İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EV-İŞ YOLCULUKLARINA BAĞLI KARBON AYAK İZİNİN LOJİT MODEL İLE İNCELENMESİ: İSTANBUL İÇİN BİR DEĞERLENDİRME ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Asilcan ÖZKAYNAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EV-İŞ YOLCULUKLARINA BAĞLI KARBON AYAK İZİNİN LOJİT MODEL İLE İNCELENMESİ: İSTANBUL İÇİN BİR DEĞERLENDİRME ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Asilcan ÖZKAYNAK
501161402

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161402 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Asilcan ÖZKAYNAK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "EV-İŞ YOLCULUKLARINA BAĞLI KARBON AYAK İZİNİN LOJİT MODEL İLE İNCELENMESİ: İSTANBUL İÇİN BİR DEĞERLENDİRME ÇALIŞMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Eda BEYAZIT İNCE** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Göker AKSOY .....
Işık Üniversitesi

Teslim Tarihi : 11 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 23 Temmuz 2020



Sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Küresel ısınmanın etkilerinin ciddi boyutlara taşındığı günümüzde, bu etkilerin nedenlerinden en önemlisi insan faaliyetleridir. İnsanın söz konusu olduğu her alanda çevreye çeşitli etkilerde bulunulduğu bir gerçektir. Bu gerçeği daha görünür kılmak adına çalışma kapsamında dünya ve Türkiye ölçeğinde küresel ısınmanın önemli nedenlerinden biri olarak sayılan CO_2 salınımlarına dair bilgiler verilmiş ve İstanbul kenti içerisinde ev-iş yolculukları gerçekleştiren katılımcıların bu süreçte neden oldukları karbon ayak izleri belirlenmiştir. Hesaplanan değerler ile katılımcı profilleri lojit model yardımıyla ile incelenerek ulaştırma sektörü içerisinde ev-iş yolculuklarından kaynaklanan CO_2 salınımlarının yeri ifade edilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimimin ilk döneminden itibaren bana her konuda destek olan, karşılaştığım her sorunda bana yardım eden, iletişim konusunda her koşulda ulaşılabilir olan ve öğrencilerine karşı sergilediği yardımsever ve güzel davranışlarıyla motive edici olup benim için güzel bir rol model olan ve hayata olan bakış açımı değiştiren saygıdeğer danışmanım DOÇ. DR. Hüseyin Onur TEZCAN'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında olduğu gibi yüksek lisans eğitim aşamamda ve tez yazma sürecimde benden desteklerini esirgemeyen ve yanımda olduklarını hissettiren annem Şadiye ÖZKAYNAK'a, babam İbrahim ÖZKAYNAK'a ve ablam Burcu BOZAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Asilcan ÖZKAYNAK
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı 3
2. KARBON AYAK İZİ KAVRAMI **5**
2.1 İklim Değişikliğinin İnsan Üzerindeki Etkisi 5
2.2 CO_2 Salınım Değerlerinin Dünya ve Türkiye Ölçeğinde İncelenmesi 7
2.3 Karbon Ayak İzi 10
3. YÖNTEM **17**
3.1 IPCC Hakkında 17
3.2 CO_2 Salınım Hesapları (IPCC Metodolojisi – Tier Yöntemleri) 18
3.3 CO_2 Salınım Hesabı – Tier 1 Yöntemi 21
3.3.1 Karayolu ve denizyolu ulaşımından kaynaklanan CO_2 salınımları 24
3.3.2 Ulaştırma sektöründe demiryolundan kaynaklanan CO_2 salınımları 24
3.4 Model Yaklaşımı 26
3.4.1 Fayda Tabanlı Tercih Teorisi 27
3.4.2 Çok Terimli Lojit Model 30
3.4.3 Katsayıların Tahmini 31
3.4.4 Model performans ve uyum iyiliği testleri 32
4. MATERYAL VE METOD **35**
4.1 Anket ve Veri Tanıtımı 35
4.2 Katılımcı İstatistikleri 36
4.3 Karbon Ayak İzinin Hesaplanması 39
4.4 Çok Terimli Lojit Modelin Kurulması ve Yorumlanması 43
4.5 Senaryo Uygulamaları 52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **57**
KAYNAKLAR **63**
EK A: ANKET SORULARI **71**
EK B: CO_2 SALINIM TAHMİNLERİ **75**
ÖZGEÇMİŞ **77**

KISALTMALAR

BSAİ : Balıkçılık Sahası Ayak İzi

DDKAİ : Düşük Düzey Karbon Ayak İzi

EAİ : Ekolojik Ayak İzi

EFDB : Emisyon Faktörü Veri Tabanı

EPA : Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

GFN : Global Footprint Network (Küresel Ayak İzi Ağı)

ICAO : Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü

IEA : Internatıonal Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)

IPCC : Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli

İBB : İstanbul Büyükşehir Belediyesi

İETT : İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri

KAİ : Karbon Ayak İzi

LPG : Likit Petrol Gazı

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)

ODKAİ : Orta Düzey Karbon Ayak İzi

ORAİ : Orman Ayak İzi

OTAİ : Otlak Ayak İzi

TAAİ : Tarım Arazisi Ayak İzi

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UNEP : Birleşmiş Milletler Çevre Programı

UNFCCC : Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

WHO : Dünya Sağlık Örgütü

WMO : Dünya Meteroloji Örgürü

YAAİ : Yapılaşmış Alan Ayak İzi

YDKAİ : Yüksek Düzey Karbon Ayak İzi

SEMBOLLER

°C	**:** Santigrat
°F	**:** Fahrenheit
$\boldsymbol{\varepsilon}$	**:** Fayda fonksiyonunun olasılıksal kısmı
CH_4	**:** Metan
CO_2	**:** Karbondioksit
CO_2 / PKM	**:** Yolcu-km başına karbondioksit salınım miktarı
E	**:** Emisyon Faktörü
Gg	**:** Gigagram
GtC	**:** Gigaton karbon
$GtCO_2$	**:** Gigaton karbondioksit
kg	**:** Kilogram
kg/yolcu-mil	**:** Yolcu-mil başına kilogram miktarı
Kha	**:** Küresel hektar
km:	**:** Kilometre
kt	**:** Kiloton
-2LL	**:** -2 log-olabilirlik istatistiği
LL(β)	**:** Log-olabilirlik fonksiyonu
l	**:** litre
Mt	**:** Milyon ton
$\boldsymbol{N}$	**:** Yakıtın net kalorifik değeri
N_2O	**:** Nitröz oksit
P	**:** Bir bireyin seçimi gerçekleştirme olasılığı
lb	**:** pound
t	**:** ton
TJ	**:** Terajoule
U	**:** Fayda Fonksiyonu
V	**:** Fayda fonksiyonunun belirlenimsel kısmı
$\boldsymbol{\chi^2}$	**:** Ki-kare istatistiği değeri
$\boldsymbol{\rho^2}$	**:** Sanal R^2 değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kişi başına düşen CO_2 salınımlarına göre 2017 dünya sıralaması (Union of Concerned Scientist, 2019 revised 2008). **9**
Çizelge 3.1 : Yakıtların net kalorifik değerleri (IPCC, 2006b; EFDB, t.y.). **22**
Çizelge 3.2 : Karbon emisyon faktörleri (IPCC, 1997 revised 1996; EFDB, t.y.). .. **22**
Çizelge 3.3 : CO_2 emisyon faktörleri (IPCC, 2006a). **23**
Çizelge 4.1 : Anket analizi..... **36**
Çizelge 4.2 : Toplu taşıma araçları ve yakıt tüketim değerleri. **40**
Çizelge 4.3 : Toplu taşıma araçları yolcu kapasitleri. **42**
Çizelge 4.4 : Karbondioksit salınım seviyeleri ve kapsadığı gruplar. **44**
Çizelge 4.5 : Modelde yer alan değişkenler. **45**
Çizelge 4.6 : Korelasyon matrisi. **46**
Çizelge 4.7 : Model tahmin sonuçları. **48**
Çizelge 4.8 : Model sonuçlarının karşılaştırılması. **52**
Çizelge 4.9 : Senaryo uygulamaları sonucundaki değişimler. **53**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yıllara göre küresel ölçekte ortalama deniz yüzeyi sıcaklıkları. (NOAA, 2016). **6**
Şekil 2.2 : Küresel ölçekte kişi başına düşen CO_2 salınımları (IEA, 2020a)..... **8**
Şekil 2.3 : Türkiye'de sektörlere göre CO_2 salınımları (IEA, 2020b). **10**
Şekil 2.4 : Küresel ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite eğilimleri (Global Footprint Network, 2019a)..... **11**
Şekil 2.5 : Türkiye'nin toplam ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite (Global Footprint Network, 2019b)..... **12**
Şekil 2.6 : Türkiye'de toplam ekolojik ayak izi bileşenlerinin yıllar içindeki seyri (Global Footprint Network, 2019c)..... **13**
Şekil 2.7 : Ülkelerin nüfus ve karbon ayak izi payları (Global Footprint Network, t.y.). **14**
Şekil 2.8 : Bir Kişinin Tipik Karbon Ayak İzi Dökümü (Bhoyar ve diğ, 2014). **15**
Şekil 3.1 : Salınım hesap adımları. **23**
Şekil 3.2 : R^2 - ρ^2 ilişkisi (Domencich ve McFadden, 1975)..... **33**
Şekil 4.1 : Mevcut durum – Senaryo 1 karşılaştırılması..... **54**
Şekil 4.2 : Mevcut durum – Senaryo 2 karşılaştırılması..... **55**
Şekil 4.3 : Mevcut durum – Senaryo 3 karşılaştırılması..... **56**

EV-İŞ YOLCULUKLARINA BAĞLI KARBON AYAK İZİNİN LOJİT MODEL İLE İNCELENMESİ: İSTANBUL İÇİN BİR DEĞERLENDİRME ÇALIŞMASI

ÖZET

Doğal çevre ile yapay çevrenin birbiri ile sürekli etkileşim halinde olması özellikle insanların neden olduğu çevre kirliliği ve doğal kaynakların insanlar tarafından bilinçsiz tahribata uğratılması sonucunda, doğal çevrenin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Ulaşım, ısınma ve hatta besin ihtiyacının karşılanmasına kadar insanın olduğu her alanda gerçekleştirilen faaliyetler sonucunda bu etkileşimin izlenmemesi ve kontrol edilmemesi doğaya geri dönüşü olmayan ciddi zararlar vermektedir. Bu etkilerin en net görüldüğü alanlardan biri de atmosfere yayılan sera gazları içerisinden CO_2 miktarında yatmaktadır.

Tez kapsamında öncelikle karbon ayak izi kavramının ifade ettiklerinin anlaşılabilmesi adına, bu kavramın ortaya çıkışında etkili olan konulara değinilmiştir. Bu kapsamda iklim değişikliğinin temelinde yatan sebeplerin ve insan faktörünün nasıl bir etkiye neden olduğunun ortaya konulması adına, çevreye zarar veren insan faaliyetlerinin altı çizilmiştir. Son yıllarda uzmanlar tarafından iklim krizi olarak nitelendirilen iklim değişikliğinin nedenlerinden en önemlisi atmosferdeki sera gazı oranlarında gerçekleşen ciddi ölçüde artışın en büyük payını fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanan CO_2 salınımları oluşturmaktadır. Sektörel bazda Türkiye açısından durum incelendiğinde ise elektrik üretimi, ısınma faaliyetleri ve sanayi bazlı yakıt tüketiminden hemen sonra ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO_2 salınımları ciddi bir oran tutmaktadır.

Ulaştırma sektörü, fosil yakıt tüketiminin fazla olması ve atmosfere yayılan CO_2 salınımlarında önemli bir paya sahip olması nedeniyle çalışmanın konusu olarak seçilmiştir. Bu kapsamda İstanbul kenti içerisinde ev-iş yolculukları gerçekleştiren çalışanlara uygulanan anket yardımıyla katılımcıların yolculuk için kullandıkları ulaşım türleri, aylık gelirleri, katettikleri uzunluklar ve kullandıkları ulaşım türlerinden memnuniyetleri gibi bilgiler öğrenilmiştir. Karbon ayak izinin tanımlanmasında literatür kapsamında bir çok görüş olsa da, bu veriler katılımcıların yolculuklarda neden oldukları bireysel CO_2 miktarlarının bir ölçüsü olarak karbon ayak izi değeri şeklinde yorumlanmış ve bu değerler düşük düzey, orta düzey ve yüksek düzey olarak 3 grupta toplanmıştır.

Karbon ayak izlerinin eldesinden sonra, bağımlı değişken sayısının üç olması nedeniyle, karbon ayak izleri ile kullanıcı profilleri, seçtikleri ulaşım türleri ve ücretler gibi bir çok etmen çok terimli lojit model aracılığı ile değerlendirilmiş, sonrasında bu üç grup için (düşük düzey, orta düzey, yüksek düzey) fayda fonksiyonlarına ulaşılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler yardımıyla durumun ortaya daha net bir şekilde ortaya konulabilmesi adına tüm katılımcıların ev-iş yolculuklarını sadece toplu taşıma, sadece servis ve sadece özel otomobille gerçekleştirdiği 3 senaryo için durum değerlendirilmesi yapılmıştır. Özel araç kullanımının salınımların artmasına neden olduğu görülürken, toplu taşımanın birçok yararından biri olarak CO_2

salınımlarını düşürmede de etkili olacağı gösterilmiştir. Servis kullanımında ise salınımlarda düşüş görülmekle beraber hat tasarımının önemi ortaya çıkmıştır. Son olarak, elde edilen karbon ayak izi değerleri ve kurulan senaryolar sonucunda, atmosfere yayılan CO_2 miktarlarının azaltılması için yapılabilecekler ve insanların toplu taşımaya kazandırılabilmesi adına anketten elde edilen sonuçlar kapsamında memnuniyetlerinin nasıl arttırılabileceğine dair öneriler sıralanmıştır.

INVESTIGATION OF CARBON FOOTPRINT RELATED TO DAILY COMMUTE THROUGH THE LOGIT MODEL: A CASE STUDY FOR ISTANBUL

SUMMARY

The artificial environment, which carries traces of social life as a result of human activities and shaped by the use of natural resources, causes the natural environment to be negatively affected as a result of people's insensitive actions to the environment. After important milestones in the history of humanity such as the industrial revolution and world wars; destruction of natural resources and uncontrolled use of natural resources, efforts to capture developing technology, and save their damaged economies have caused serious damage to nature. Although the ability of nature to renew itself to a certain extent causes this harmful situation to be neglected at first, the increase in the size of the damages caused this false perception to be destroyed.

