	16	15	1,07	10%	10%	20%	10%	0%	0%	10%
600.000	500.000	1,2	17	15	1,13	5%	0%	20%	10%	-5%	-10%	10%
550.000	500.000	1,1	15	15	1,00	30%	20%	40%	30%	0%	-10%	10%
550.000	500.000	1,1	16	15	1,07	20%	20%	30%	20%	0%	0%	10%
550.000	500.000	1,1	17	15	1,13	10%	10%	20%	10%	0%	0%	10%
500.000	500.000	1	15	15	1,00	60%	60%	60%	60%	0%	0%	0%
500.000	500.000	1	16	15	1,07	50%	50%	50%	50%	0%	0%	0%
500.000	500.000	1	17	15	1,13	40%	40%	40%	40%	0%	0%	0%
450.000	500.000	0,9	15	15	1,00	80%	90%	70%	80%	0%	10%	-10%
450.000	500.000	0,9	16	15	1,07	70%	80%	60%	70%	0%	10%	-10%
450.000	500.000	0,9	17	15	1,13	60%	60%	55%	60%	0%	0%	-5%
400.000	500.000	0,8	15	15	1,00	100%	100%	90%	90%	10%	10%	0%
400.000	500.000	0,8	16	15	1,07	90%	95%	80%	90%	0%	5%	-10%
400.000	500.000	0,8	17	15	1,13	80%	80%	70%	80%	0%	0%	-10%

4.6 Açıklayıcı Bir Örnek

Bu örnek uygulama, modelin farazi varsayımlar kullanılarak yapılan hesaplamalarını göstermek amacıyla sunulmuştur.

Eğer (Engel1 $\geq$ Limit1) VE (Engel2 $\geq$ Limit2) VE (Engel3 $\geq$ Limit3) VE (Engel4 $\geq$ Limit4)

Sonra AEK Satınalma Oranı = Algılanan Ekonomik Fayda $\times$ (1 + Algılanan Sosyal Fayda)

Yoksa AEK Satınalma Oranı = 0

- Engeller

Engeller	Mevcut Durum	Limit	Sonuç
Engel 1: Sürüş Menzili AEK	= 700 km	> 500 km	Ok
Engel 2: Şarj İstasyonu/Benzin İstasyonu Sayısı	= 0.8	> 0.5	Ok
Engel 3: Bakım Hizmeti Kalitesi AEK	İYMK ile aynı	İYMK ile aynı	Ok
Engel 4: Mevzuatının Açıklanması AEK	Yayınlandı	Yayınlandı	Ok

Tüm bariyerler limit değerlere eşit veya limit değerlerinin üzerinde olduğundan AEK satın alma oranı hesaplanabilir.

- Algılanan Ekonomik Fayda

- TSM Oranı AEK / İYMK

Kamyonların ikincil piyasada satılmadan önce 10 yıl boyunca 1.000.000km çalıştırılacağını varsayalım.

TSM AEK	= Satınalma Maliyeti AEK	(+180,000)
	+ KDV ve Tüketim Vergisi AEK	(+50,000)
	+ Bakım Maliyeti AEK	(+30,000)
	+ Sigorta Maliyeti AEK	(+30,000)
	+ Motorlu Taşıtlar Vergisi AEK	(+10,000)
	+ Toplam Elektrik Maliyeti AEK	(+180,000)
	+ Faydalı Yük Kaybı AEK	(+60,000)
	– Satış Geliri AEK	(-10,000)
TSM AEK	= 530,000 USD	

TSM İYMK	= Satınalma Maliyeti İYMK	(+150,000)
	+ KDV ve Tüketim Vergisi İYMK	(+40,000)
	+ Bakım Maliyeti İYMK	(+30,000)
	+ Sigorta Maliyeti İYMK	(+30,000)
	+ Motorlu Taşıtlar Vergisi İYMK	(+10,000)
	+ Toplam Motorin Maliyeti İYMK	(+250,000)
	– Satış Geliri İYMK	(-10,000)

$$\text{TSM İYMK} = 500,000 \text{ USD}$$

$$\text{TSM Oranı AEK/İYMK} = 530,000 \text{ USD} / 500,000 \text{ USD} = 1.06$$

TSM Oranı AEK/İYMK Üyelik Fonksiyonu (Şekil A.1)

$$\mu_{c0}(x) = 0, \quad \mu_{c1}(x) = 0, \quad \mu_{c2}(x) = 0.4, \quad \mu_{c3}(x) = 0.6, \quad \mu_{c4}(x) = 0$$

○ Seyahat Süresi Oranı AEK/İYMK

$$\text{Seyahat Süresi AEK} = \text{Sürüş Süresi} + \text{Şarj Süresi} = 9 + 2 = 11 \text{ saat}$$

$$\text{Seyahat Süresi İYMK} = \text{Sürüş Süresi} + \text{Yakıt doldurma süresi} = 9 + 1 = 10 \text{ saat}$$

$$\text{Seyahat Süresi Oranı AEK/İYMK} = 11 / 10 = 1.1$$

SS Oranı AEK/İYMK Üyelik Fonksiyonu (Şekil A.2)

$$\mu_{t0}(y) = 0, \quad \mu_{t1}(y) = 0.5, \quad \mu_{t2}(y) = 0.5$$

Bulanık Kurallar (Çizelge 4.1)

$$\text{EĞER } x = c2(0.4), \text{ VE } y = t1(0.5) \text{ SONRA } z = e5(0.2) \quad \mu_{e5}(z) = \mu_{c2}(x) \times \mu_{t1}(y) = 0.4 \times 0.5 = 0.2$$

$$\text{EĞER } x = c2(0.4), \text{ VE } y = t2(0.5) \text{ SONRA } z = e4(0.2) \quad \mu_{e4}(z) = \mu_{c2}(x) \times \mu_{t2}(y) = 0.4 \times 0.5 = 0.2$$

$$\text{EĞER } x = c3(0.6), \text{ VE } y = t1(0.5) \text{ SONRA } z = e2(0.3) \quad \mu_{e2}(z) = \mu_{c3}(x) \times \mu_{t1}(y) = 0.6 \times 0.5 = 0.3$$

$$\text{EĞER } x = c3(0.6), \text{ VE } y = t2(0.5) \text{ SONRA } z = e1(0.3) \quad \mu_{e1}(z) = \mu_{c3}(x) \times \mu_{t2}(y) = 0.6 \times 0.5 = 0.3$$

$$\begin{aligned} \text{Algılanan Ekonomik Fayda} = & [\mu_{e0}(z) \times e_0 + \mu_{e1}(z) \times e_1 + \mu_{e2}(z) \times e_2 + \mu_{e3}(z) \times e_3 + \mu_{e4}(z) \times e_4 + \mu_{e5}(z) \\ & \times e_5 + \mu_{e6}(z) \times e_6 + \mu_{e7}(z) \times e_7 + \mu_{e8}(z) \times e_8 + \mu_{e9}(z) \times e_9 + \mu_{e10}(z) \times e_{10}] / [\mu_{e0}(z) + \mu_{e1}(z) + \mu_{e2}(z) + \\ & \mu_{e3}(z) + \mu_{e4}(z) + \mu_{e5}(z) + \mu_{e6}(z) + \mu_{e7}(z) + \mu_{e8}(z) + \mu_{e9}(z) + \mu_{e10}(z)] \end{aligned}$$

$$\text{Algılanan Ekonomik Fayda} = [0.3 \times 0.1 + 0.3 \times 0.2 + 0.2 \times 0.4 + 0.2 \times 0.5] / [0.3 + 0.3 + 0.2 + 0.2]$$

$$\text{Algılanan Ekonomik Fayda} = 0.27$$

- Algılanan Sosyal Fayda

$$\begin{aligned} \text{Algılanan Sosyal Fayda} &= \text{AEK İçin Toplumda Olumlu Algı} \\ &+ \text{AEK'nın Sera Gazı Emisyonlarını Azaltması} \end{aligned}$$

$$\text{AEK İçin Toplumda Olumlu Algı} = 0.1$$

$$\text{AEK'nın Sera Gazı Emisyonlarını Azaltması} = 0.1$$

$$\text{Algılanan Sosyal Fayda} = 0.1 + 0.1 = 0.2$$

- AEK Satınalma Oranı

AEK Satınalma Oranı = Algılanan Ekonomik Fayda $\times$ (1 + Algılanan Sosyal Fayda)