Biological capacity, which can be defined as the capacity of producing renewable natural resources, was larger on a global scale in the 1960s than per capita ecological footprint. As a result of increased population and damage to the natural environment, by 2016, the ecological footprint exceeded biological capacity. Acting parallel to the situation in the world, in Turkey the biological capacity value has fallen below the ecological footprint value.

To understand what the carbon footprint expresses, which is one of the components of the ecological footprint, the issues that are effective in the emergence of the concept are addressed in this study. Human activities that harm the environment are highlighted to reveal the underlying causes of climate change and the impact of the human factor on the interaction between the natural environment and the artificial environment. When these human activities are analyzed, one of the most important effects on environmental damage is fossil fuel use, which stands out in many areas such as heating, industry, and transportation.

Carbon dioxide emissions from the use of fossil fuels constitute the biggest share of the significant increase in the proportion of greenhouse gases in the atmosphere, which is the most important cause of climate change, which is characterized by the climate crisis by experts today. It was observed that the amount of carbon dioxide per capita increased after the 1990s. When examining the situation in Turkey in terms of a sectoral basis; Carbon dioxide emissions from the transportation sector immediately after electricity generation, heating activities, and industry-based fuel consumption hold a significant rate.

The transportation sector has been chosen as the subject of the study because of the high consumption of fossil fuels and an important share in the emission of carbon dioxide emitted into the atmosphere. In this context, with the help of the questionnaire applied to employees who carried out home-work trips in Istanbul, from some information was learned such as types of transportation they used for the trip, their monthly income, the distances they traveled, and the types of transportation they used. Although there are many opinions in the scope of the literature in defining the carbon

footprint, these data were interpreted as carbon footprint value as a measure of the carbon dioxide amounts caused by the participants and these values were calculated with the Tier-1 method, which is one of the greenhouse gas emission estimation methods included in the IPCC Guideline. While calculating the values, the fuel consumption values and travel kilometers obtained according to the type of vehicle used during the home-work trips for a month period were obtained. As the journeys take place at peak hours, carbon footprints have been reached about carbon dioxide emission values on an individual basis with the acceptance that public transportation vehicles operate at full capacity. Among the information contained in the IPCC Guidelines, carbon dioxide emission values calculated with the help of recommended emission factors and net calorific values for countries that could not obtain data were gathered into 3 groups as low level, medium level and high level using standard deviations and average values.

After obtaining the carbon footprints, the logit model was established with the assumption that the participants will be most likely to choose the option that is most useful for them. Since the number of dependent variables was three when establishing a logit model, many independent variables such as user profiles, the types of transportation they chose, fares data, and carbon footprint data were evaluated through the multinomial logit model. After the multinomial logit model was established, utility functions were achieved for these three groups (low level, medium level, high level). The effects of each independent variable in the utility functions are examined and these effects are interpreted to change the current situation in a positive way.

To reveal the situation more clearly with the help of the values obtained as a result of the calculations, the situation was evaluated for 3 scenarios where all participants made their home-work trips only by public transport, shuttle only, and private cars only. As a result of the scenarios, there has been a decrease in the high-level carbon footprint amounts as a result of the use of public transportation and shuttle. On the other hand, there was an increase in low emissions. In the scenario where all participants took home-work trips with their private vehicles, an increase in medium and high-level emission rates was observed depending on the distances they have traveled. All scenarios were compared with the current situation and the links between each scenario and the current situation were interpreted with the help of their graphics. This reveals that the use of public transportation and shuttle use while relieving the traffic problem, cause the carbon footprint values to decrease significantly to show the importance given to the environment.

As a result of all the activities that people carry out in their daily lives, it is necessary to change the daily routines and habits of people to reduce all greenhouse gas emissions, especially the carbon dioxide emitted to the atmosphere, to the optimum level. The study conducted within the scope of the thesis shows how even the compulsory transportation carried out by a small number of people for a month can have big results compared to the number of people living in the province. In the results section of the study, as a result of the carbon footprint values obtained and the scenarios created, small interventions to reduce the amount of carbon dioxide released into the atmosphere, suggestions on how to increase the use of public transportation, methods to encourage the use of public transportation and limit the use of private vehicles are listed. However, these methods become meaningful only when people reach the same level of consciousness. Therefore, to direct people to use public transport, it is necessary to increase the level of consciousness and act together, as well as eliminating the disturbing perception of public transport and providing convenience to users. Besides all these, it is expected that a good arrangement of the route design

of shuttle will play an effective role in reducing emissions. All these come to the forefront as the requirements of a sustainable environment within the scope of the study and are determined as important points to be considered by everyone.

1. GİRİŞ

Canlıların yaşadıkları süre boyunca, birbirleri ve cansız nesneler ile devamlı bir etkileşim içerisinde olmayı sürdürdükleri ortam olarak en genel şekliyle ifade edilebilen çevre, tarih boyunca insanların olumlu ve olumsuz bir çok etkisine maruz kalmıştır ve kalmaya devam etmektedir (Göktaş ve Işıklı, 2016).

Çevre kendi içerisinde, insan etkilerinin görülmediği, önemli etkiler olmadığı sürece bütünlüğünü koruyan ve bileşenlerinin bozulması ya da değiştirilmesi temelde iklim sistemini oluşturan elemanların aralarındaki ilişkiye bağlı olan doğal çevre; insan faaliyetleri ile şekillenen toplumsal yaşamdan izleri içerisinde barındıran, doğal kaynakların ve teknolojinin, insanın varlığını sürdürme güdüsü doğrultusunda kullanılmasının yanı sıra ekonomik etkilerin izlerini taşıyan yapay çevre olarak iki ana başlık altında nitelendirilmektedir (Çabuk ve Karacaoğlu, 2003; Eroğlu, 2017). Doğal kaynakların kullanılması ile yapay çevrenin, üzerinde şekillendiği doğal çevre ile etkileşimi, yapay çevrenin artan nüfus doğrultusunda kontrolsüz büyümesi ve kurulması sırasında çevre bilincine ne ölçüde önem verildiği gibi birçok konu çerçevesinde sürekli olarak devam etmektedir. Ne yazık ki günümüzde doğal çevre bu süreçten oldukça kötü etkilenmekte ve geri dönüşü zor bir sürece doğru ilerlemektedir.

Sanayi devriminin gerçekleşmesinin ardından oldukça hissedilmeye başlayan ve her geçen gün etkisi artan bir durum olarak öne çıkan, insanların doğal çevre üzerindeki baskın hakimiyetleri ve bu süreçte dünya üzerindeki kaynakları sonu gelmeyecekmişcesine kontrolsüz kullanmaları, doğaya verilen zararların boyutunun hızla artmasına yol açmıştır (Kızılaslan ve Kızılaslan 2005). Ancak belirli bir ölçüye kadar doğanın kendini yenileyebilmesi, başlarda bu zararların önemsiz olduğuna dair yanlış bir kanının ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Bayazıt Hayta, 2006). Dünya üzerinde yaşayan nüfusun hızlı bir şekilde artması ile artan talebi karşılamak adına doğru orantılı bir şekilde artan üretim ve tüketimdeki kontrolsüzlük, yenilenebilir yatırımlara gerekli özenin gösterilmemesi gibi nedenler, çevreye verilen zararların miktarını oldukça arttırmıştır. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında net bir şekilde görülen bu etki, ülkelerin zedelenen ekonomilerini eski hallerine getirmek ve hatta kalkındırmak amacıyla yaptıkları çalışmalarda, çevreye verdikleri zararların, hızlı

nüfus artışının, sanayileşmenin ve doğal kaynakların kontrolsüz kullanımının getirisi olarak, problemi geri dönüşü zor bir hale getirmiştir (Bayazıt Hayta, 2006).

Ekonomik gelişmeye bağlı olarak insan faaliyetlerinden doğan zararların küresel bir kriz haline gelmesi karar vericilerin dikkatini çekmiş ve sürdürülebilirlik gerektiği önemi kazanan bir konu olarak gündeme gelmeye başlamıştır. Doğaya verilen zararların bu derece gözle görülür bir hale gelmesi ile daha temiz ve çevresel sürdürülebilirliğe duyarlı teknolojiler adına yatırımlar yapılmaya başlansa da özellikle gelişmekte olan bazı ülkelerin yüksek ilk yatırım maliyetleri nedeniyle temiz teknolojiye geçişi tamamlayamamaları, doğaya karşı verilen zararların devam etmesine sebep olmaktadır (Artan ve diğ, 2015).

Taşıtlarda tüketilen yakıt miktarına bağlı olmanın dışında, endüstriyel tesislerde ve konutlarda gerek ısınma gerekse üretimin devamı için tüketilen yakıt miktarlarının sonucunda hava kirletici emisyonlar doğaya salınmaktadır. Bayram ve diğ. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, 1980'lerde standartlarının altında hava kalitesine sahip kentlerde ortalama 1,3 milyar kişinin yaşadığı saptanırken, hava kirletici salınım oranlarındaki artışın bu hızla devam ettiği bir senaryoda, 2030 yılına gelindiğinde kirletici gaz oranında beş katlık bir artış beklenmektedir.

Salınımlar ile ortaya çıkan sera gazı etkisi ve bu etkinin sonucunda küresel ısınma ile gerçekleşen iklim değişikliği sadece çevreye verilen zararlarla sınırlı kalmayıp insan sağlığını da etkilemektedir (Kovat ve diğ, 1999). Geri dönülemez sonuçlara yol açmadan önce iklim değişikliği sürecini yavaşlatmaya hatta durdurmaya çalışan uzmanlar, önlemlerin alınması için çabalasalar da bu önlemlerin işe yaraması için herkesin ortak bir çaba içinde hareket etmesi gerekmektedir; ancak söz konusu kendi sağlıklarını korumak olsa bile, insanlar bu iklim krizinin yavaşlatılması konusunda yeterli düzeyde hassasiyeti göstermemektedirler.

Bu olumsuz etkileri en aza indirebilmek ve doğal çevreye karşı verilen zararları azaltabilmek adına bu konunun önemini yitirmemesi ve konu üzerine yapılan çalışmalarla oluşturulması hedeflenen farkındalık sürecinde ilerleme sağlanması gerekmektedir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Çevre kirliliğinin ve doğal kaynakların bilinçsiz tahribata uğratılmasının bir sonucu olarak günümüz dünyasında iklim sorunu geri dönüşü zor bir sürece girmiş ve uzmanlarca bu durum iklim krizi olarak nitelendirilmeye başlanmıştır. İnsanın doğada yer edinme çabası, bazı durumlarda doğal çevre ile yapay çevre arasındaki etkileşim, doğal çevrenin olumsuz etkilenmesine ve kendini yenileyebilme oranının yeterli gelmemesine yol açmıştır. Bu krizin en önemli etkenlerinden birinin insan faaliyetleri olduğu düşünüldüğünde, gerek ulaşım faaliyetlerinde gerekse üretim ve ısınma faaliyetlerinde doğaya yayılan salınımların etkin bir rol oynadığı söylenebilir.

Isınma, ulaşım ve hatta besin ihtiyacının karşılanması için gerekli işlemlerde bile, konu edilen ürünün ömrünü tamamladığı sürece kadar, kısaca insan ögesinin yer aldığı tüm faaliyetlerde, zararlı gaz salınımlarına çeşitli oranlarda yol açılmaktadır. Söz konusu zararlı gaz salınımlarının içerisinde ise en büyük oranı CO_2 miktarı kapladığı için bu çalışmada, doğaya salınan CO_2 miktarının önemli bir kısmına yol açan ulaşım sektöründe, belirli bir oranda durumu ortaya koymak amacıyla, İstanbul kenti içerisinde ev-iş yolculukları gerçekleştiren rastgele bir grubun neden olduğu CO_2 salınımları Tier metodu ile tahmin edilmiştir. CO_2 salınımları, aralarında Global Footprint Network (GFN) gibi büyük araştırma gruplarının olduğu birçok araştırmacı ve grubun kabul ettiği gibi karbon ayak izi değerlerini vermektedir. CO_2 salınımlarına bağlı olarak hesaplanan karbon ayak izi değerleri ile, ev-iş yolculuklarını geçekleştiren çalışanların tercih ettikleri ulaşım türleri ve sosyo-ekonomik durumları arasındaki ilişki çok terimli lojit model yardımıyla incelenmiş ve arasındaki ilişkilerin ortaya konulması adına kullanılan model yardımıyla çeşitli senaryolar belirlenmiştir. Bu senaryolar ile hangi koşullarda, karbon ayak izi düzeylerinin nasıl değiştiğine dair çıkarımlarda bulunularak, CO_2 salınımlarını azaltmaya yönelik yapılabilecek öneriler sıralanmıştır.

2. KARBON AYAK İZİ KAVRAMI

2.1 İklim Değişikliğinin İnsan Üzerindeki Etkisi

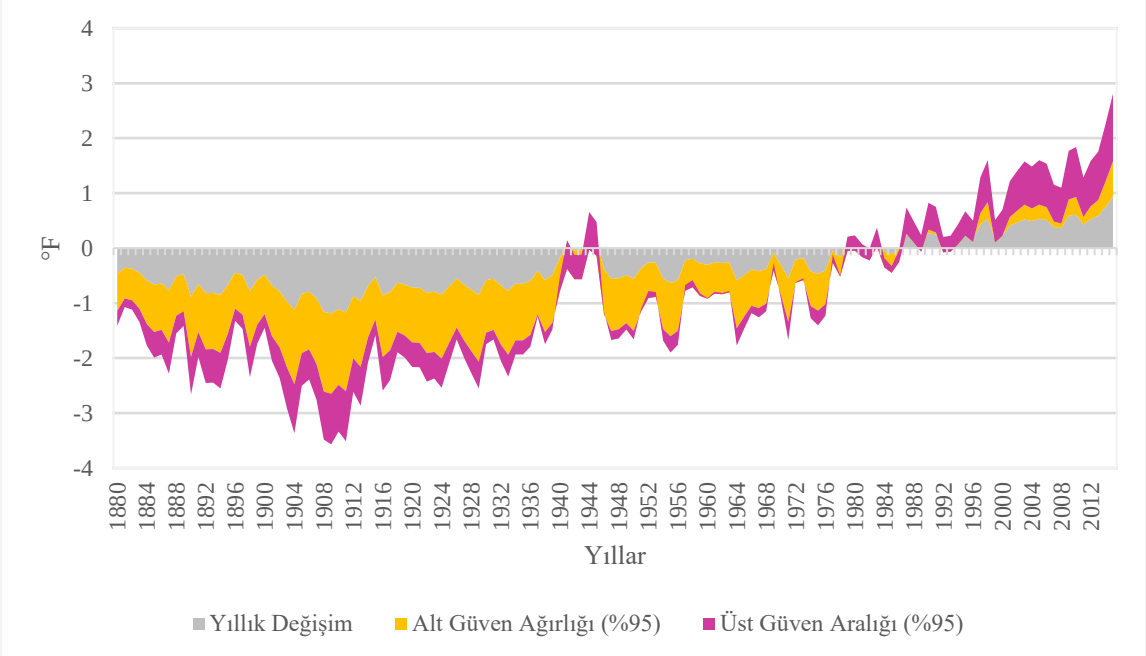
İklim sistemini oluşturan temel elemanların birbirleriyle olan etkileşimleri ağırlıklı olarak enerji değişimi ile gerçekleşmektedir (Öztürk, 2002). Bu enerji değişimleri güneş enerjisinin etkisine bağlı olarak atmosfer ve yerküre ilişkisinin devamlılığını sağlamaktadır. Güneşten gelen bu enerjinin bir kısmı yerkürenin ısıtılmasında kullanılarak, kalan kısmı da uzaya geri yansıtılarak yaşamının devamı için uygun sıcaklık ve şartların hazır hale gelmesine yardımcı olmaktadır. Yerkürede, güneş enerjisi ile elde edilen sıcaklığın uygun seviyede tutulabilmesinin nedenlerinden biri de atmosferde halihazırda bulunan sera gazlarıdır. Dünya, güneşe göre konumu ve atmosferdeki bu doğal sera etkisi nedeniyle, üzerindeki canlılar için yaşanabilir bir ortam sağlamaktadır. Gaz halinde havada bulunan su buharı, karbondioksit ve ozon gibi gazlar güneşten gelen enerjinin tutulması için gerekli olan sera etkisine katkıda bulunmaktadır (Kiehl ve Trenberth, 1997).

Güneşten gelen enerjinin yeterli miktarda tutulabilmesi için bahsedilen sera gazı etkisine ihtiyaç olduğu doğrudur, ancak bazı durumlarda atmosferde yer alan bu sera gazı oranlarının çeşitli nedenlerle değişmesi, yerküre üzerinde dengeli halde bulunan bu sistemin zarar görmesine neden olmaktadır ve başta iklim dengesizlikleri olmak üzere, hastalıklar, ölümler, doğal afetler gibi önlenmesi güç birçok probleme yol açmaktadır.

Sanayi devrimine kadar geçen sürede gerçekleşen iklim değişiklikleri doğal nedenlere bağlansa da sanayi devrimi ile, özellikle CO_2 olmak üzere tüm sera gazlarındaki birikme oranları 20. yüzyılda küresel sıcaklığın 0,8 °C artmasına neden olmuştur (Öztürk, 2002). Sadece bu bilgiye bakılarak bile insan faaliyetlerinden kaynaklı çevreye verilen zararlar görülebilir haldedir. Önlem alınmazsa, nüfustaki artış göz önüne alındığında durumun daha ciddi sonuçlara yol açacağı rahatlıkla söylenebilir. Nüfus artışında, yatırımlarda ve yatırımları izleyen gelecek tahminlerinde, kesin sonuçlar ortaya koymak oldukça zor olsa da doğal çevrenin korunması adına güçlü politikalar geliştirilip, izlenmezse ciddi sorunlarla karşılaşılacağı kaçınılmazdır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından yayınlanan

referans senaryolarında gigaton biriminde verilen karbon salınım değeri 2007 yılında 7 GtC'den (gigaton karbon) az iken, bu salınım değerinin 2100 yılına gelindiğinde yaklaşık 2,5 katlık bir artışla 22,5 ile 24,0 GtC arasında bir değere ulaşması beklenmektedir (EPA, 2009). IPCC (2007) tarafından yayınlanan çalışmada da bahsedilidiği gibi, bu değerleri karbon salınımından, karbondioksit salınımına çevirmek mümkündür. Buradan hareketle, GtC biriminde verilen bu değerlerin, gigaton karbondioksit salınım değerlerine dönüştürülmesi için 3,67 ile çarpıldığında, 2007 yılı için yaklaşık 25,69 $GtCO_2$ olan bu değer, 2100 yılındaki senaryo için yaklaşık 82,6'ya karşılık gelmektedir.

İnsan faaliyetleri, fosil yakıt kullanımıyla CO_2 oranını arttırarak ve doğrudan atmosferi ısıtarak; sanayi, ulaşım ve bilinçsiz tüketimin etkisiyle birçok türün yok olma seviyesine gelmesine ve doğanın kendini yenileme sınırını zorlanmasına neden olarak her geçen gün çevreye verilen zararları arttırmaktadır (Çınar ve Yılmazer, 2016). Bu faaliyetlere bakılarak, insan etkilerinin iklim değişikliği üzerinde baskın ve tespit edilebilir olduğu belirlenebilmektedir (IPCC, 2001). Bu durum Şekil 2.1'de görülebileceği gibi, yapılan çalışmalarla dünya üzerindeki deniz yüzeyi sıcaklığının her geçen yılda bir öncekine göre artış göstermesine neden olmaktadır (EPA, 2016).



Şekil 2.1 : Yıllara göre küresel ölçekte ortalama deniz yüzeyi sıcaklıkları. (NOAA, 2016).

Modern hayatın bir getirisi olarak artan nüfusun ve sonucunda insan faaliyetlerinin atmosferdeki sera gazı oranları üzerinde belirgin bir değişikliğe neden olduğu düşünüldüğünde, doğrudan veya dolaylı olarak atmosfer bileşimini oluşturan gaz oranlarını bozan insan faaliyetleri aslında hem doğaya hem de tekrar kendisine zarar vermektedir. Dünya Sağlık Örgütü, günümüzde gittikçe yaygınlaşan solunum yolu hastalıklarının nedenlerinden biri olarak da gördüğü iklim değişiklikliğine bağlı olarak, yılda 150.000'den fazla kişinin hayatını kaybettiğini iddia etmektedir (Patz ve diğ, 2005).

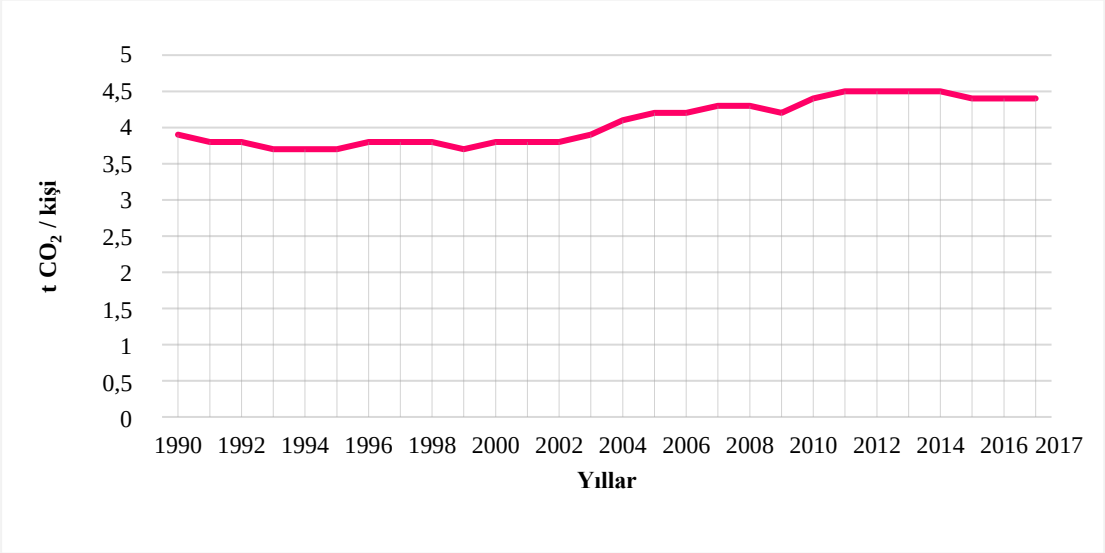
İklim krizi, küresel ısınma ve neden oldukları etkilere dikkat çekmek gibi amaçlar için kurulan ve çalışmalarından dolayı 2007 Nobel Barış Ödülü'ne layık görülen, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayınlanan 2010 yılına ait küresel ölçekteki salınım değerleri incelendiğinde, bu salınım değerlerinin %76'sını karbondioksit (CO_2), %16'sını metan (CH_4), %6'sını nitröz oksit (N_2O) ve %2'sini florlu gazlar oluşturmaktadır (IPCC, 2014). Atmosfere yayılan ve toplam sera gazı oranlarının içinde %76'lık paya sahip CO_2 miktarındaki iki temel gruptan biri olan fosil yakıt kullanımı %65'lik paya, ormanların tahribinden ve toprağın bozulmasından kaynaklı CO_2 miktarı ise %11'lik paya sahiptir (EPA, 2019). Durum incelendiğinde, insan faaliyetleri sonucunda, özellikle fosil yakıtların tüketilmesinden kaynaklanan, CO_2 salınımları atmosferdeki sera gazı etkisinin artmasına neden olan ana etmenlerden en önemlisidir.

2.2 CO_2 Salınım Değerlerinin Dünya ve Türkiye Ölçeğinde İncelenmesi

Çevre üzerinde insan etkisinin en net görüldüğü alanlardan biri, enerji elde etmek için yakıt tüketimi gerçekleştirilirken ortaya çıkan zararlı gaz salınımlarının, atmosfer üzerinde bıraktığı etkidir. Doğal çevrenin bozulmadığı bir anda, atmosferde bulunan ve yaşamın devamı için uygun seviyede yer alan sera gazları, güneşten gelen ısı enerjisini belirli bir oranda tutarak, dünya üzerindeki canlılığın devamlılığını sağlayan bu enerjiden yeterli seviyede yararlanılmasını sağlamaktadır. Ancak özellikle son zamanlarda kirlilik ve bilinçsiz tüketim nedeniyle artan zararlı gaz salınımları, bu sera etkisinin olması gerekenden fazla şekilde dünyayı etkilemesine ve küresel boyutta iklim değişikliklerine maruz kalınmasına yol açmaktadır. Bu sorunun bir getirisi olarak yerküre üzerindeki mevsim değişikliği, kuraklık, yangınlar ve kirliliğe bağlı hastalıklar yaygın bir hal almaya başlayarak, etkinin gözle görülür bir düzeye ulaşmasına yol açmıştır. Uzmanlar tarafından uyarılar yapılarak konuya dikkat

çekilmeye çalışılsa da, dünya üzerinde yaşayan her insanın yaşadığı çevreyi koruma konusunda aynı bilinç düzeyine gelmediği ve birlikte hareket etmediği sürece, bu durum önlenemeyen bir problem olarak hayatımızı etkilemeye devam edecektir.

İklim krizinin sonuçlarının gözle görülür bir hale gelmesine rağmen, bu sorunun ciddiye alınmadığı ve gereken önemin gösterilmediğine dair kanıtlardan biri dünya üzerindeki salınım değerlerinin her geçen yılda artışına devam etmesidir. 1950'lerden sonra CO_2 salınım miktarında ciddi artış gerçekleşmiştir (Our World in Data, 2019). Bunun nedeninin İkinci Dünya Savaşı'nın etkileriyle zarar gören ekonomilerini toparlamaya çalışan ülkeler olduğu yorumu yapılabilmektedir (Arı ve Zeren, 2011). Şekil 2.2'de de net bir şekilde görülebileceği gibi, 1990 yılında küresel ölçekte 3,9 ton olan kişi başına düşen CO_2 salınım miktarı, 2017 yılına gelindiğinde 4,4 tona ulaşarak ciddi bir artış göstermiştir.



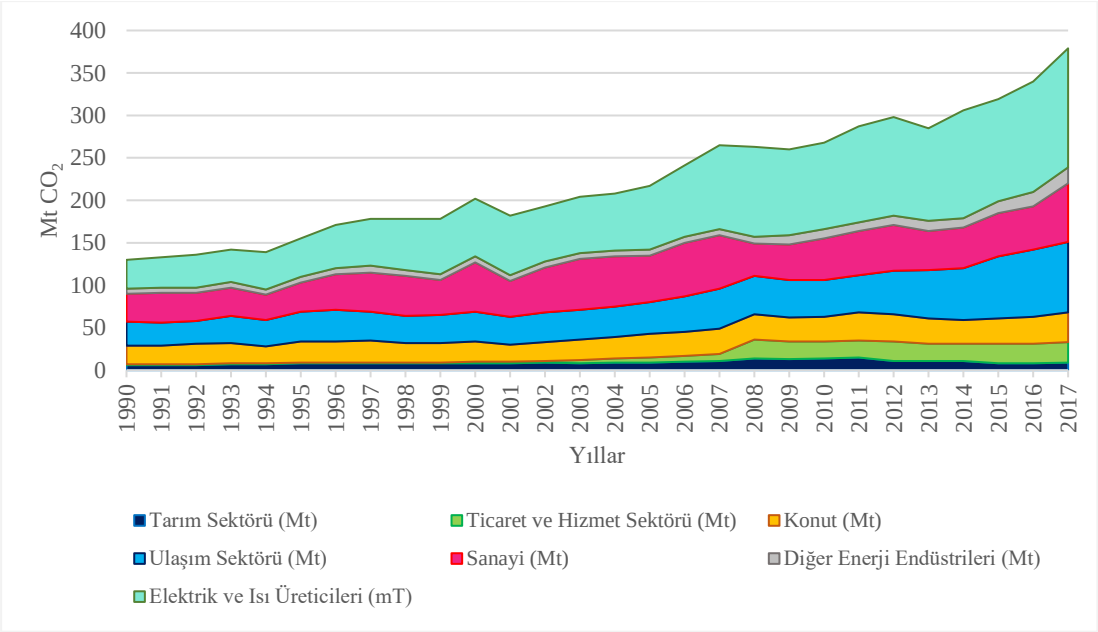
Şekil 2.2 : Küresel ölçekte kişi başına düşen CO_2 salınımları (IEA, 2020a).