AEK Satınalma Oranı = $0.27 \times (1 + 0.2)$

AEK Satınalma Oranı = 0.324

Tezde sunulan model ile, yukarıda özetlenen farazi varsayımları kullanılarak %32,4'lük bir AEK satış oranı hesaplanmıştır. Bu örnek uygulama yalnızca model hesaplamalarının nasıl yapıldığını göstermek amacıyla verilmiştir.





5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çalışmada, uzun mesafe yük taşımacılığını temsil eden kamyonların satın alma süreci incelenmiştir ve pilot bölge Türkiye için AEK'ların satın alma süreci karar modeli geliştirilmiştir. Model, belirlenen model girdilerinin tüm seviyeleri için AEK satın alma oranı tahminlerini ortaya koyabilmektedir. Model, AEK'larla ilgili nicel modeller konusunda literatüre katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle, devlet kurumları, lojistik firmaları ve akademisyenlere karar alma süreçlerinde doğrudan katkı sağlayabilecek önemli bir araç niteliğindedir.

Çalışma altyapısı oluşturulurken tüm literatür gözden geçirilmiştir. Oluşturulan model literatür ile uyumludur. Türkiye hem Avrupa'da hem Asya'da büyük hacimlerde taşıma yapan çok sayıda uluslararası nakliye firmasına ve 959,793 araçlık büyük bir kamyon parkına (Url-2) sahiptir. Bu bilgileri dikkate alarak, çalışma her ne kadar Türkiye pilot bölgesi için yapılmış olsa da, modelin Avrupa ve Asya ülkeleri için, faktör limitleri ve bulanık kurallar uzman gruplar tarafından ilgili ülkenin şartlarına göre revize edilmek şartıyla, kullanılabilir sağlam bir baz oluşturduğu düşünülmektedir.

Model, literatürde incelenen diğer modellerden farklı olarak, sadece engelleri tanımlamakla kalmamış, limit değerlerini de belirlemiştir. Modelde, ekonomik faydanın hesaplanmasında ekonomik faktörlerin birlikte etkisini hesaplarken insan karar verme sürecini iyi simüle eden bir bulanık mantık modeli, karar alıcıların düşünce yapısını temsil edebilecek yetkinlikte bir uzman ekibin mutabakatı ile ortaya konmuştur.

Çalışmanın sonuçları, yük taşıtları sektöründe AEK'ların satın alınmasına ilişkin karar verme çerçevesinde ekonomik ve sosyal hususların önemli rollerinin altını çizmektedir. Bu tespitler, lojistik operasyonlarında araç seçiminde birincil etki olarak işletme ve bakım giderlerinin yanı sıra TSM'yi vurgulayan önceki literatürle de uyumludur.

Çalışmadaki bulgular, AEK'ların ekonomik fizibilitesinin pazar kabulü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu önermesini desteklemektedir. Nykvist ve Nilsson'un (2015) bulgularına uygun olarak, pil maliyetlerinin azaltılmasının yakın gelecekte AEK'ları ekonomik olarak geleneksel İYMK'larla rekabet edebilir hale getirebileceği kabul edilmektedir. Ayrıca Nurhadi (2014), yakıt ve bakımdaki önemli tasarruflar da dahil olmak üzere toplam yaşam döngüsü maliyetleri dikkate alındığında, AEK'ların daha yüksek ilk satın alma fiyatlarına rağmen ekonomik açıdan avantajlı olarak ortaya çıktığını vurgulamaktadır. Pil ağırlığından kaynaklanan yük kaybının ekonomik sonuçları TSM hesaplamasına dahil edilerek analizi genişletilmiştir. İleriye bakıldığında, pil teknolojisinde ve enerji yoğunluğunda devam eden gelişmelerin bu yük taşıma sorunlarını azaltması muhtemel görünmektedir (Cano ve diğ, 2018) ve potansiyel olarak AEK'ların ekonomik çekiciliğini arttıracaktır. Bununla birlikte, hammadde fiyatlarındaki değişkenlik ve pil üretimi teknolojisindeki gelişmeler, AEK'nın benimsenmesinin gelecekteki gidişatını etkileyebilecek potansiyel ekonomik zorluklar olarak görünmektedir (Fan ve diğ, 2020).

AEK'ların benimsenmesi önünde kullanıcılarda direnç oluşturabilecek bir diğer unsur rota planlama kısıtlarıdır. AEK'ların kullanıma sunulması, pil menzili ve şarj istasyonlarının kullanılabilirliği de dahil olmak üzere rota planlamasına ek kısıtlamalar getirmektedir. Bu ek kısıtlara uyum sağlamak için lojistik firmalarının planlama süreçlerinde geliştirmeler yapması gerekecektir (De la Pena ve diğ, 2020). Pil menzili ve şarj istasyonları ek kısıtları nedeni ile rota optimizasyonu gereksiniminin planlama süreçlerinde karmaşıklığı arttıracığı, uygulamada ek maliyetler yaratacağı ama bunun mali boyutunun hesaplanmasının şu an mümkün olmadığı uzman grup üyeleri tarafından ifade edilmiştir. Her ne kadar şarj süresi nedeniyle yaşanan zaman kayıpları seyahat süresi içinde, menzil ve şarj istasyonu sayıları engeller başlığında modele dahil edilmiş olsa da planlama süreçlerindeki karmaşıklığın ve uygulamadaki yansımalarının getireceği sorunlar ve kayıplar modele dahil edilememiştir. Modelin eksikliklerinden biri olarak geliştirmeye açık bir alandır.

Yarı römork çekicilerinin karşılaştırılmasında, akülü elektrikli araçların, seri üretildiğinde, dizel ve hidrojen yakıt hücreli araçlar da dahil olmak üzere rakiplerine göre önemli bir maliyet avantajı sağlayacağı tahmin edilmektedir (Hovi ve diğ, 2019). Öte yandan teknik ve ekonomik analize göre hidrojen yakıt hücreli elektrikli araçların ağırlık ve maliyetlerinin artan menzile akülere göre çok daha az duyarlı olduğu

belirtilmektedir. Bu nedenle, hidrojen yakıt hücresel elektrikli kamyonlar, gelecekteki kamyon karbonsuzlaştırma senaryoları için umut verici bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Canese, 2018). Hidrojen yakıt hücresel elektrikli araçlar, uzun mesafeli taşımacılık için umut verici bir teknolojiyi temsil etse de, mevcut gelişim aşamaları nedeniyle bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Ancak teknolojide gelecekteki gelişmelerin hidrojen yakıt hücresel elektrikli araçları ulaşım sektöründe önemli bir alternatif olarak konumlandırabileceğinin farkında olmak ve bu teknolojiyi takip etmek önemlidir.