Ülkelerdeki sanayi ve teknoloji yatırımlarının durumu, temiz enerji kaynaklarına ve doğaya gösterilen özen, nüfus, tarımsal faaliyetler, yeşil alanlara verilen zararlar gibi nedenlenlerden dolayı CO_2 salınımları ülkelere göre farklılık göstermektedir. 2017 yılına ait kişi başına düşen CO_2 salınımlarının gösterildiği dünya sıralamasındaki bazı ülkelere ait veriler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Kişi başına düşen CO_2 salınımlarına göre 2017 dünya sıralaması (Union of Concerned Scientist, 2019 revised 2008).

Ülkeler	Kişi Başına Düşen CO_2 Salınım Değeri (ton)
Suudi Arabistan	16,3
Avustralya	16,2
Amerika	15,0
Kanada	14,9
Güney Kore	11,6
Rusya	9,9
Japonya	9,0
Almanya	8,9
İran	7,1
Çin	6,4
İngiltere	5,6
İtalya	5,4
Fransa	4,5
Türkiye	4,2
Meksika	3,6

Çizelge 2.1'in açıkça ortaya koyduğu gibi, her ülkenin kendine ait farklı dinamikleri olduğu düşünüldüğünde, CO_2 salınım değerlerini azaltmak için ülkelerin kendi kültürlerine ve yaşayış biçimlerine özgü çevre politikaları geliştirmeleri daha verimli sonuçların alınmasında kolaylık sağlayacaktır. Kişi başına 4,2 ton CO_2 düşen Türkiye'deki CO_2 salınımları sektörel bazda detaylı incelendiğinde, Şekil 2.3'te görülebileceği gibi elektrik üretimi, ısınma faaliyetleri ve sanayileşmenin hemen arkasından ciddi denilebilecek bir oranla ulaşım sektöründen kaynaklanan CO_2 salınımları gelmektedir ve her geçen yıl bir öncekine göre artış gözlenen salınım oranlarında 2017 yılında 83 (milyon ton) Mt CO_2 değerine ulaşılmıştır.



Şekil 2.3 : Türkiye'de sektörlere göre CO_2 salınımları (IEA, 2020b).

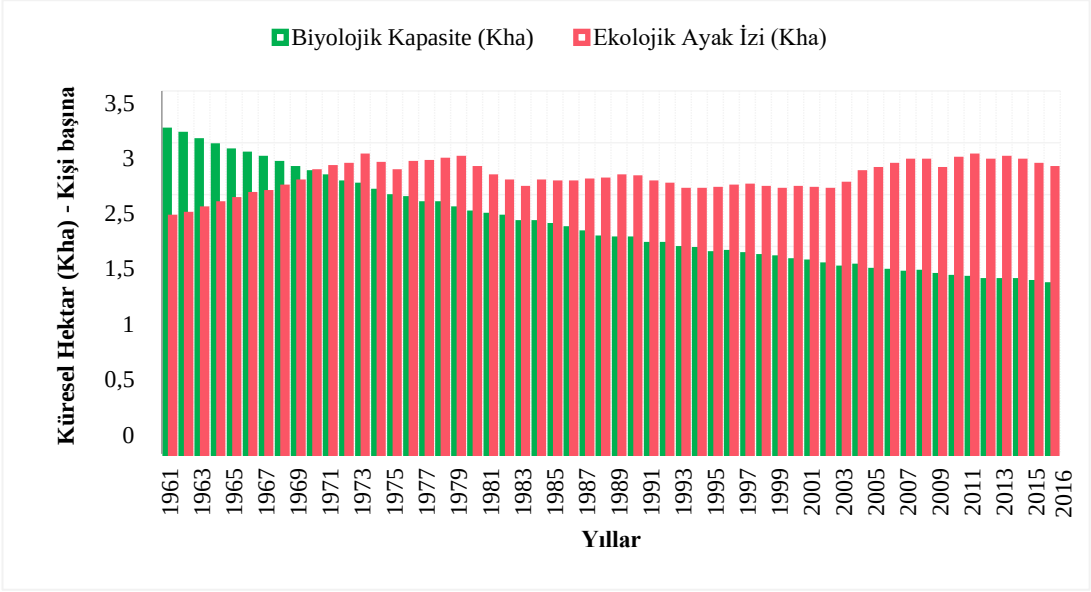
Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO_2 salınımlarının etkisi Şekil 2.3'te gösterildiği gibi olsa da salınım değerlerinin azaltılmasına ait çalışmalar yeterli gelmemiş ve Yalçın'ın (2013) çalışmasında yer alan Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 1990-2010 yılları arasında, özellikle karayolu ulaşımından kaynaklanan CO_2 salınım değerlerinde %115'lik bir artış meydana gelmiştir. Ulaşım faaliyetlerinin sadece ev-iş yolculuklarıyla sınırlı kalmayıp hayatın her alanında karşımıza çıkmasından dolayı geniş bir yer tuttuğu düşünüldüğünde, bu konuya yeterli önemin verilmesinin gerekliliği daha net bir şekilde anlaşılacaktır.

2.3 Karbon Ayak İzi

1990'lı yılların sonunda tanımlanan ve insan faaliyetlerinin ortaya çıkardığı zararlı maddeleri karşılayabilmek adına biyolojik açıdan üretken alan şeklinde yorumlanabilen ekolojik ayak izi, alt sınıflar şeklinde sürdürülebilirliği ölçen bir sistemdir (Özsoy, 2015). Belirli bir alanda yenilenebilir olan doğal kaynakların üretilme kapasitesi ise o bölgedeki biyolojik kapasite olarak tanımlanır (WWF ve Global Footprint Network, 2012). Burada bahsedilen sürdürülebilirlik kavramı, Brundtland Raporu'nda (1987) da ifade edildiği gibi, en temel anlamıyla doğal kaynakların bugünün ihtiyaçları çerçevesinde kullanılırken, gelecek nesillerin de ihtiyaçları gözetilerek, onların bu haktan mahrum bırakılmaması olarak

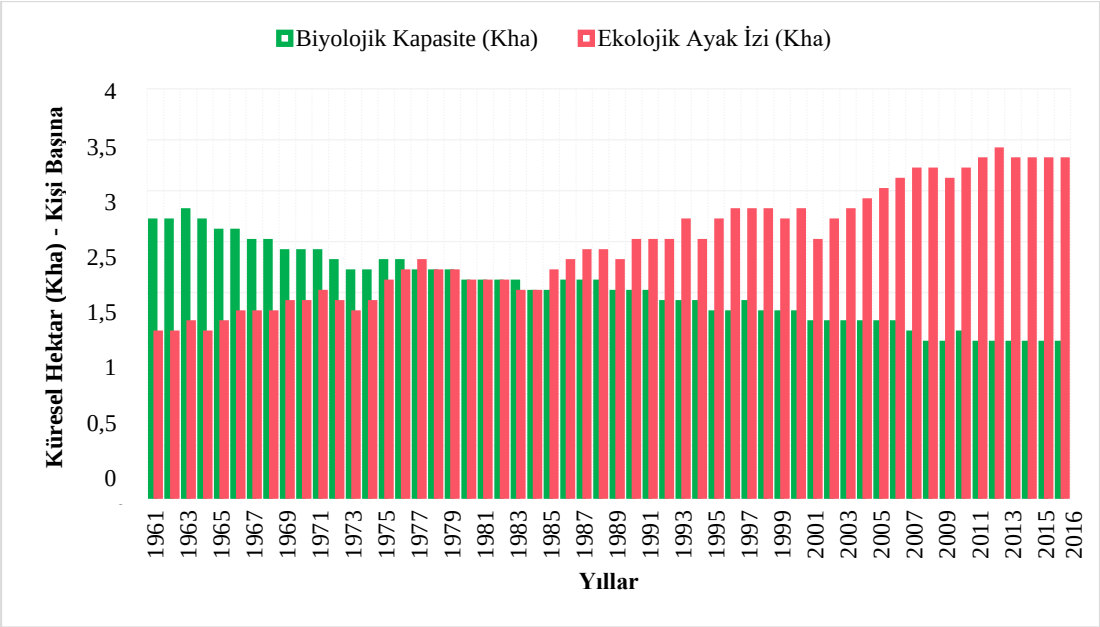
tanımlanabilmektedir. Aynı zamanda "Our Common Future" ismi ile geçen bu rapor kapsamında, karar süreçleri değerlendirilirken, çevrenin göz önüne alınması ve temel ihtiyaçların karşılanabilir olması gibi sürdürülebilir kalkınma hedefleri de yer almaktadır (Brundtland, 1987).

Ekolojik ayak izinin (EAİ) insan faaliyetleri sonucunda çevreye verilen zararın giderilebilmesi için gerekli olan alanların ölçüsü, biyolojik kapasitenin de doğal kaynakların üretilebilme kapasitesi olduğu düşünüldüğünde, sürdürülebilir bir çevre düzeni için, ekolojik ayak izi ile biyolojik kapasite ilişkisinin izlenmesi gerekmektedir (WWF ve Global Footprint Network, 2012); ancak ne yazık ki dünya ölçeğinde bakıldığında, Şekil 2.4'te de görülebileceği gibi, 1961 yılında 2,28 Kha (küresel hektar) olan kişi başına düşen ekolojik ayak izi 2016'da 2,75 Kha'ya ulaşmıştır. Biyolojik kapasite ise yaklaşık 3,12 Kha'dan 1,63 Kha'ya gerileyerek, biyolojik kapasite ile ekolojik ayak izi arasındaki farkın 2016 yılında (ekolojik ayak izi yönünde) 1,12 Kha'ya ulaşmasına neden olmuştur.



Şekil 2.4 : Küresel ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite eğilimleri (Global Footprint Network, 2019a).

EAİ açısından Türkiye'deki duruma bakıldığında ise, Şekil 2.5'te görülebileceği gibi, EAİ'nin biyolojik kapasiteyi aştığı 1970'li yıllardan 2016 yılına gelindiğinde aradaki fark 1,92 Kha olmuştur. 1970'li yılların sonundan 1980'lerin ortalarına kadar Türkiye'deki durum, Dünya'daki durumdan farklı olarak biyolojik kapasite sınırında ilerlese de 1980'lerin sonlarına doğru bu sınır aşılmış ve aradaki fark Şekil 2.5'te gösterildiği gibi dünya ortalamasının üzerine çıkmıştır.

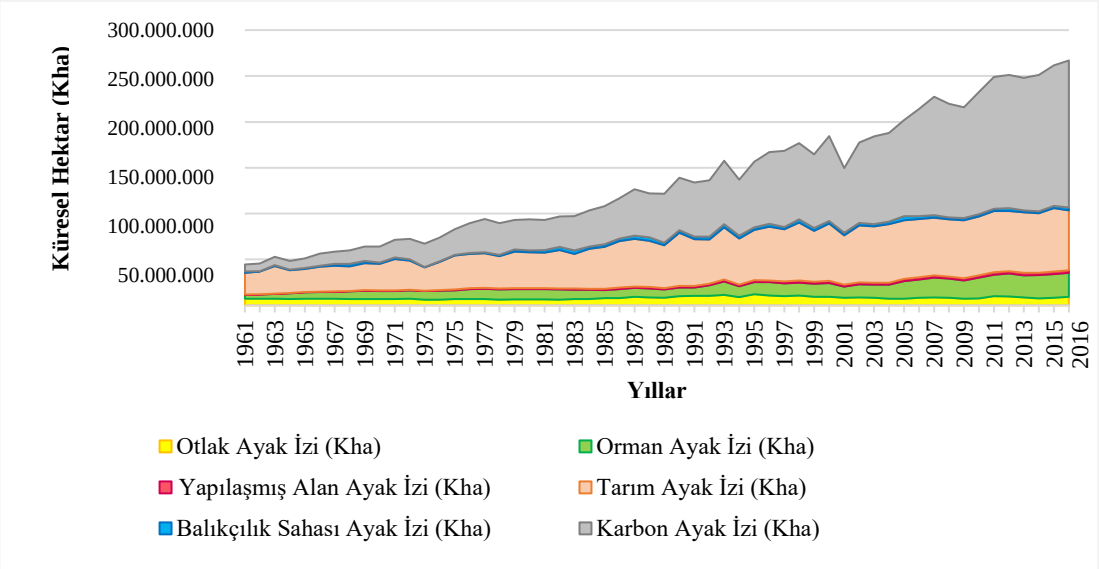


Şekil 2.5 : Türkiye'nin toplam ekolojik ayak izi ve biyolojik kapasite (Global Footprint Network, 2019b).

EAİ temelde 6 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar karbon tutma ayak izi (karbon ayak izi), tarım arazisi ayak izi, orman ayak izi, otlak ayak izi, yapılaşmış alan ayak izi ve balıkçılık sahası ayak izidir. EAİ'yi oluşturan bu bileşenler hakkında kısaca bilgi vermek gerekirse; tarım arazisi ayak izi (TAAİ), insanlara gıda üretimi için gereken tarım alanları; orman ayak izi (ORAİ), insanların tükettiği ağaç ve türevlerinin üretilmesi için gerekli alanları; otlak ayak izi (OTAİ), hayvansal ürünlerin elde edilmesi için gerekli otlatma alanları; yapılaşmış alan ayak izi (YAAİ), insanların ihtiyaçlarının karşılanması için alt yapı ve üst yapıyla kaplı alanları; balıkçılık sahası ayak izi (BSAİ), tüketilen deniz ürünlerinin yaşaması için gereken su alanları ve karbon ayak izi (KAİ) ise, fosil yakıt tüketimi, arazi kullanımı ve kimyasal süreçlerden kaynaklanan salınımların tutulabilmesi için gerekli alanları ifade etmektedir (Özsoy, 2015).

Türkiye geneline bakıldığında EAİ bileşenlerinden KAİ %46'lık bir oranla en büyük paya sahip bileşen olurken geri kalan bileşenler sırayla %35'lik payla TAAİ, %11'lik payla ORAİ, %3'lük payla OTAİ, %3'lük payla YAAİ ve %2'lik payla BSAİ olmuştur (WWF ve Global Footprint Network, 2012). Şekil 2.6'da görülebileceği gibi 1960'lı yıllardan itibaren artışına devam eden KAİ, 1980'li yıllardan sonra toplam biyolojik kapasiteyi aşmıştır (Global Footprint Network, 2019c). Wiedmann ve Minx (2008) tarafından insan faaliyetlerinin etkisi sonucunda doğrudan veya dolaylı olarak

etkilenen, atmosfere salınan CO_2 ölçüsü olarak tanımlanan KAİ, Global Footprint Network (2019c) verilerine göre Türkiye için 2016 yılında diğer EAİ bileşenlerine göre toplam biyolojik kapasitenin yaklaşık 45 milyon Kha üstüne çıkmıştır.



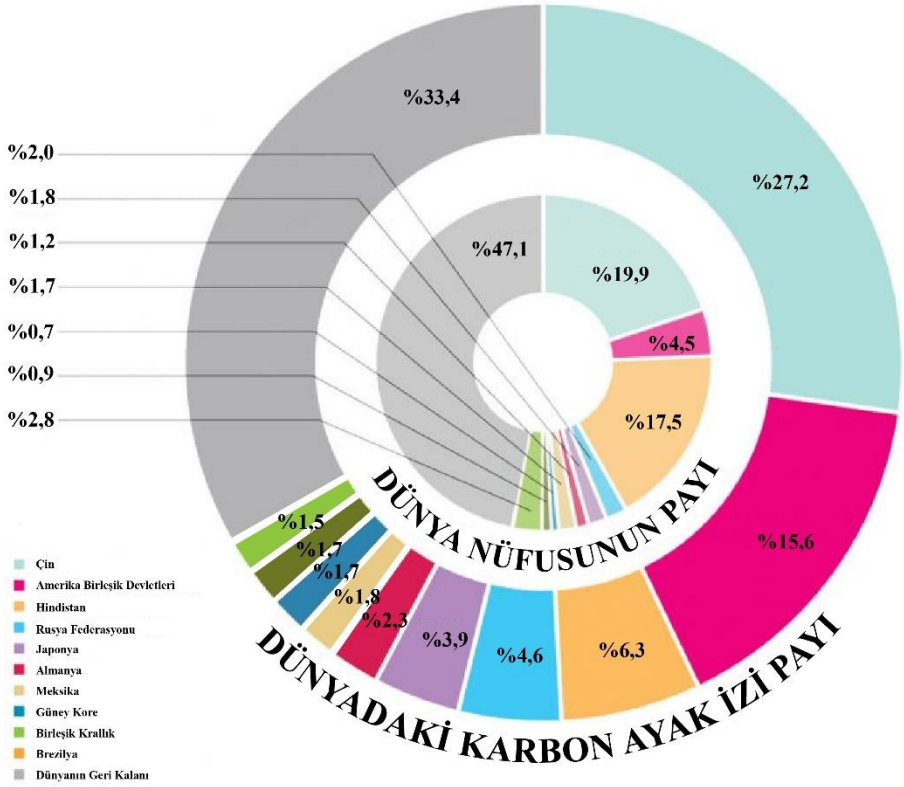
Şekil 2.6 : Türkiye'de toplam ekolojik ayak izi bileşenlerinin yıllar içindeki seyri (Global Footprint Network, 2019c).

KAİ, Global Footprint Network (2019 updated 2017) dokümanlarına göre dünyadaki ekolojik ayak izinin %60'ını oluşturmaktadır. Salınımının gerçekleşmesinde fosil yakıtların kullanılmasının başlıca etmen olduğu KAİ ölçüsü insan faaliyetlerinden dolayı ortaya çıkan CO_2 salınımlarını tutmak için gereken ormanlık alanın ölçüsü olarak tanımlanabilir (Global Footprint Network, 2019 updated 2017). Şekil 2.6'ya göre, Türkiye'de 1961 yılından bu yana ciddi bir artış gösteren KAİ oranını azaltmak, EAİ içerisindeki oranı düşünüldüğünde, yaşamın devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. EAİ'de olduğu gibi KAİ de küresel hektar (kha) olarak ifade edilebilir; ancak genellikle ton cinsinden tanımlanır.

Wiedmann ve Minx (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da bahsedildiği gibi, karbon ayak izi terimini Kha birimiyle ifade eden kaynakların yanı sıra Chowdhury (2010), Peng ve diğ. (2012) ve Global Footprint Network (2007) gibi atmosfere yayılan CO_2 salınımlarının miktarı olarak da ifade eden kaynakların sayısı oldukça fazladır. Bu ifade biçimlerinin yanı sıra Wiedmann ve Minx'in (2008) hazırladığı aynı yayında CO_2 dışındaki sera gazı salınımlarını da birim CO_2 cinsinden hesaba katan çalışmalardan söz edilmektedir. Ancak yayının sonuç bölümünde de bahsedildiği gibi, sera gazı salınımlarının tamamının CO_2 cinsinden ifadesi karbon ayak izi tanımını aşıp

iklim ayak izi olarak nitelendirilebilecek bir kavrama yakınlaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı bu çalışma kapsamında karbon ayak izi değerlendiriliken yakıt tüketiminden kaynaklanan CO_2 salınım değerleri dikkate alınmıştır.

KAİ'nin insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan CO_2 salınımlarının bir ölçüsü olduğu düşünüldüğünde, nüfusu fazla olan ülkelerin, daha yüksek CO_2 salınımına yol açacağı düşüncesi akla gelebilir. Şekil 2.7'de Global Footprint Network tarafından yayınlanan nüfus ile karbon ayak izleri arasındaki ilişkiyi gösteren bu grafik salınımlar ile nüfus arasında doğru bir orantı olduğu fikrinin her zaman geçerli olmadığının kanıtıdır. Bu durum aynı zamanda göstermektedir ki, nüfustaki yoğunluk karbon ayak izini düşürmekte bir engel teşkil etmemektedir. Örneğin şekil 2.7'de de görülebileceği gibi, dünya nüfusu ile karşılaştırıldığında nüfus payı %17,5 olan Hindistan, %6,3'lük KAİ payına sahipken, dünya nüfusundaki payı %4,5 olan Amerika Birleşik Devletleri, %15,6'lık KAİ payına sahiptir.



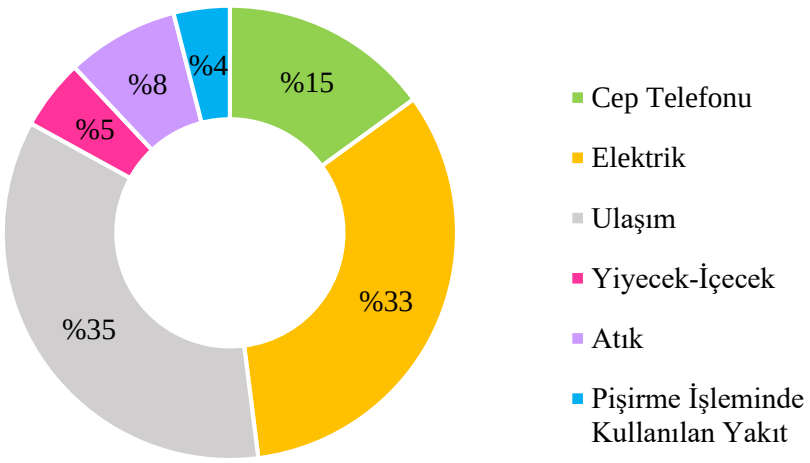
Şekil 2.7 : Ülkelerin nüfus ve karbon ayak izi payları (Global Footprint Network, t.y.).

Türkiye'deki durum incelendiğinde ise iklim değişikliğine etki eden ulaştırma sektörü bazlı sera gazı salınım miktarı, enerji sektörü içerisinde %22,2'lik, toplam ulusal

salınımlarda ise %15'lik bir yer tutmaktadır (Algedik ve diğ, 2016). Bıyık ve Civelekoğlu (2018) çalışmalarında, TÜİK verilerine göre ulaşım sektörünün 2015 yılında 75,8 Mt CO_2'lik karbon ayak izine ulaştığını söylemektedirler.

Karbon ayak izi, birincil karbon ayak izi ve ikincil karbon ayak izi olarak iki kategoride incelenmektedir. Tanımları genişletmek gerekirse, ulaştırma faaliyetlerinden ve evsel enerji tüketimlerinden dolayı ortaya çıkan CO_2'nin ölçüsü birincil karbon ayak izi, kullanılan ürünlerin üretilmesinden tüketilmesine ya da bozulmasına kadar geçen tüm süre boyunca ortaya çıkan CO_2'nin ölçüsü ise ikincil karbon ayak izidir.

Birincil Karbon Ayak İzi kategorilerinden biri olan ve bu çalışmanın kapsamı içerisinde yer alan ulaşım kaynaklı karbon ayak izi özel olarak dikkat edilmesi gereken alanlardan bir tanesidir (Loyarte-Lopez ve diğ, 2020). Bu önemi ortaya koymak için bir kişinin karbon ayak izi döngüsünü gösteren Şekil 2.8, Bhoyar ve diğ, (2014) tarafından ortaya konulan çalışmadan alınmıştır. Bu şekilden de görülebileceği gibi, bir kişinin ulaşım ihtiyacının karşılanması sırasında neden olduğu karbon ayak izi yılda ortalama %35'lik bir payla en üst sırada yer almaktadır. Kentsel alanlarda bir kişinin neden olduğu karbon ayak izinin %35'lik birimini kaplaması ve basit yollarla salınımda düşüş elde edilme olasılığı olması gibi nedenlerden dolayı da ulaşım sektöründeki CO_2 salınımları önem verilmesi gereken bir konu olmuştur. Günlük basit rutinlerin değiştirilmesi ve bu değişimlerin devlet politikaları ile desteklenmesi ile bu salınımlardaki düşüşte ciddi bir oran elde edilmesini sağlayabilir.



Şekil 2.8 : Bir Kişinin Tipik Karbon Ayak İzi Dökümü (Bhoyar ve diğ, 2014).

Toplu taşımanın karbon ayak izi açısından önemi, U.S. Department of Transportation – Federal Transit Administration (2010) tarafından yayınlanan çalışmada olduğu gibi, CO_2 salınımlarının yolcu-mil (passenger-mile) biriminde incelenerek bireysel bazdaki sonuçların ortaya konulması ile de mümkün olabilmektedir. Aynı çalışmada yer alan özel otomobille yapılan iş yolculukları 1 milde kişi başına 0,59 lb (0,27 kg) CO_2'e neden olurken, hafif raylı sistem ortalama bir doluluğa sahipken bile kişi başına 0,36 lb (0,16 kg) CO_2'ye, otobüsler ise yine ortalama bir doluluk ile kişi başına 0,64 lb (0,29 kg) CO_2'e neden olmaktadır. Hafif raylı sistem ve otobüslerin tam kapasite çalıştığı bir durumda ise salınımlar sırasıyla kişi başına 0,18 lb (0,081 kg) ve 0,14 lb (0,063 kg) CO_2'e düşmektedir. Buradan yola çıkılarak toplu taşıma kullanımının ulaştırmadan kaynaklı karbon ayak izini yani CO_2 salınımlarını düşürmede etkili bir rol oynayacağı çıkarımı yapılabilmektedir (U.S. Department of Transportation – Federal Transit Administration, 2010).

Karbon ayak izinin elde edilmesi için kullanılan salınım değerleri için önceden de bahsedildiği gibi karbon, karbondioksit ve karbondioksit eşleniği gibi kavram farklarının henüz netleşmemiş durumda oluşu, Bhandari ve diğ.'nin (2014) çalışmasında da bahsedilmiştir. Hazırladıkları çalışmalarında salınım tahminleri için CO_2 değerleri üzerinden ilerlemeyi seçmişlerdir. Farklı ulaşım türlerin kombinasyonu için doğrudan CO_2 salınımlarını tahmin ederek gerçekleştirdikleri çalışmalarında, otobüs ve metro için yapılan taşımaları karışılaştırmışlar, sonuçlarını g/yolcu-km (g/passenger-km) biriminde sunmuşlardır.

Manzoni ve diğ. (2010) tarafından yayınlanan teknik raporda çok sayıda insanın bireysel karbon ayak izinin hesaplanmasına olanak tanıyacak olması nedeniyle akıllı telofonların kullanılmasına değinilmiştir. Ayrıca, karbon ayak izinin karşılığı olarak CO_2 salınım değerlerinin gerçek zamanlı hesaplanması adına, tercih edilen ulaşım aracı ve yol uzunluğu bilgileri gibi bilgiler kullanılarak yapılan hesaplamalar, uygulama programları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Tüm bu bilgiler doğrultusunda çevreye verilen zararların etkisinin gösterilebilmesi, gerekli önlemlerin alınması ve konunun tekrar gündeme gelebilmesi adına, ev-iş yolculukları dikkate alınarak hazırlanan bu çalışmada, karbon ayak izinin fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan CO_2 salınımlarının ölçüsü olduğu kabulü ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

3. YÖNTEM

3.1 IPCC Hakkında

Birleşmiş Milletlerin bir alt kolu olarak 1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından, iklim değişikliği hakkında mevcut bilimsel çalışmaların değerlendirilmesi ve konunun önemi ile olası sonuçların ortaya konması adına IPCC kurulmuştur (Url-1).

Kurulduğu günden itibaren, UNEP ve WMO gibi üyelerin yanı sıra Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 195 ülkenin üyesi olduğu IPCC, her düzeydeki hükümetlere iklim politikalarını geliştirebilecekleri bilimsel destek sağlamaktadır. UNEP temel olarak, tüm dünyadan binlerce bilim insanı ve uzmanlar yardımıyla farklı alanlarda yazılmış makaleleri açık ve şeffaf bir şekilde inceleyerek, nesnel ve eksiksiz bir değerlendirme sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca bu amaç doğrultusunda IPCC, kendi araştırmalarını yapmanın yanında, farklı alanlardaki bilimsel araştırmaları inceleyip, bir araya getirerek, daha fazla incelemeye ihtiyaç duyulan noktaları belirlemeyi hedeflemektedir.