Bu çalışmadaki analizler, sosyal faktörlerin, özellikle de çevresel konularda artan kamu ve kurumsal farkındalığın önemli etkisini ortaya koymaktadır. Bu sosyal faktörlerin AEK satın alma kararları üzerindeki doğrudan etkisi orta düzeyde olsa da, elektrikli araçların benimsenmesi için uygun bir ortam yaratılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Toplumsal beklentiler gelişmeye devam ettikçe şirketler, yalnızca araç alımında değil tüm operasyonlarda sürdürülebilirlik konusunda gerçek ilerleme gösterme konusunda artan baskıyla karşı karşıya kalacaktır. Ek olarak, kurumsal sosyal sorumluluk stratejileri ve halkla ilişkiler kampanyalarındaki ilerlemeler, AEK'ların pazarlanabilirliğini ve toplumsal kabulünü artırma potansiyeline sahiptir (Gong ve diğ., 2023).

AEK'nın benimsenmesinin önündeki belirlenen engeller arasında sınırlı sürüş menzili, şarj istasyonu altyapısı, bakım hizmetleri kalitesi ve mevzuat netliğiyle ilgili endişeler yer almaktadır. Bu sorunlar, literatürde belgelenen ve İYMK'lardan AEK'lara geçişi engelleyebilecek önemli engeller olarak kabul edilen zorluklarla uyumludur (Adhikari ve diğ., 2020 ; Krishna, 2021 ; İmre ve diğ., 2021). Bu engellerin ele alınması, nakliye sektöründe AEK'ların yaşayabilirliğini ve rekabet edebilirliğini güvence altına almak açısından önemlidir. Şarj altyapısında ve düzenleyici çerçevelerde gelecekte yaşanacak gelişmelerin bu engelleri hafifletmesi beklenmektedir. Örneğin ultra hızlı şarj teknolojisinin geliştirilmesi ve şarj ağlarının genişletilmesi menzil endişelerini azaltabilir. Benzer şekilde, daha net ve daha olumlu mevzuat, işletmelerin filolarını değiştirmeleri için daha güçlü teşvikler sağlayarak AEK'nın benimsenmesini hızlandırabilir. Ek olarak, hizmet ağlarında devam eden iyileştirmeler önem arz etmektedir. Özellikle AEK'lara özel olarak tasarlanmış bakım eğitimleri, operasyonel güvenilirlik bakımından önemlidir. Hizmet beklentileri açısından İYMK'larla rekabet edebilmelerini sağlamak için belirtilen iyileştirmeler ve eğitimler katkı sağlayacaktır.

Çoğu çalışmadaki baskın kriterlerin ekonomik ve sosyal faktörlere odaklandığı Çizelge 1.1, Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3'te kanıtlanmıştır ve bu nedenle sürücü memnuniyeti modele dahil edilmemiştir. Binek araç satın almada sürücü memnuniyeti önemli bir rol oynasa da AEK satın alma kararına etkisi sınırlı görünmektedir. Çoğu kullanıcı AEK'lar için tatmin edici teknik performans bildirmektedir ve aracın sessizliği sıklıkla olumlu bir özellik olarak vurgulanmaktadır (Liimatainen ve diğ, 2019). Bazı operatörler AEK'ların konforlu ve keyifli bir sürüş deneyimi sunduğunu belirtmiştir (Hovi ve diğ, 2019). Ancak menzil kaygısı, sürücüler arasında birincil stres kaynağı olarak gösterilmektedir (Hovi ve diğ, 2019 ; Wikström ve diğ, 2016). Bazı operatörler elektrikli araç kullanımını takdir ettiği, bazılarının ise bu araçların kendi bünyelerinde tanıtılması veya çalıştırılması konusunda memnuniyetsizliklerini dile getirdiği gözlemlenmiştir. Her iki grup da ilk uygulama aşamasında ön bilgi eksikliğinden dolayı hayal kırıklığını dile getirmiştir (Wikström ve diğ, 2016). Her ne kadar AEK'lar için satın alma kararlarında sürücü memnuniyeti temel bir faktör olmasa da, sürücülerin planlama sürecine dahil edilmesi, uygulamanın sorunsuz gerçekleştirilmesi ve potansiyel endişelerin etkili bir şekilde ele alınması açısından çok önemlidir.

EA pil talebi, 2022'ye göre %40 artarak 2023'te 750 GWh olarak gerçekleşmiştir. Pil talebinin artması, başta lityum, kobalt ve nikel olmak üzere daha fazla miktarda kritik hammaddenin çıkarılması ve rafine edilmesi anlamına gelmektedir. Madencilik ve rafinaj alanında son 5 yılda yüksek yatırımlar yapılmıştır ve bu sayede küresel arz bugün talebi rahatlıkla karşılayabilmektedir. 2023 yılında kobalt, nikel ve lityum arzları, kendilerine olan talepleri sırasıyla %6,5 ve %8 ve %10 oranında aşarak kritik maden fiyatlarını ve pil maliyetlerinin 2023 yılında düşmesine neden olmuştur. Düşük kritik maden fiyatları pil maliyetlerinin düşmesine yardımcı olurken aynı zamanda madencilik şirketleri için daha düşük nakit akışı ve daha dar marjlar anlamına da gelmektedir. Gelecekteki talebi karşılayabilmek ve tedarik zinciri darboğazlarından kaçınabilmek için madencilik ve rafineri sektörünün hızla büyümeye devam etmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, sodyum iyon piller gibi yenilikçi teknolojiler ve lityum demir fosfat gibi daha az miktarda kritik metal gerektiren pil teknolojilerinin kullanımının artması, kritik minerallere olan talebi azaltmaktadır (International Energy Agency, 2024).

EA maliyetinin önemli bir kısmını oluşturan piller EA benimsenmesini doğrudan etkilemektedir. Devlet kurumlarındaki politika yapıcılar, lojistik firmaları yöneticilerinin ve akademisyenlerin pil teknolojilerindeki ilerlemeleri, pil talebini etkileyecek piyasadaki gelişmeleri ve pil arzını arttıracak yatırım planlarını yakından takip etmeleri oluşturacakları stratejilerin ve alacakları kararların başarısına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, yük taşımacılığı sektöründe AEK'ların benimsenmesini etkileyen faktörlerin anlaşılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bulanık mantık ve Delphi yöntemini kullanarak, AEK'ların tedarikinde yer alan karmaşık karar verme sürecini kapsayan kapsamlı bir model sağlamaktadır. Çalışma, maliyet endişeleri ile çevresel sürdürülebilirliğin algılanan değeri arasındaki etkileşime odaklanarak, satın alma kararlarını etkilemede ekonomik fayda ve sosyal faydanın rolünü ortaya koymaktadır.

Sektör uzmanları ve politika yapıcılar için bu çalışma, AEK'nın benimsenmesinin kısıtlamaları ve itici güçleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bulgular, AEK'ların pazarda benimsenmesini arttırmak için hem ekonomik fizibilitesini hem de sosyal/çevresel çekiciliğini ele almanın önemini vurgulamaktadır. Taşımacılık ve lojistik sektörlerindeki yöneticiler, TSM'yi, operasyonel verimliliği ve toplumsal etkileri dikkate alarak AEK'ları filolarına dahil etmenin olası faydalarını ve engellerini değerlendirmek için bu modeli kullanabilirler. Ayrıca politika yapıcılar, sürdürülebilir ulaşım çözümlerine geçişi hızlandırma hedefiyle tutarlı politika ve teşviklerin geliştirilmesine yönelik yönergeler çıkarabilirler.