IPCC tarafından bazı dönemlerde iklim değişikliği ve etkilerine yönelik değerlendirme raporları yayınlanmaktadır. Bunlardan ilki 1990 yılında, İlk Değerlendirme Raporu (FAR) adıyla, küresel çapta meydana gelen zararların önlenebilmesi ve konunun uluslararası düzeye taşınması amacıyla yayınlanmıştır. 1995 yılında ise Kyoto Protokolü'nün benimsenmesinde önemli rol oynayacak ve ülkeleri uluslararası düzeyde işbirliğine davet edecek olan İkinci Değerlendirme Raporu (SAR) yayınlanmıştır. Üçüncü Değerlendirme Raporu (TAR) ise, iklim değişikliğinin neden olduğu sonuçlarla başa çıkmada kilit bir antlaşma olarak kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) oluşturulmasında belirleyici rol oynamıştır (Url-2). Doğal çevrenin korunmasındaki ve ekonomik gelişmelerin karşındaki en büyük engelin iklim değişikliği olduğu kabul edilen bu sözleşmede, üye ülkelerin envanterlerini düzenli olarak toplaması, yenilemesi ve yayınlamasının gerekliliği vurgulanmıştır. Sözleşmenin temel amaçlarından biri, iklim değişikliğinde etkili olan insan faktörünün zararlarını en aza indirmektir. Daha sonra 2007 ve 2013-2014 yıllarında sırasıyla Dördüncü Değerlendirme Raporu (AR4) ve

Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5) yayınlanmıştır. IPCC, iklim değişikliğine dikkat çekmede başarılı bir rol üstlendiği, küresel ısınma ve iklim krizi konularına etki eden insan faktörünü vurguladığı ve bu konunun dünya gündeminde gereken önemi alması konusunda yaptığı çalışmalardan dolayı 2007 Nobel Barış Ödülü'ne layık görülmüştür (Url-1).

Bugüne kadar yapılan çalışmalar, her bir ülkenin, ulaştırma, atık ve sanayi süreçleri gibi alt kategorilerde, kendilerine ait bir envanter oluşturmasını ve toplam salınım miktarlarını hesaplamaları hedeflenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda, ülkelerin ulusal envanterlerini hazırlarlarken referans olarak kullanabilmeleri adına 1996, 2006 ve 2019 yıllarında Ulusal Sera Gazı Envanterleri (National Greenhouse Gas Inventories) yayınlamıştır ve envanteri kullanarak oluşturabilecekleri veri setleri için ülkelere atmosfere yaydıkları salınım değerlerinin tahmin edildiği zaman dizisini bozmamaları tavsiye edilmiştir.

IPCC, aynı zamanda katılımcı ülkelerin kendi envanterlerine sahip olmadıkları durumlarda, kullanabilmeleri ve salınım tahminleri yapabilmeleri adına Emisyon Faktörü Veritabanı hizmeti sunmaktadır. Bu veritabanı, salınım tahminleri için kullanılan emisyon faktörleri ve ulusal düzeyde sera gazı salınımlarının hesaplanması ile ilgili parametrelerin belirlenebilmesi için sürekli olarak güncellenen elektronik tabanlı bir bilgi kaynağı olarak hizmet vermektedir (Url-3).

3.2 CO_2 Salınım Hesapları (IPCC Metodolojisi – Tier Yöntemleri)

Sera gazı salınım değerlerini tahmin edebilmek adına bir kaynak niteliğinde hazırlanan, IPCC 2006'nın ana taslağı üzerinde yapılan iyileştirmeleri içeren IPCC 2019 Kılavuzu, genel bakış bölümü ve beş ciltten oluşmaktadır. Birinci cilt, genel rehberlik ve raporlama yöntemleri; ikinci cilt, enerji; üçüncü cilt, endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı; dördüncü cilt, tarım, orman ve diğer arazi kullanımları ve beşinci cilt, atıklar hakkında bilgiler içermektedir. Bu çalışma kapsamında yapılacak olan CO_2 salınım tahminleri, ulaşım sektöründen kaynaklanan CO_2 salınımlarını hesaplamayı hedeflediği için, ikinci ciltte yer alan yönlendirilmelere uyulmuştur. IPCC Kılavuzu altında karayolu taşımacılığına ek olarak denizyolu, demiryolu ve havayolu taşımacılığında yer alan taşıtların salınım hesaplamalarının yapılabilmesi için yol gösterici bilgiler yer almaktadır. 2019 Kılavuzu, genel olarak IPCC 2006 Ulusal Sera Gazı envanterini desteklemeye ve sürekli güncel kalmasına yönelik çalışmaları

içermektedir (IPCC, 2019). Bu bakımdan bu çalışma kapsamında da alınan bilgilerin çoğu IPCC 2006 Kılavuzuna aittir.

Kılavuzda salınım tahminleri için önerilen yaklaşım olan Tier metodu üç seviyeye ayrılmış halde bulunmaktadır. Bunlardan en temel olanı Tier 1, Tier 1'e göre orta seviye (daha ayrıntılı) bir veri sistemine ihtiyaç duyan Tier 2 ve Tier 2'ye göre daha detaylı, karmaşık bir veri sistemine ihtiyaç duyan Tier 3'tür. Tier 2 ve 3, yeterli verilerin sağlanabilmesi durumunda gerçeğe daha yakın sonuçlar verebilirken, yüksek hassasiyet gerektiren yöntemlerdir. Özetle, elde edilebilen verilerin detaylandırılabilmesi ile ilişkilendiren Tier yöntemleri sırasıyla Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 olarak genişletilebilmekte ve bu daha hassas sonuçların alınmasını sağlamaktadır. Konuyla ilgili olarak Pandey ve Venkataraman (2014) tarafından ortaya konulan araştırmada, karayolu araçlarının partikül madde salınımları hesaplanırken, araç yaşı, motor performasındaki azalma ve araçtaki değişikliklerin düzeltilmesi, verimlilik gibi ayrıntılı etmenler dikkate alınarak hesaplandığı için Tier 3 yöntemine uygun olarak hesaplanmıştır.

Tier 2 yönteminin Tier 1 yöntemine göre; salınım tahmini yapılacak sera gazlarının ülkelere özel gerçek tüketim verilerine dayanmasından dolayı daha güvenilir ve doğru bir sonuç vermesi beklenmektedir. Ancak IPCC kılavuzundaki Tier 1 yöntemi için CO_2 salınım değer tahminleri oldukça başarılı sonuçlar verdiğinden Tier 2 ile Tier 1 yaklaşımından elde edilen sonuçlar genel olarak aynı kabul edilebilir. Öte yandan, karayolu taşımacılığında tüketilen yakıtın ülkeye özgü karbon içeriklerine ait verilere ulaşılma olanağı varsa uygulanacak yöntemin seçilmesinde Tier 2'nin değerlendirilmesi daha uygundur. Burada seçim yapılırken gözden geçirilmesi uygun olacak bir nokta Tier 3'te, CO_2 salınımı hesaplanırken, uzunluk ve salınım ilişkisinin aracın yaşı, çalışma karakteristikleri ve taşınan yük değerleri (ton-km) gibi etmenlere göre dikkate alınması gerektiğidir (IPCC, 2006a; Pekin, 2006).

Tongwane ve diğ. (2015) tarafından yayınlanan çalışmada IPCC tarafından önerilen Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri kullanılarak Güney Afrika Cumhuriyeti ve Lesotho'da 2000 – 2009 yılları arasında karayolu taşımacılığından kaynaklanan sera gazı salınımları Mt CO_2 eşdeğeri olarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, Tier 1 ile Tier 2 yöntemleri kullanılarak elde edilen salınım değerleri arasında yaklaşık %5'lik bir fark görülmekte ve Tier 2 yöntemi daha düşük seviyede salınım sonuçları

vermektedir. Bu da göstermektedir ki, IPCC tarafından dönüşüm faktörleri kullanılarak hazırlanan ve Tier 1 yöntemi ile elde edilen CO_2 salınım sonuçları, Tier 2 yöntemine göre daha az veri kullanımı içerse de kabul edilebilir değerler sunmaktadır.

Tier yöntemlerinde hesaplanan değerlerin gerçeğe yakın olabilmesi adına, salınım tahminleri için yakıtın hangi teknolojiyi kullanarak yanmayı gerçekleştirdiği, salınım değeri tahmin edilecek olan aracın yaşı ve yakıtın kullanılmasını arttıracak ya da azaltacak hangi koşullarda yolculuk yapıldığı gibi ek bilgilerin hesaba katılması mümkündür. Ancak bu tür detaylı toplanmış bir veri setine sahip olunmaması durumunda kullanılmak üzere, özellikle CO_2 salınım hesapları için, IPCC Kılavuzu'ndaki veriler ve yöntemler oldukça iyi düzenlenmiştir (IPCC, 1997 revised 1996).

Yakıt tüketim verilerinin kullanılması ile ilişkili olan Tier yöntemleri için, CO_2 salınımına yol açan yakıtlar denildiğinde, doğada yer aldıkları şekilleriyle kullanılabilen birincil yakıtlar ve belirli işlemler altında birincil yakıtların ham madde olarak kullanılmasıyla elde edilen ikincil yakıtlar olmak üzere iki temel konu akla gelmektedir (Pekin, 2006). Pekin'in (2006) çalışmasında da bahsedildiği gibi işlem adımlarını iki kere tekrarlamış olmamak adına, hesaplarda kaynaktan çıktığı ilk hali olarak nitelendirilebilecek olan birincil yakıtların işlenmesi sonucunda, dönüşümden elde edilen ikincil yakıtların kullanılmaması daha doğru kabul edilmektedir.

Krstanoski (2006), çalışmasında iklim değişikliği sorununun önemini ve bu sorunun hafifletilmesi için gereken sera gazı salınımlarını azaltma, doğal çevreyi koruma gibi adımların gerekliliğini 1997 yılında imzaladığı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile kabul eden ve 1998 yılında sözleşmeye taraf olan Makedonya için CO_2 salınımlarını tahmin eden bir model tanımlarken, karayolu taşımacılığından kaynaklanan salınımlar için IPCC – Tier 1 yöntemini uygulamıştır. Elde ettiği salınım tahminleri aracılığıyla ülke adına kullanılabilecek politikaları belirlemiş ve ülkede iklim değişikliği sorununa çözüm üretilmesi konusunda ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO_2 salınımlarını azaltıcı önerilerde bulunmuştur.

Singh ve diğ, (2007) tarafından yayınlanan makalede Hindistan içerisinde en büyük yakıt tüketimine sahip alanlardan biri olan karayolu taşımacılığından kaynaklanan CO_2 salınımlarının yıllar içerisindeki değişimini göstermek için Tier 1 yöntemini kullanmış

ve CO_2 salınımlarını hesaplayarak atmosfere yayılan salınımlardaki artışa dikkat çekmiştir.

İstanbul kenti içerisinde gerçekleştirilen ev-iş yolculuklarında neden olunan CO_2 salınımları, bu çalışma kapsamında gerekli veri temininin elde edilememesi nedeniyle Tier 1 yöntemi kullanılarak hesaplansa da, önceki çalışmaların gösterdiği gibi salınım sonuçlarının gerçeğe oldukça yakın değerler vereceği beklenmektedir. Hesaplama yönteminin detaylarına Bölüm 3.3'te değinilmektedir.

3.3 CO_2 Salınım Hesabı – Tier 1 Yöntemi

IPCC tarafından hazırlanılan ve güncel kalması için çalışmaların devam ettiği Emisyon Faktörü Veri Tabanı (EFDB) içerisinde, yakıtların net kalori değerlerinin bulunabileceği bir sistem oluşturulmuştur. Veri tabanı, araştırılan zararlı maddenin tüketilmesinden dolayı salınıma yol açan yakıtı ve verilerin yayınlandığı IPCC Kılavuzlarını gösteren detaylı tablolardan oluşmaktadır. Bu bölümde gösterilen çizelgeler EFDB'nin sitesi ve ilgili IPCC Kılavuzları kontrol edilerek, en güncel değerlerin seçilmesi ile hazırlanmıştır.

CO_2 salınım değerleri hesaplanırken dikkate alınması gereken birim çevirmelerin, her bir sera gazına ait emisyon faktörlerinin ve yakıtların tüketilmesi ile ortaya çıkacak net kalorifik değerlerin açıklayıcı tablolarla detaylı bir şekilde anlatıldığı IPCC kılavuzunun Tier 1 yöntemi ile salınım hesabının ilk adımında, yakıt tüketimlerinin belirlenmesi gerekmektedir (IPCC, 2006a). Çalışma kapsamında ev-iş yolculuklarında kullanılan araçların yakıt tüketim verileri Bölüm 4.3'te açıklanmıştır.

IPCC Kılavuzu'nda tanımlanan bir sonraki aşamada, emisyon faktörleri ile birlikte işleme katılacak olan her bir yakıt tüketim verisine dair enerji içeriklerinin saptanması gerekmektedir. Yakıt tüketimlerinin enerji içerikleri bulunurken dikkat edilmesi gereken nokta, hesaba katılan yakıt tüketimlerinin çarpılarak elde edileceği net kalori değerleri ile birim uyumunun olmasıdır. Yani bu noktada elde edilen yakıt tüketim verilerinin kt (kiloton) birimine çevrilmesi gerekmektedir. Çizelge 3.1'de gösterilen yakıtlardan elde edilen net kalori değerleri IPCC 2006 Kılavuzu değerlerine göre düzenlenmiştir.

Çizelge 3.1 : Yakıtların net kalorifik değerleri (IPCC, 2006b; EFDB, t.y.).