Bu çalışma, önemli düzeyde belirsizlik ve öznel değerlendirme gerektiren karmaşık karar verme süreçlerinin modellenmesinde bulanık mantığın etkinliğini göstererek, ulaşım araştırmalarında bulanık mantığın kullanımını teorik olarak geliştirmektedir. Bu çalışma, AEK'ların kurumsal ortamlarda benimsenmesini etkileyen unsurların anlaşılmasına yönelik sistematik bir yöntem sunarak sürdürülebilir ulaşım hakkındaki mevcut bilgi birikimini geliştirmektedir. Ayrıca bulanık mantık ve Delphi yönteminin birleşimi, bu alanda gelecekteki araştırmalar için yeni bir yaklaşım sunarak, satın alma kararlarının karmaşık doğasının anlaşılması için güçlü bir temel sağlar.

5.2 Sınırlamalar

Bu çalışma AEK satın alma sürecine ilişkin önemli bilgiler sunmasına rağmen bazı sınırlamalara sahiptir. Modelin uzman görüşüne bağlı olması yararlı olsa da, bulguların genellenebilirliğini etkileyebilecek önyargılara da neden olabilir. Teknoloji ve politika ortamlarının sürekli değişen doğası, AEK'nın benimsenmesini etkileyen unsurların değişime tabi olduğunu ve bu durumun modelin gelecekte uygulanabilirliğini etkileyebileceği anlamına gelebilir. Çalışmanın bir vaka çalışması olarak Türkiye'ye odaklanması, aynı zamanda farklı yasal, ekonomik ve altyapı koşullarına sahip olan bazı coğrafi bağlamlarla doğrudan ilgisini de sınırlandırmaktadır.

Modelde teşvikler TSM içerisinde bir mali bir unsur olarak modele dahil edilmiştir ancak özellikle AB'de belirli bölgelere İYMK'ların girişlerinin yasaklanması, o bölgelerde yapılan taşımacılık faaliyetlerinde AEK'ların kullanımını zorunlu hale getirebilir. Yasaklar ve kısıtlamalar modele dahil edilmemiştir ve modelin eksikliklerinden biri olarak geliştirmeye açık bir alandır.

5.3 Öneriler

Gelecekteki bilimsel çalışmalar, AEK'ların gelişen ekonomik manzarasını ve politika önlemlerinin farklı coğrafi bölgeler üzerindeki etkisini izlemek için boylamsal analizlere odaklanmalıdır. Bu tür çalışmalar, yük taşımacılığında baskın bir seçenek olarak AEK'ların sürdürülebilirliği ve kalıcı uygulanabilirliği konusundaki anlayışımızı zenginleştirecektir.

Modelin kapsamını genişletmek ve sınırlamalarını çeşitli şekillerde ele almak için gelecekteki çalışmalara ihtiyaç vardır. Araştırmaya farklı ulaşım ekosistemlerine sahip birden fazla ülkenin dahil edilmesi, AEK'ların benimsenmesini etkileyen bağlamsal faktörlerin anlaşılmasını geliştirerek daha kapsamlı bir küresel bakış açısı sunacaktır. Pil teknolojisi ve EA altyapısındaki ilerlemeyi sürekli izlemek önemlidir. Gelecekteki çalışmalar, bu gelişmelerin AEK'ların finansal ve işlevsel fizibilitesi üzerindeki etkilerini araştırabilir ve potansiyel olarak satın alma seçimlerini etkileyen faktörleri değiştirebilir. Ek olarak, gelecekteki araştırmalar, AEK'ların benimsenmesi üzerindeki düzenlemelerin ve teşviklerin etkisinin araştırılmasına öncelik verebilir ve

sürdürülebilir yük taşımacılığına geçişi kolaylaştırmak isteyen politika yapıcılara kanıta dayalı öneriler sunabilir.

Park halinde şarj imkanları, yükleme/boşaltma süresince şarj imkanları, ihtiyaç duyulacak elektrik şarj altyapısı gibi konular lojistik merkezler ve tır parklarının tasarımı için önemli hale gelecektir. Çalışmanın sonuçları, lojistik merkezlerin ve tır parklarının tasarımında kullanılabilir.

Farklı görüşleri birarada değerlendirip önyargıları engellemek ve sinerji oluşturabilmek için uluslararası nakliye şirketleri üst düzey yöneticileri, lojistik dernekleri üst düzey yöneticileri ve deneyimli akademisyenler ile uzman grup oluşturulmuştur. Farklı görüş açılarına sahip heterojen bir uzman grubun mutabakatı ile oluşturulan AEK satın alma karar modelinin kolektif görüşü daha doğru yansıtacağı düşünülmektedir. Tezin amacı olan modeli en rasyonel şekilde oluşturabilmek için bu yöntem seçilmiştir. Diğer taraftan, özellikle politika yapıcılarının süreci daha iyi yönetebilmek için farklı paydaşların bakış açıları konusunda daha derin bir anlayışa ihtiyacı olacağı düşünülmektedir. Farklı paydaşların AEK pazarına bakış açılarını daha iyi anlamak için uzman grubun özelliklerine ve tecrübelerine dayalı bir analiz yapılması ve bunların karşılaştırılması önerilmektedir.

Bu çalışmada ortaya konan parametreler Türkiye pilot bölgesi için güncel algıyı yansıtmaktadır. AEK konusunda toplumdaki algı pozitif yönde değişebileceği gibi bazı gelişmeler toplumdaki algıyı negatif yönde de değiştirebilir. Pillerin geri dönüşüm süreci toplumdaki algıyı negatif yönde etkileyebilecek konulara örnek olarak verilebilir. Hem kaynak israfını hem de çevre kirliliği sorunlarını önlemek için atık piller uygun şekilde geri dönüştürülmelidir. Şu anda, dünya çapında LiP'lerin atık bertarafı için evrensel veya birleşik standartlar bulunmadığı, her ülkenin piyasadan çıkan pil sayısına, mevcut mevzuata ve altyapılara bağlı olarak depolama, yakma ve tam veya kısmi geri dönüşüm gibi uygulamalardan birini veya bir kombinasyonunu kullandığı ifade edilmektedir. Gayriresmi bertaraf veya yeniden işlemenin nadir bir faaliyet olmadığı vurgulanmaktadır (Mrozik ve diğ, 2021). Pillerin türünün değişmeye devam etmesi nedeniyle, Çin'deki atık pillerin geri dönüşüm endüstrisinin çevresel etkisinin ve karlılığının belirsiz hale geldiği belirtilmektedir. Pillerin evrimiyle birlikte çevresel etkilerinin azaldığı tespit edilmesine karşın, verimli bir atık pil endüstrisi kurmak için atık pillerin toplama oranını iyileştirmenin şart olduğu ifade edilmektedir

(Wang ve Yu, 2021). Toplumdaki algının değişmesi, modelde algılanan sosyal fayda başlığında belirtilen parametrelerin değerleri değiştirilerek modele yansıtılabilir.

Bölüm 1’de paylaşılan yaşam döngüsü emisyonları karşılaştırmalarında kapsam 1 ve kapsam 2 emisyonlar dikkate alınmaktadır. Kapsam 2 emisyonlar içinde elektrikli araçlarda kullanılan elektriğin üretimi nedeniyle oluşan emisyonlar bulunmaktadır. Literatür çalışmalarında tedarik zinciri boyunca oluşan tüm emisyonların dikkate alındığı yani kapsam 3 emisyonların da dahil edildiği yaşam döngüsü emisyonu değerlendirmeleri ile karşılaşılmamıştır. Tedarik zinciri boyunca oluşan tüm emisyonların (kapsam 1 & kapsam 2 & kapsam 3) ortaya konulması ve çalışmalarda bu bazda yapılan karşılaştırmaların dikkate alınması, ürünlerin çevreye toplam etkisini göstereceği için daha doğru analiz imkanı sağlayacaktır.

Mourello (2016), bir treni ve birkaç elektrikli aracı birleştirebilen intermodal dağıtım ağlarının, müşterilerin dağıtımından bağımsız olarak, yüksek hacimli ve uzun mesafeli taşımacılık için tek modlu ağlardan daha verimli ve çevre dostu olduğunu göstermektedir. Böyle bir kombinasyon, sistemin kapasitesini en üst düzeye çıkaran, kat edilen toplam mesafeyi en aza indiren, yol sıkışıklığını ve enerji tüketimini azaltan ve CO2 emisyonlarını azaltarak hava kalitesinin ve çevre koşullarının iyileştirilmesine katkıda bulunan çevre dostu bir dağıtım ağıyla sonuçlanmaktadır. AEK’lar İYMK’lara güçlü bir alternatif olsa da, uzun mesafe taşımacılıkta demiryolu taşımacılığının ekonomik ve sosyal faktörler bakımından üstün çözüm olduğu unutulmamalıdır.

Potansiyel bir yaklaşım, bulanık mantık modelini sistem dinamiği simülasyonu için bir temel olarak kullanmaktır. Bu yöntem, farklı özellikler de dahil olmak üzere birden fazla senaryonun incelenmesine olanak tanıyarak teknoloji, kanunlar ve piyasa koşullarındaki değişikliklerin uzun vadede AEK’ların benimsenme oranlarını nasıl etkileyebileceğine dair değerli bir anlayış sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Adeniran, I.** (2020). The impacts of sustainable concepts in urban freight distribution- A courier, express and parcel case study (Doctoral dissertation, Technische Universität München).
- Adhikari, M., Ghimire, L. P., Kim, Y., Aryal, P., & Khadka, S. B.** (2020). Identification and analysis of barriers against electric vehicle use. *Sustainability*, 12(12), 4850.
- Ahani, P., Arantes, A., & Melo, S.** (2016). A portfolio approach for optimal fleet replacement toward sustainable urban freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 357-368.
- Anderhofstadt, B., & Spinler, S.** (2019). Factors affecting the purchasing decision and operation of alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany—A Delphi study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73, 87-107.
- Aungkulanon, P., Atthirawong, W., & Luangpaiboon, P.** (2023). Fuzzy analytical hierarchy process for strategic decision making in electric vehicle adoption. *Sustainability*, 15(8), 7003.
- Bae, Y., Mitra, S. K., Rindt, C. R., & Ritchie, S. G.** (2022). Factors influencing alternative fuel adoption decisions in heavy-duty vehicle fleets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103150.
- Bae, Y., Rindt, C. R., Mitra, S. K., & Ritchie, S. G.** (2024). Fleet operator perspectives on alternative fuels for heavy-duty vehicles. *Transport Policy*.
- Bolger, F., & Wright, G.** (2011). Improving the Delphi process: Lessons from social psychological research. *Technological forecasting and social change*, 78(9), 1500-1513.
- Burke, A., & Sinha, A. K.** (2020). Technology, Sustainability, and Marketing of Battery Electric and Hydrogen Fuel Cell Medium-Duty and Heavy-Duty Trucks and Buses in 2020-2040. University of California, Davis, Institute of Transportation Studies, USA.
- Canese, L.** (2018). Decarbonization scenarios for medium and heavy-duty transportation. Ph.D. Thesis, Politecnico di Torino, Turin, Italy.
- Cano, Z. P., Banham, D., Ye, S., Hintennach, A., Lu, J., Fowler, M., & Chen, Z.** (2018). Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. *Nature energy*, 3(4), 279-289.

- Cantillo, V., Amaya, J., Serrano, I., Cantillo-García, V., & Galván, J. (2022).** Influencing factors of trucking companies willingness to shift to alternative fuel vehicles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 163, 102753.
- Cheng, X., & Lin, J. (2024).** Is electric truck a viable alternative to diesel truck in long-haul operation?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 129, 104119.
- Chowdhury, V., Tuli, F. M., & Mitra, S. K. (2024).** Sustainable Shift: Analyzing Drivers for Low-Carbon Transportation Adoption in California's Heavy-Duty and Off-Road Sectors. *Sustainability*, 16(5), 1722.
- Çabukoğlu, E., Georges, G., Küng, L., Pareschi, G., & Boulouchos, K. (2018).** Battery electric propulsion: An option for heavy-duty vehicles? Results from a Swiss case-study. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 88, 107-123.
- De la Pena, A. G., Davendralingam, N., Raz, A. K., DeLaurentis, D., Shaver, G., Sujan, V., & Jain, N. (2020).** Projecting adoption of truck powertrain technologies and CO2 emissions in line-haul networks. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84, 102354.
- Delbecq, A.L., Van de Ven, A.H., Gustafson, D.H. (1975).** *Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi Processes*; Scott, Foresman & Company: Northbrook, IL, USA.
- De Wolf, D., & Smeers, Y. (2023).** Comparison of Battery Electric Vehicles and Fuel Cell Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 14(9), 262.
- Earl, T., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C. C., & Nix, J. (2018, May).** Analysis of long haul battery electric trucks in EU. In *8th Commercial Vehicle Workshop* (pp. 17-18).
- Fan, E., Li, L., Wang, Z., Lin, J., Huang, Y., Yao, Y., ... & Wu, F. (2020).** Sustainable recycling technology for Li-ion batteries and beyond: challenges and future prospects. *Chemical reviews*, 120(14), 7020-7063.
- Feng, B., Ye, Q., & Collins, B. J. (2019).** A dynamic model of electric vehicle adoption: The role of social commerce in new transportation. *Information & Management*, 56(2), 196-212.
- Förster, B., & von der Gracht, H. (2014).** Assessing Delphi panel composition for strategic foresight—A comparison of panels based on company-internal and external participants. *Technological Forecasting and Social Change*, 84, 215-229.
- Ghandriz, T., Jacobson, B., Islam, M., Hellgren, J., & Laine, L. (2021).** Transportation-mission-based optimization of heterogeneous heavy-vehicle fleet including electrified propulsion. *Energies*, 14(11), 3221.
- 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. (2018).** Acceptance of electric passenger cars in commercial fleets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 122-129.
- Globisch, J., Dütschke, E., & Wietschel, M. (2018).** 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.
- Gong, Y., Xiao, J., Tang, X., & Li, J. (2023).** How sustainable marketing influences the customer engagement and sustainable purchase intention? The moderating role of corporate social responsibility. *Frontiers in Psychology*, 14, 1128686.
- Göckeler, K., Steinbach, I. Görz, W. K., Hacker, F., Blanck, R., Mottschall, M. (2023):** StratES - Scenarios for the electrification of road freight transport. Study based on market ramp-up modeling. Third report of the StratES research and dialogue project. Berlin: OekoInstitut.
- Higueras-Castillo, E., Singh, V., Singh, V., & Liébana-Cabanillas, F. (2023).** Factors affecting adoption intention of electric vehicle: a cross-cultural study. *Environment, Development and Sustainability*, 1-37.
- Hovi, I. B., & Ruben, D. (2019).** Erfaringer fra tidlige brukere av. *Fuel*, 1, 1-26.
- International Energy Agency. (2017).** The future of trucks. Paris, France: IEA. <https://doi.org/10.1787/9789264279452-en>, (Erişim: 22 Eylül 2023).
- International Energy Agency. (2024).** Global EV Outlook 2024. Paris, France: IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>, (Erişim: 19 Mayıs 2024).
- İmre, Ş., Celebi, D., & Koca, F. (2021).** Understanding barriers and enablers of electric vehicles in urban freight transport: Addressing stakeholder needs in Turkey. *Sustainable Cities and Society*, 68, 102794.
- Jiang, X., & Guo, X. (2020).** Evaluation of performance and technological characteristics of battery electric logistics vehicles: China as a case study. *Energies*, 13(10), 2455.
- Kast, J., Vijayagopal, R., Gangloff Jr, J. J., & Marcinkoski, J. (2017).** Clean commercial transportation: Medium and heavy duty fuel cell electric trucks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(7), 4508-4517.
- Konstantinou, T., & Gkritza, K. (2023a).** Examining the barriers to electric truck adoption as a system: A Grey-DEMATEL approach. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 17, 100746.
- Konstantinou, T., & Gkritza, K. (2023b).** Are we getting close to truck electrification? US truck fleet managers' stated intentions to electrify their fleets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 173, 103697.
- Krishna, G. (2021).** Understanding and identifying barriers to electric vehicle adoption through thematic analysis. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 10, 100364.