YAKIT	Net Kalorifik Değerler (TJ/kt)
Benzin	44,3
Dizel Yakıt (Motorin)	43,0
Fuel Oil	40,4
LPG	47,3
Doğal Gaz	48,0

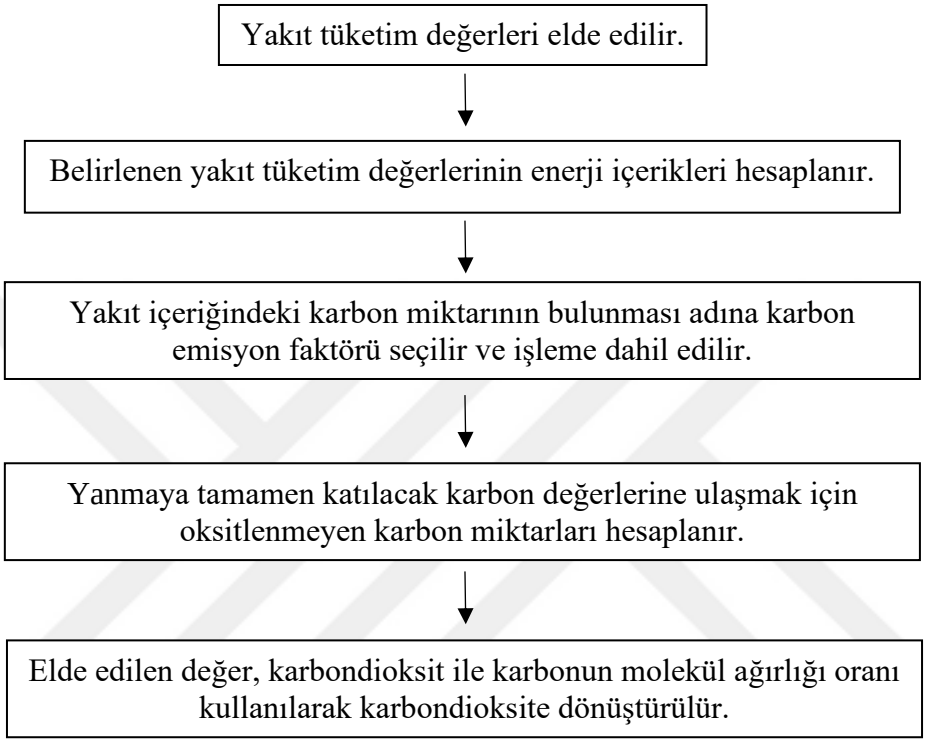
IPCC Kılavuzuna göre bu aşamadan sonra kendine özgü veri setine sahip olmayan ülkelerin yararlanabilmesi adına sunulan emisyon faktörleri üzerinden değer tahmini yapılacak olan araçlara uygun faktörler seçilir (Çizelge 3.2) ve tüketilen yakıtın içerisindeki karbon içeriği bulunur.

Çizelge 3.2 : Karbon emisyon faktörleri (IPCC, 1997 revised 1996; EFDB, t.y.).

YAKIT	Karbon Emisyon Faktörü (t C/TJ)
Benzin	18,9
Dizel Yakıt (Motorin)	20,2
Fuel Oil	21,1
LPG	17,2
Doğal Gaz	15,3

Daha sonra salınım değeri 1000'e bölünürek Gg (gigagram) birimine geçilir. Tüketilen yakıtların son ürün olarak ulaştırma sektörünün içinde yer alması, yani kullanılan yakıtın başka bir işleme ihtiyaç duymadan araca hareketi için gerekli olan itiş gücünü sağlaması sebebiyle, depo edilmiş karbon miktarının hesaba dahil edilmesi gerekmemektedir. Bahsedilen bu depo edilen miktar gözardı edildikten sonra, yanma işleminin gerçekleştiği sırada karbon miktarının oksitlenme oranı bulunarak işleme devam edilmesi, hesabın gerçeğe yakınlaşması adına daha uygun olacaktır (Pekin, 2006). Bunun için IPCC'nin uygulanmasını önerdiği değerler ile salınım hesabına devam edilir. Hesaba katılacak bu değerlerde, 2006 IPCC Kılavuzunda, 1996 IPCC Kılavuzu kaynak gösterilerek, petrol bazlı yakıtların 0,99, gaz formundaki yakıtların ise 0,995 oranında oksitlendiği göz önünde bulundurulduğunda karbonun oksitlendiği kısmın salınım hesabına dahil edilmiş olacağı anlatılmaktadır (Simmons, t.y.).

Son olarak oksitlenmeye katılan karbon miktarını, CO_2'ye dönüştürmek için, CO_2'nin molekül ağırlığı ile karbonun molekül ağırlığı oranının (44/12) karbon salınım değeri ile çarpılır ve tüketilen yakıtın neden olduğu CO_2 salınım değeri bulunur (IPCC, 2006a). Şekil 3.1'de, bu bölümde anlatılan IPCC Kılavuzlarında yer alan yöntemler ışığında hazırlanmış CO_2 salınımı hesap adımlarını içeren akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Salınım hesap adımları.

2006 yılında yapılan güncelleme sonrasında IPCC Kılavuzunda karbon emisyon faktörü yerine karbondioksit emisyon faktörü ibaresine de yer verilmiştir. Çizelge 3.3'te verilen bu değerler ile 1996 yılında yayınlanan IPCC Kılavuzundaki değerler aslında aynı miktarları yansıtmaktadır.

Çizelge 3.3 : CO_2 emisyon faktörleri (IPCC, 2006a).

YAKIT	CO_2 Emisyon Faktörü (kg/TJ)
Benzin	69300
Dizel Yakıt (Motorin)	74100
Fuel Oil	77400
LPG	63100
Doğal Gaz	56100

2006 IPCC Kılavuzunda CO_2 cinsinden de verilen emisyon faktörleri, 1996 IPCC Kılavuzunda verilen karbon emisyon faktörlerinin, CO_2'nin molekül ağırlığı ile karbonun molekül ağırlığının oranı (44/12) ile çarpılmasıyla t/TJ biriminde bulunabilmektedir. 1996 kılavuzundaki değerleri CO_2'nin molekül ağırlığı ile çarptıktan sonra ton olarak elde edilen değeri kilograma çevirince aynı sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu değerler aynı zamanda IPCC 2006 Cilt 2 Bölüm 1'de hesaplanma yöntemleri içerisinde gösterilmiştir, ancak bu çalışma kapsamında, işlem adımlarının detaylı bir şekilde takip edilebilmesi nedeniyle hesaplamalara karbon emisyon faktörü üzerinden devam edilerek CO_2 değerlerine ulaşılacaktır.

3.3.1 Karayolu ve denizyolu ulaşımından kaynaklanan CO_2 salınımları

Ulaştırma sektöründe karayolu ve denizyolu araçlarından kaynaklanan CO_2 salınımlarının hesabı, karayolu araçlarında olduğu gibi yakıtın yanma verilerine bağlı olarak hesaplanır. Birim yakıt tüketimi başına ortaya çıkan bu CO_2 salınımları IPCC Kılavuzu ışığında kolaylıkla bulunabilmektedir.

IPCC Kılavuzunda sera gazı salınımlarının tahmin edilmesi için önerilen Tier 1 yönteminin detayları Bölüm 3.3'te anlatılmıştır. Karayolu ve denizyolu araçlarının salınım tahminlerinin Tier 2 yöntemi ile hesaplanabilmesi için yeterli veri sağlanamadığından IPCC Kılavuzunda yer alan her ülkenin kullanabileceği varsayımlardan yararlanılarak bu araçlar için CO_2 salınım değerleri Bölüm 3.3'te anlatıldığı şekliyle Tier 1 yöntemi kapsamında hesaplanmıştır.

Gerekli teknik verilerin eksikliği çalışmayı Tier 1 ile sınırlandırmış olsa da, özellikle CO_2 salınım tahminleri için IPCC Kılavuzundaki emisyon faktörlerinin gerçeğe oldukça yakın sonuçlar vermesi ve çalışmanın veri elde edebilen araştırmacılara yol gösterici nitelikte hazırlanması nedeniyle Tier 1'in kullanılmasında sakınca görülmemiştir.

3.3.2 Ulaştırma sektöründe demiryolundan kaynaklanan CO_2 salınımları

Ulaşım sektöründe demiryolundan kaynaklanan CO_2 salınımlarını hesaplayabilmek için yakıt tüketim verilerinin elde edilmesi gerekir, ancak kent içinde yolculuk yapmaya olanak veren demiryolu taşıtları, kentler arası yolculuk için kullanılan demiryolu taşıtlarından genel olarak farklılaşarak, haraket enerjisine döndürmek için elektrik enerjisini kullanmaktadır.

Böyle bir durumda, Wang ve diğ. (2005) tarafından yapılan ve Pekin'de kent içi yolcu taşımacılığından kaynaklanan salınımların hesaplandığı çalışmadakine benzer olarak kalibre edilmiş bir elektrik enerjisi emisyon faktörü elde edilerek CO_2 salınımları hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan hesaplama yöntemi denklem 3.1'de verilmiştir.

$$\boldsymbol{Ef_e = \sum_j \left(\frac{\sum_i (C_{ij}.Ncv_i.Efco_2,i)}{Gcj} . \alpha_j \right)}, \quad \textbf{(3.1)}$$

$\boldsymbol{Ef_e}$: Elektrik Enerjisi Emisyon Faktörü (kg CO_2/kWh)

$\boldsymbol{C_{ij}}$: $\boldsymbol{j}$ elektrik şebekesindeki $\boldsymbol{i}$ tip yakıtın tüketim miktarı (kg)

$\boldsymbol{Ncv_i}$: Ülkedeki sabit kaynak için $\boldsymbol{i}$ tip yakıtın net kalorifik değeri (kcal/kg)

$\boldsymbol{Efco_2, i}$: IPCC Kılavuzuna $\boldsymbol{i}$ tip yakıtın göre emisyon faktörü (kg CO_2/kcal)

$\boldsymbol{Gcj}$: $\boldsymbol{j}$ elektrik şebekesinin toplam üretim kapasitesi (kWh)

$\boldsymbol{\alpha_j}$: $\boldsymbol{j}$ elektrik şebekesinden ülkenin merkez şebekesine paylaşılan güç kaynağı (%)

Wang ve diğ. (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, elektrik enerjisi emisyon faktörü, fosil yakıt enerji santralinden üretim sırasında salınan CO_2 salınımını ifade eden, fosil yakıt santrali tüketim verilerine göre yukarıda ifade edilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır. Anlatılan bu çalışma aynı zamanda, gram CO_2/PKM (yolcu-km) biriminde verilen emisyon faktörü değerlerinin toplam yolcu sayısı ve toplam kilometre ile çarpılmasıyla da CO_2 salınımlarının ton biriminde hesaplanmasını içermektedir.

Bu çalışmada, enerji elde etmek üzere santrallerde kullanılan yakıt türü ve miktarına ilişkin verilere ulaşılamadığı için kent içi demiryolu hatlarının neden olduğu CO_2 salınım tahminleri, Wang ve diğ. (2005) tarafından ortaya konulan çalışmanın bir bölümünde olduğu gibi, emisyon faktörü değerlerinin kabul olarak alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. EPA tarafından hazırlanarak 2018 yılında son güncellemesi gerçekleştirilmiş olan "Sera Gazı Envanterleri için Emisyon Faktörleri" adlı yayından tipik kent içi hatlarda çalışan tramvay, metro, yükseltilmiş demiryolları ve tramvaylar gibi kentsel alanda çalışan demiryolları için geliştirilmiş CO_2 salınım oranı 0,119 kg/yolcu-mil alınıp gerekli birim çevirmesi yapılarak yolcu başına düşen CO_2 salınımlarının hesaplanması adına kullanılmıştır (EPA, 2018). Değer, yolcuların ev-iş

yolculuklarında katettikleri kilometreler ile çarpılarak, anket katılımcılarının CO_2 salınımları elde edilmiştir.

3.4 Model Yaklaşımı

İşleyen veya yeni kurulacak olan ulaştırma sistemlerinde karşılaşılan sorunları aşmak, düzeltmeler yapmak veya yeni çözüm yolları geliştirmek için yürütülen süreçlerde kullanılan tür seçim modelleri, mevcut sistemi kullanan bireyler hakkında bilgi sahibi olmak, türler arasındaki ilişkiyi incelemek, geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak, senaryo analizleri yapmak ve alınan kararların doğuracağı sonuçları incelemek açısından önemli çalışmalar arasında yer almaktadır. Bu modeller fiyat artışlarından, sefer sıklıklarındaki değişmelerden, toplu taşıma araçlarında yapılacak olan iyileştirmelerden sistemin nasıl etkileneceğine dair ip uçları verebilmesi ve en çok yarar sağlanacak olan yapının oluşturulabilmesi adına kullanılmaktadırlar.

Grupların veya yolcuların gözlemlenebilen ilişkileri üzerine başlarda toplulaştırılmış talep modelleri kullanılsa da barındırdıkları eksikler, araştırmacıları yeni yöntemler aramaya itmiştir. Bu eksikliklerin giderilebilmesi adına yapılan çalışmalar sonucunda her bir yolcunun gözlemlenebilen seçimini temel alan ve başlangıç noktasını çok terimli veya koşullu lojit modellerin oluşturduğu ayrık seçim modelleri geliştirilmeye başlanmıştır (McFadden, 1974). Yolculuk talebini analiz etmek ve tüm yolculuk karar yelpazesini incelemek için geliştirilen, bölgesel ortalamalara dayanan modellerin aksine, ayrık modellerde, parametrelerin istatistiksel tahmininden önce değişkenleri tanımlayan bilgilerin çoğunun atılması gerekmemektedir. Yolculuk kararları ve bu kararları etkileyen unsurlar, hanehalkı veya birey düzeyinde ölçüldüğü ve analiz edildiği için, gerçek davranış ilişkileri modellere başarılı bir şekilde yansıtılabilmektedir (Sobel, 1980). Ayrık seçim modellerinde her bir bireyin seçeneği ön plana çıktığı için, bireylerin yaptıkları seçimlerde, seçeneğin göreli çekiciliğinin ve bunun seçilmesinde etkili olan, bireylerin sosyo-ekonomik özellikleri ile seçeneklerin özelliklerine bağlı değişen fonksiyonlar kullanılması kavramı gündeme gelmiştir (Ortuzar ve Willumsen, 2011). Bireylerin yapacakları bu seçimlerde göreli çekiciliği temsil etmek için "fayda" konsepti kullanılmaktadır (Lancaster, 1966). Fayda fonksiyonları, bireylerin seçimine etki eden unsurların kavramsal olarak toplandığı fonksiyonlardır.

Ayrık modeller ile seçim süreçlerinin incelenmesinde rastgele fayda teoremi kullanılmaktadır. Bu teorem fayda fonksiyonlarından yalnızca ölçülebilen unsurların yer aldığı ve ölçülemeyen unsurların ise olasılıksal bir hata terimi ile ifade edildiği esasına dayanmaktadır. Buna göre fayda fonksiyonu (*U*), denklem 3.2'de görüldüğü gibi tipik olarak bir belirlenimsel kısım (*V*) olasılıksal kısım ($\boldsymbol{\varepsilon}$) olarak ifade edilir (Sobel, 1980).

$$\boldsymbol{U = V + \varepsilon} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Fayda fonksiyonunda yer alan V bileşeni, yaş, yolculuk süresi, gelir gibi gözlem yardımıyla ölçülebilen, modelin belirleyici büyüklüklerini göstermek için kullanılır. Fonksiyondaki diğer girdi olan ε ise, ölçülmesi veya gözlemlenmesi kolay olmayan özellikleri ifade eden rastgele bir kısımdır ve temelini Rastgele Fayda Teoremi'nden alır (Tezcan, 2009).