- 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), 551-569.
- Lehmann, J.; Gvozdjak, A.; Winkenbach, M.,** The Service Network Fleet Transition Problem. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4732766> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4732766> (Erişim: 20 Mart 2024)
- Liimatainen, H., van Vliet, O., & Aplyn, D.** (2019). The potential of electric trucks—An international commodity-level analysis. *Applied energy*, 236, 804-814.
- Lin, J., Cheng, Y. L., Cheng, X., Shen, H., Pawar, A., & Koziel, K.** (2024). Development of Commercial Vehicle Emission Inventory and Analysis. FHWA-ICT-24-002.
- Lyu, Z., Pons, D., & Zhang, Y.** (2023). Emissions and Total Cost of Ownership for Diesel and Battery Electric Freight Pickup and Delivery Trucks in New Zealand: Implications for Transition. *Sustainability*, 15(10), 7902.
- Mareev, I., Becker, J., & Sauer, D. U.** (2017). Battery dimensioning and life cycle costs analysis for a heavy-duty truck considering the requirements of long-haul transportation. *Energies*, 11(1), 55.
- Mareev, I., & Sauer, D. U.** (2018). Energy consumption and life cycle costs of overhead catenary heavy-duty trucks for long-haul transportation. *Energies*, 11(12), 3446.
- McKinnon, A., & Leonardi, J.** (2009). The collection of long-distance road freight data in Europe. In *Transport survey methods: keeping up with a changing world* (pp. 295-310). Emerald Group Publishing Limited.
- Mourello, S.** (2016). *The Eco-Friendly Intermodal Delivery Network*. Liberty University, USA.
- Mrozik, W., Rajaeifar, M. A., Heidrich, O., & Christensen, P.** (2021). Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 14(12), 6099-6121.
- Murray, T. J.** (1979). Delphi methodologies: A review and critique. *Urban Systems*, 4(2), 153-158.
- Negnevitsky, M.** (2005). *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems*; Pearson Education: London, UK.
- Nurhadi, L., Borén, S., & Ny, H.** (2014). A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in Swedish medium sized cities. *Transportation Research Procedia*, 3, 818-827.
- Nykvist, B., & Nilsson, M.** (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature climate change*, 5(4), 329-332.
- Ogden, J. A., Petersen, K. J., Carter, J. R., & Monczka, R. M.** (2005). Supply management strategies for the future: a Delphi study. *Journal of Supply Chain Management*, 41(3), 29-48.

- Plötz, P., Gnann, T., Jochem, P., Yilmaz, H. Ü., & Kaschub, T.** (2019). Impact of electric trucks powered by overhead lines on the European electricity system and CO2 emissions. *Energy policy*, 130, 32-40.
- Quak, H., Nesterova, N., & van Rooijen, T.** (2016a). 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.** (2016b). Zero emission city logistics: Current practices in freight electromobility and feasibility in the near future. *Transportation Research Procedia*, 14, 1506-1515.
- Quaranta, S., Aiello, G., Inguanta, R., Bonafede, F., Abusohyon, I. A. S., & Venticinque, M.** (2023, July). Mutli-Objective performance assessment of vehicles for logistic operations: methodology and case study. In *2023 3rd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)* (pp. 1-6). IEEE.
- Richardson, D. A., De Leeuw, S., & Dullaert, W.** (2016). Factors affecting global inventory prepositioning locations in humanitarian operations—a Delphi study. *Journal of Business Logistics*, 37(1), 59-74.
- Rizet, C., Cruz, C., & Vromant, M.** (2016). The constraints of vehicle range and congestion for the use of electric vehicles for urban freight in France. *Transportation Research Procedia*, 12, 500-507.
- Rogstadius, J., Alaküla, M., Plötz, P., Márquez-Fernández, F., & Nordin, L.** (2024). 2035 Joint Impact Assessment of Greenhouse Gas Reducing Pathways for EU Road Transport.
- Rowe, G., & Wright, G.** (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International journal of forecasting*, 15(4), 353-375.
- Sabet, S., & Farooq, B.** (2023). Exploring sustainable pathways for urban traffic decarbonization: vehicle technologies, management strategies, and driving behaviour. *arXiv preprint arXiv:2308.14914*.
- Samet, M. J., Liimatainen, H., & van Vliet, O. P. R.** (2023). GHG emission reduction potential of road freight transport by using battery electric trucks in Finland and Switzerland. *Applied Energy*, 347, 121361.
- Schmid, F., Taube, L., Rieck, J., & Behrendt, F.** (2020). Electrification of waste collection vehicles: Technoeconomic analysis based on an energy demand simulation using real-life operational data. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 7(2), 604-615.
- Scorrano, M., Danielis, R., & Giansoldati, M.** (2021). Electric light commercial vehicles for a cleaner urban goods distribution. Are they cost competitive?. *Research in Transportation Economics*, 85, 101022.
- Sen, B., Ercan, T., & Tatari, O.** (2017). Does a battery-electric truck make a difference?—Life cycle emissions, costs, and externality analysis of alternative fuel-powered Class 8 heavy-duty trucks in the United States. *Journal of cleaner production*, 141, 110-121.

- Smith, D., Ozpineci, B., Graves, R. L., Jones, P. T., Lustbader, J., Kelly, K., ... & Mosbacher, J.** (2020). Medium-and heavy-duty vehicle electrification: An assessment of technology and knowledge gaps (No. ORNL/SPR-2020/7). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States); National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Soysal, M., Belbağ, S., & Sel, Ç.** (2021). A closed vendor managed inventory system under a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, 156, 107210.
- Speth, D., & Funke, S. Á.** (2019). A techno-economic comparison of battery swap and electric road systems for heavy road transport. A German case study. In *Proceedings of the 3rd Electric Road Systems Conference*.
- Spickermann, A., Zimmermann, M., & von der Gracht, H. A.** (2014). Surface-and deep-level diversity in panel selection—exploring diversity effects on response behaviour in foresight. *Technological Forecasting and Social Change*, 85, 105-120.
- Sugeno, M.** (1985). *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Inc.
- Syré, A. M., Shyposha, P., Freisem, L., Pollak, A., & Göhlich, D.** (2024). Comparative Life Cycle Assessment of Battery and Fuel Cell Electric Cars, Trucks, and Buses. *World Electric Vehicle Journal*, 15(3), 114.
- Taefi, T. T., Kreutzfeldt, J., Held, T., & Fink, A.** (2016a). Supporting the adoption of electric vehicles in urban road freight transport—A multi-criteria analysis of policy measures in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 61-79.
- Taefi, T. T., Kreutzfeldt, J., Held, T., Konings, R., Kotter, R., Lilley, S., ... & Nyquist, C.** (2016b). Comparative analysis of European examples of freight electric vehicles schemes—a systematic case study approach with examples from Denmark, Germany, the Netherlands, Sweden and the UK. In *Dynamics in Logistics: Proceedings of the 4th International Conference LDIC, 2014 Bremen, Germany* (pp. 495-504). Springer International Publishing.
- Taefi, T. T., Stütz, S., & Fink, A.** (2017). Assessing the cost-optimal mileage of medium-duty electric vehicles with a numeric simulation approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 271-285.
- Tanco, M., Cat, L., & Garat, S.** (2019). A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1354-1367.
- Tanco, M., Cavallieri, M. S., Levy, M., Rossi, S., & Jurburg, D.** (2023). Barriers towards the adoption of battery electric trucks-an exploratory study in Uruguay. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 15(3), 292-317.
- Taşdan, M. E., Menten, C., Soysal, M., & Çimen, M.** (2023). Heterojen Araçlar ile Sürdürülebilir Birebir Toplama ve Dağıtım Problemi Üzerine Bir Analiz. *Verimlilik Dergisi*, 57(1), 23-44.

- 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: Proceedings of the 4th International Conference LDIC, 2014 Bremen, Germany* (pp. 375-378). Springer International Publishing.
- 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, S., & Yu, J.** (2021). A comparative life cycle assessment on lithium-ion battery: Case study on electric vehicle battery in China considering battery evolution. *Waste Management & Research*, 39(1), 156-164.
- 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.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A.** (1996). Fuzzy logic= computing with words. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 4(2), 103-111.
- Zhao, Y., Ercan, T., & Tatari, O.** (2016). Life cycle based multi-criteria optimization for optimal allocation of commercial delivery truck fleet in the United States. *Sustainable Production and Consumption*, 8, 18-31.
- Zhou, T., Roorda, M. J., MacLean, H. L., & Luk, J.** (2017). Life cycle GHG emissions and lifetime costs of medium-duty diesel and battery electric trucks in Toronto, Canada. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55, 91-98.
- Url-1** <<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/1d395498-35da-4d0e-9436-5ebcec3007d2?lang=en> > Lorries, by type of motor energy [road_eqs_lormot__custom_10183802]. (Erişim: 2 Mart 2024).
- Url-2** <<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2023-49432>> Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2023 (Erişim: 2 Mart 2024).
- Url-3** <<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyedeki-yesil-istasyon-sayisi-elektrikli-arac-sarj-istasyonlarinin-3te-1inigecti/3126627#:~:text=EPDK%20verilerine%20g%C3%B6re%2C%202023%20ba%C5%9F%C4%B1nda,2%20bin%20206'ya%20ula%C5%9Ft%C4%B1.>> (Erişim: 2 Mart 2024).
- Url-4** <<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672&dil=1> > (Erişim: 3 Mart 2024).
- Url-5** < https://en.wikipedia.org/wiki/Truck_classification#Class_8 > (Erişim: 4 Mart 2024).
- Url-6**
<<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24356&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>> (Erişim: 4 Mart 2024).
- Url-7** < <https://ghgprotocol.org/standards-guidance>> (Erişim: 4 Mart 2024)



EKLER

EK A: Üyelik fonksiyonları

EK B: Anketler



EK A: Üyelik fonksiyonları

Dilsel Değişken	Fonksiyonlar	Dilsel Değişken	Fonksiyonlar
$c_0 = \text{çok düşük}$	$\mu_{c_0}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq 0.8 \\ \frac{0.9 - x}{0.9 - 0.8} & \text{if } x \in (0.8, 0.9) \\ 0 & \text{if } x \geq 0.9 \end{cases}$	$c_3 = \text{yüksek}$	$\mu_{c_3}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 1.0 \\ \frac{x - 1.0}{1.1 - 1.0} & \text{if } x \in (1.0, 1.1) \\ \frac{1.2 - x}{1.2 - 1.1} & \text{if } x \in (1.1, 1.2) \\ 0 & \text{if } x \geq 1.2 \end{cases}$
$c_1 = \text{düşük}$	$\mu_{c_1}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 0.8 \\ \frac{x - 0.8}{0.9 - 0.8} & \text{if } x \in (0.8, 0.9) \\ \frac{1.0 - x}{1.0 - 0.9} & \text{if } x \in (0.9, 1.0) \\ 0 & \text{if } x \geq 1.0 \end{cases}$	$c_4 = \text{çok yüksek}$	$\mu_{c_4}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 1.1 \\ \frac{x - 1.1}{1.2 - 1.1} & \text{if } x \in (1.1, 1.2) \\ 1 & \text{if } x \geq 1.2 \end{cases}$
$c_2 = \text{orta}$	$\mu_{c_2}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 0.9 \\ \frac{x - 0.9}{1.0 - 0.9} & \text{if } x \in (0.9, 1.0) \\ \frac{1.1 - x}{1.1 - 1.0} & \text{if } x \in (1.0, 1.1) \\ 0 & \text{if } x \geq 1.1 \end{cases}$		

Şekil A.1 : TSM oranı AEK/İYMK üyelik fonksiyonu

EK A: Üyelik fonksiyonları

Dilsel Değişken	Fonksiyonlar	Dilsel Değişken	Fonksiyonlar
$t_0 = \text{orta}$	$\mu_{t_0}(y) = \begin{cases} 1 & \text{if } y \leq 1.0 \\ \in & \\ \frac{1.07 - y}{1.07 - 1.0} & \text{if } y \in (1.0, 1.07) \\ 0 & \text{if } y \geq 1.07 \end{cases}$	$t_2 = \text{çok yüksek}$	$\mu_{t_2}(y) = \begin{cases} 0 & \text{if } y \leq 1.07 \\ \in & \\ \frac{y - 1.07}{1.13 - 1.07} & \text{if } y \in (1.07, 1.13) \\ 1 & \text{if } y \geq 1.13 \end{cases}$
$t_1 = \text{yüksek}$	$\mu_{t_1}(y) = \begin{cases} 0 & \text{if } y \leq 1.0 \\ \in & \\ \frac{y - 1.0}{1.07 - 1.0} & \text{if } y \in (1.0, 1.07) \\ \frac{1.13 - y}{1.13 - 1.07} & \text{if } y \in (1.07, 1.13) \\ 0 & \text{if } y \geq 1.13 \end{cases}$		

Şekil A.2 : SS oranı AEK/İYMK üyelik fonksiyonu

EK A: Üyelik fonksiyonları

Dilsel Değişken	Fonksiyonlar	Dilsel Değişken	Fonksiyonlar
$e_0 = \text{yüzde sıfır}$	$\mu_{e0}(z) = \begin{cases} 1 & \text{if } z \leq 0.0 \\ \frac{0.1 - z}{0.1} & \text{if } z \in (0, 0.1) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.1 \end{cases}$	$e_6 = \text{yüksek}$	$\mu_{e6}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.5 \\ \frac{z - 0.5}{0.6 - 0.5} & \text{if } z \in (0.5, 0.6) \\ \frac{0.7 - z}{0.7 - 0.6} & \text{if } z \in (0.6, 0.7) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.7 \end{cases}$
$e_1 = \text{çok çok düşük}$	$\mu_{e1}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0 \\ \frac{z}{0.1} & \text{if } z \in (0, 0.1) \\ \frac{0.2 - z}{0.2 - 0.1} & \text{if } z \in (0.1, 0.2) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.2 \end{cases}$	$e_7 = \text{çok yüksek}$	$\mu_{e7}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.6 \\ \frac{z - 0.6}{0.7 - 0.6} & \text{if } z \in (0.6, 0.7) \\ \frac{0.8 - z}{0.8 - 0.7} & \text{if } z \in (0.7, 0.8) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.8 \end{cases}$
$e_2 = \text{son derece düşük}$	$\mu_{e2}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.1 \\ \frac{z - 0.1}{0.2 - 0.1} & \text{if } z \in (0.1, 0.2) \\ \frac{0.3 - z}{0.3 - 0.2} & \text{if } z \in (0.2, 0.3) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.3 \end{cases}$	$e_8 = \text{son derece yüksek}$	$\mu_{e8}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.7 \\ \frac{z - 0.7}{0.8 - 0.7} & \text{if } z \in (0.7, 0.8) \\ \frac{0.9 - z}{0.9 - 0.8} & \text{if } z \in (0.8, 0.9) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.9 \end{cases}$
$e_3 = \text{çok düşük}$	$\mu_{e3}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.2 \\ \frac{z - 0.2}{0.3 - 0.2} & \text{if } z \in (0.2, 0.3) \\ \frac{0.4 - z}{0.4 - 0.3} & \text{if } z \in (0.3, 0.4) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.4 \end{cases}$	$e_9 = \text{çok çok düşük}$	$\mu_{e9}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.8 \\ \frac{z - 0.8}{0.9 - 0.8} & \text{if } z \in (0.8, 0.9) \\ \frac{1.0 - z}{1.0 - 0.9} & \text{if } z \in (0.9, 1.0) \\ 0 & \text{if } z \geq 1.0 \end{cases}$
$e_4 = \text{düşük}$	$\mu_{e4}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.3 \\ \frac{z - 0.3}{0.4 - 0.3} & \text{if } z \in (0.3, 0.4) \\ \frac{0.5 - z}{0.5 - 0.4} & \text{if } z \in (0.4, 0.5) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.5 \end{cases}$	$e_{10} = \text{yüzde yüz}$	$\mu_{e10}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.9 \\ \frac{z - 0.9}{1.0 - 0.9} & \text{if } z \in (0.9, 1.0) \\ 1 & \text{if } z \geq 1.0 \end{cases}$
$e_5 = \text{orta}$	$\mu_{e5}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 0.4 \\ \frac{z - 0.4}{0.5 - 0.4} & \text{if } z \in (0.4, 0.5) \\ \frac{0.6 - z}{0.6 - 0.5} & \text{if } z \in (0.5, 0.6) \\ 0 & \text{if } z \geq 0.6 \end{cases}$		

Şekil A.3 : Algılanan ekonomik fayda üyelik fonksiyonu.

EK B: Anketler

Elektrikli yük araçlarını bir alternatif olmaktan çıkarabilecek faktörler (Engelleyiciler)	Limit Değeri
Tek şarj ile gidebildiği mesafe	
Şarj İstasyonu Sayısı / Benzin İstasyonu Sayısı	
Servis Bakım Kalitesi	
Yasal Mevzuatın Netleşmesi	
...	

AEK – İYMK satın alma kararını etkileyen Ekonomik Faktörler	Çok Düşük	Düşük	Aynı	Yüksek	Çok Yüksek
Yaşam Boyu Maliyet AEK/İYMK					
Seyahat Süresi AEK / İYMK					
...					

AEK – İYMK satın alma kararını etkileyen Sosyal Faktörler	Etkilemez	Etkiler	Çok Etkiler
AEK kullanımında toplumdaki pozitif algı (Kurumsal-Halkla İlişkiler)			
Sera gazı salınımının azalması (Kişisel)			
Beklenen Yasal Düzenlemeler (Kurumsal – AB ve Türkiye)			
...			

Şekil B.1 : Anket 1

EK B: Anketler

Ç1	Md	Ç3	R	Eski	Yeni	Tanım	Elektrikli yük araçlarını bir alternatif olmaktan çıkarabilecek faktörler (Engelleyciler)
						Limit Değeri	Tek şarj ile gidebildiği mesafe
						Limit Değeri	Şarj İstasyonu Sayısı / Benzin İstasyonu Sayısı

Ç1	Md	Ç3	R	Eski	Yeni	Dilsel İfade	Ekonomik Faktörler
						Çok Düşük	Yaşam Boyu Maliyet EYA / İYMA
						Düşük	
						Aynı	
						Yüksek	
						Çok Yüksek	
						Aynı	Seyahat Süresi EYA / İYMA
						Yüksek	
						Çok Yüksek	

Sosyal Faktörler	Dilsel İfade	%	Eski	Yeni
AEK kullanımında toplumdaki pozitif algı	Etkilemez			
	Etkiler			
	Çok Etkiler			
Sera gazı salınımının azalması ve diğer çevresel etkiler	Etkilemez			
	Etkiler			
	Çok Etkiler			

Şekil B.2 : Anket 2

EK B: Anketler

Ekonomik Faktör 1	Dilsel İfade	Ekonomik Faktör 2	Dilsel İfade	AEK Satın Alma Oranı %
Toplam Sahip Olma Maliyeti AEK / İYMK	Çok Düşük	Seyahat Süresi AEK / İYMK	Aynı	
			Yüksek	
			Çok Yüksek	
	Düşük		Aynı	
			Yüksek	
			Çok Yüksek	
	Aynı		Aynı	
			Yüksek	
			Çok Yüksek	
	Yüksek		Aynı	
			Yüksek	
			Çok Yüksek	
	Çok Yüksek		Aynı	
			Yüksek	
			Çok Yüksek	

Şekil B.3 : Anket 3

EK B: Anketler

				AEK Alım Oranı %					
Ekonomik Faktör 1	Dilsel İfade	Ekonomik Faktör 2	Dilsel İfade	Ç1	Md	Ç3	R	Eski	Yeni
Toplam Sahip Olma Maliyeti AEK / İYMK	Çok yüksek	Seyahat Süresi AEK / İYMK	Aynı						
			Yüksek						
			Çok Yüksek						
	Yüksek		Aynı						
			Yüksek						
			Çok Yüksek						
	Aynı		Aynı						
			Yüksek						
			Çok Yüksek						
	Düşük		Aynı						
			Yüksek						
			Çok Yüksek						
Çok Düşük	Aynı								
	Yüksek								
	Çok Yüksek								

Şekil B.4 : Anket 4

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Levent ÖZLÜ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1998, İstanbul Teknik Üniv”ersitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2015, Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi

MESLEKİ DENEYİM:

- 2011-2014 Tedarik Planlama Yöneticisi Çolakoğlu Metalürji A.Ş.
- 2014-2015 Satış Planlama Yöneticisi Çolakoğlu Metalürji A.Ş.
- 2015-2017 Tedarik Zinciri Proje Geliştirme Yöneticisi Çolakoğlu Metalürji A.Ş.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Özlü, L., & Çelebi, D.** 2023. Battery Electric Vehicles in Freight Transportation. *International Engineering And Technology Management Summit 2023*, October 19-21, 2023 Istanbul, Turkey.
- **Özlü, L., & Çelebi, D.** 2024. Electrifying Freight: Modeling the Decision-Making Process for Battery Electric Truck Procurement. *Sustainability*, 16(9), 3801.