Ayrık seçim modellerinin temelinde yer alan Rastgele Fayda Teoremi, Domencich ve McFadden (1975), ve Williams'ın (1977) da görüşlerine uymakla birlikte bu teoremin bazı varsayımları bulunmaktadır (Ergin, 2015). Bu varsayımlara göre modellenen seçim sürecinde, gözlemlenen topluluk içindeki bireylerin, sosyal, zamansal, finansal ve fiziksel yönlerden kişisel faydalarını en yüksekte tutacakları mantıklı seçimler yaptığı seçeneklerin tamamı hakkında net ve eksiksiz bilgiye sahip oldukları ve belirli sayıdaki seçenekten birini seçtikleri kabul edilir.

Rastgele fayda teoremine göre, kişilerden yaptıkları seçimlerde kendilerine en fazla fayda sağlayacak olanı seçmeleri beklenir, ancak bu seçim belirli bir olaslık dahilinde gerçekleşir. Modeli kuracak olan kişi, seçim yapacak kişilerden onlara en fazla faydayı sağlayacak olanı seçmelerini beklese de, tam olarak neden o seçimi yaptıklarını bilmesi özellikle büyük ölçekli çalışmalarda çok zor olacağı için, kişilerin tercihine etki eden, belirlenemeyen faktörleri ölçmek için olasılıksal terim kullanılır (Ortuzar ve Willumsen, 2011).

3.4.1 Fayda Tabanlı Tercih Teorisi

Ayrık seçim modellerinin temelini oluşturan faydayı en büyükleme ilkesi, Bölüm 3.4'te de belirtildiği gibi, seçim yapacak kişilerin, yaptıkları seçimlerde, kendileri için en faydalı seçime yönelmelerini baz almaktadır (Lancaster, 1966). Burada konu edilen

faydanın, var olan seçeneklerden türemeyeceği; seçeneklerin ve kişilerin sosyo-ekonomik özelliklerinden faydanın türeyeceği belirtilmekte ve fayda fonksiyonu genellikle doğrusal olarak ifade edilmektedir (Akalın, 2016). Seçeneklerin kendi aralarında bağımsız olduğu ve fayda fonksiyonunun bireysel faydaların doğrusal bir toplamı olduğu varsayıldığında, genel fayda fonksiyonu denklem 3.3'teki gibi ifade edilebilmektedir (Kumar ve diğ, 2000).

$$\boldsymbol{U\ (X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^{n} U_i(X_i)}$$

Genel fayda fonksiyonunu oluşturan faydaların, seçeneklerin sosyo-ekonomik özelliklerine göre atanan ağırlık faktörleri ile düzenlenmiş hali denklem 3.4'te olduğu gibi ifade edilebilir. Bu denklemde yer alan W_i terimi, X_i özelliğine atanan ağırlık faktörüdür (Kumar ve diğ. 2000).

$$\boldsymbol{U\ (X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^{n} W_i U_i(X_i)} \qquad \textbf{(3.4)}$$

İnsan psikolojisi ve davranışları, insanların geçmişte ve günümüzde yaşadıklarının farklı olması nedeniyle çok bireyseldir ve insanı konu alan gözlemler bu bakımdan her zaman rasyonel sonuçlar vermemektedir. Bazı durumlarda, insanlar tercih yaparken kendileri için en faydalı seçeneğe yönelmemektedirler. Bu bakımdan fayda tabanlı tercih teorisi kendi içerisinde iki ayrı kısım içermektedir (Dargay ve Vythoulkas, 1999). Fayda fonksiyonunun belirlenimsel kısmı, seçeneklerin ve karar vericinin gözlemlenebilir özelliklerinden oluşmaktadır ve her sosyo-ekonomik tanımlayıcı için karar vericilerin sistematik zevklerini ölçmektedir. Fayda fonksiyonunun olasılıksal kısmı ise, karar vericilerin nüfusta kendilerine özgü yaklaşımlarını içeren seçeneklerin ve karar vericinin gözlemlenemez niteliklerini içermektedir (Sobel, 1980).

Fayda tabanlı tercih teorisinde iki tür yaklaşım bulunmaktadır. Kesin (Deterministik) yaklaşım bireylerin kendileri için en yüksek faydayı kesin olarak seçtiklerini kabul ederken; Rastgele (Olasılıksal) yaklaşım, bireylerin kendileri için en yüksek faydayı sağlayan seçeneği seçme olasılığının daha yüksek olduğu kabulünü yapmaktadır. Bireylerin çeşitli gerekçelerle, kendileri için faydası daha düşük seçenekleri de

seçebilme ihtimallerini göz önüne alabilmek adına kullanılan rastgele yaklaşım literatürde yaygın hale gelmiştir. Bu bağlamda, iki seçenek arasından, bir seçeneğin faydası diğer seçeneğin faydasından büyükse ($U_1>U_2$), faydası büyük olan seçeneğin seçileceğini öngeren varsayım olan kesin; bir seçeneğin faydası diğer seçeneğin faydasından büyükse ($U_1>U_2$), faydası büyük olan seçeneğin seçilme olasılığının büyük olacağını ($P_1>P_2$) öngören varsayım rastgele yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Akalın, 2016).

Luce (1959), denklem 3.5'te de ifade edildiği gibi, bir seçeneğin seçilme olasılığını tüm seçeneklerin faydalarının içerisinde, seçimin faydasının kapladığı yer, yani seçimin faydasının tüm faydalara oranı olarak tanımlamıştır.

$$\boldsymbol{P(i\,|S) = \frac{v(i)}{\sum_{J\in S} v(j)} \qquad (v > 0)} \tag{3.5}$$

v: Luce tarafından tanımlanan fayda (Strict Utility)

Rastgele yaklaşımda, aynı olasılık hesabı, bir seçeneğin faydasının diğer seçeneğin faydasına göre yüksek olmasından hareketle yapılmaktadır (Ortuzar ve Willumsen, 2011). Bu durumda denklem 3.6 ve denklem 3.7'de verilen bağıntılar geçerli olmaktadır.

$$\boldsymbol{V_1 + \varepsilon_1 > V_2 + \varepsilon_2} \tag{3.6}$$

$$\boldsymbol{V_1 - V_2 > \varepsilon_1 - \varepsilon_2} \tag{3.7}$$

Bu denklemlerin, bir seçeneğin seçilme olasılığı hesabında kullanılması ise denklem 3.8'de verildiği şekildedir (Ortuzar ve Willumsen, 2011).

$$\begin{aligned} \boldsymbol{P_1} &= \boldsymbol{P(U_1 > U_2)} \\ \boldsymbol{P_1} &= \boldsymbol{P(V_1 + \varepsilon_1 > V_2 + \varepsilon_2)} \\ \boldsymbol{P_1} &= \boldsymbol{P(V_1 - V_2 > \varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \end{aligned} \tag{3.8}$$

Bu denklemde, değeri bilinmeyen bir rastgele değişken olan $\boldsymbol{\varepsilon}$ için istatistiksel dağılım kabulleri yapılarak farklı modeller elde etmek mümkündür. Bu dağılımın normal dağılım olduğu kabulü probit model olarak, Gumbell dağılımına uyduğu kabulü ise

lojit model olarak adlandırılmaktadır (Özatmaca-Erden, 2015). Literatürde sıkça kullanılan lojit model için, *i* ve *j* gibi iki seçenek olması durumunda kullanılan olasılık bağıntısı denklem 3.9'da verilmiştir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985).

$$\boldsymbol{P_i = \frac{e^{V_i}}{e^{V_i + e^{V_j}}}} \quad \textbf{(3.9)}$$

3.4.2 Çok Terimli Lojit Model

Bağımlı değişken sayısının üç veya daha fazla olduğu çalışmalarda, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenin arasındaki ilişkiyi açıklamak için çok terimli lojit modelleme yöntemi kullanılmaktadır. Çok terimli lojit modelin olasılık formülü en genel haliyle denklem 3.10'da verilmiştir. Ayrıca bir seçeneğin hesaplanması istenilen seçilme olasılığının, söz konusu diğer seçeneklerin fayda fonksiyonları ile olan farkına bağlı olduğunu gösteren bağıntı, denklem 3.11'de gösterilmiştir (Koppelman ve Bhat, 2006).

$$\boldsymbol{P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{v_j}}} \quad \textbf{(3.10)}$$

$$\boldsymbol{P_1 = \frac{1}{1 + e^{-(V_1 - V_2)} + e^{-(V_1 - V_3)}}} \quad \textbf{(3.11)}$$

Üç veya daha fazla seçeneğin değerlendirmesi söz konusu olduğunda kullanılan, tercih modellerinden biri olan çok terimli lojit modelde bağımlı değişken çeşitli toplu taşıma ve özel araç gibi yolculuk araçları örneklerinin rahatlıkla verilebileceği gibi çok fazla seçeneğe sahiptir ve seçeneklerin arasında bir sıralama bulunmamaktadır (Uğurlu, 2010).

Çok terimli lojit model, çok değişkenli entegrasyona gerek olmadan temel seçim olasılıklarının hesabı için uygun bir matematiksel kapalı form sağlar (Hausman ve McFadden, 1984). Bu nedenle, birçok seçenek ile ortaya konulan seçim durumlarının uygun bir şekilde düzenlenebilir olması, hesaplama kolaylığı ve bir dizi bilgisayar programının varlığı, lojit modelinin yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır.

Bir çok alanda geniş uygulamalara sahip olan lojit model, havaalanı yolcu talebinden (Ashford ve Bencehamam, 1988), okul başarısına (Stratton ve diğ, 2008) ve hatta

sağlık sektörü ile ilgili analizlere (Kaynak ve diğ, 2012) kadar pek çok alanda kullanılmış ve gerek mevcut durumu belirlemede gerekse geleceğe dair fikir yürütmede etkili sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

3.4.3 Katsayıların Tahmini

En yüksek olabilirlik yöntemi (maximum likelihood), R. A. Fisher'ın (1997) Teorik İstatistiğin Kurumsal Temelleri ile literatüre kazandırdığı, temelinde bir olayın gerçekleşme olasılığının en büyük olmasıyla ilgilisini savunan ve o günden bu yana istatistiksel yöntemlerin içinde tahmin ve çıkarım için kullanılan en önemli araçlardan biri olarak nitelendirilen yöntemdir (Aldrich, 1997; White, 1982).

Genellikle kendisi yerine doğal logaritmasının kullanımının tercih edildiği bu yöntemde, bireylerin seçtikleri türün seçim olasılıklarını en büyük yapan katsayı değerleri belirlenmelidir. Fonksiyonu en büyük yapacak katsayı değerinin tahmini ve gözlemlenen örneklemin ortak olaslılık yoğunluk fonksiyonunun ifade edildiği iki bölümden oluşan olabilirlik fonksiyonu (denklem 3.12) ve fonksiyonu en büyük yapan katsayıları bulmak adına türevin sıfırlanma işleminin zorluğunu hafifletmek için kullanımı yaygınlaşan düzenlenmiş hali (denklem 3.13) aşağıda gösterilmiştir (Koppelman ve Bhat, 2006).

$$\mathrm{L}(\beta) = \prod_{\forall t \in T} \prod_{\forall j \in J} (P_{jt}(\beta))^{\delta_{jt}} \qquad \textbf{(3.12)}$$

$$LL(\beta) = Log\big(L(\beta)\big) = \sum_{\forall t \in T} \sum_{\forall j \in J} \delta_{jt}\, x \ln(P_{jt}(\beta)) \qquad \textbf{(3.13)}$$

$\boldsymbol{j}$ **:** Seçenek

$\boldsymbol{t}$ **:** Birey

$\boldsymbol{\delta_{jt}}$ **:** Seçimin yapılıp yapılmadığına ait gösterge

$\boldsymbol{P_{jt}}$ **:** Seçilme olasılığı

δ_{jt}, konu edilen bir j seçeneğinin, seçimi gerçekleştirecek olan t kişisi tarafından seçilmesi durumunda 1 değerini alırken, t kişisinin seçimi gerçekleştirmemesi durumunda ise 0 değerini alan değişkendir. Denklem 3.12 ve 3.13'te ifade edilen P_{jt} ise bir t kişisinin herhangi bir j seçenegini seçme olasılığı olarak tanımlanmaktadır.

3.4.4 Model performans ve uyum iyiliği testleri

Model katsayılarının tahmininden sonra, çok terimli lojit modelin performansının çeşitli yönlerden test edilmesi gerekmektedir.

1) Model parametrelerindeki işaretler: Tahmin edilen sonuçları değerlendirmek için kullanılan en temel testlerden biri olan bu yöntemde, ilgili değişkenin fonksiyonda beklenen etkiyi gerçekleştirip gerçekleştirmediğine bakılması amacıyla işaretlerin negatiflik ve pozitiflik durumları incelenmektedir. Gerçeğe uygun olmayan sonuçların en önemli nedeni bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkisi olabileceğinden böyle bir durumun önüne geçmek için Korelasyon Matrisi'nin kullanılması önerilmektedir (Özatmaca-Erden, 2015).

2) t-istatistiği: Model sonucunda elde edilen değişkenlerin geçerliliğini analiz etmek için kullanılan testtir. Tahmin istatistiğinin %90 güven aralığında olma durumunda -1,645 ile +1,645 dışında, %95 güven aralığında olma durumunda ise -1,960 ile +1,960 dışında olması durumunda model tahmininin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu söylenmektedir (Akalın, 2016).

3) Ki-kare testi: Lojit modelin genel olarak sınanması için kullanılan testtir. Testin temeldeki amacı, tahmin edilen modelin bir referans modelden daha üstün olup olmadığını kontrol etmektir. Kurulan modelin log-olabilirlik değeri ile referans modelin log-olabilirlik değerinin karşılaştırıldığı bu testin bağıntısı Denklem 3.14'te görülmektedir. -2LL değerinin, değişken sayısından bir eksik serbestlik derecesine karşılık gelen kritik χ^2 değerini aşması beklenir (Ergin, 2015).

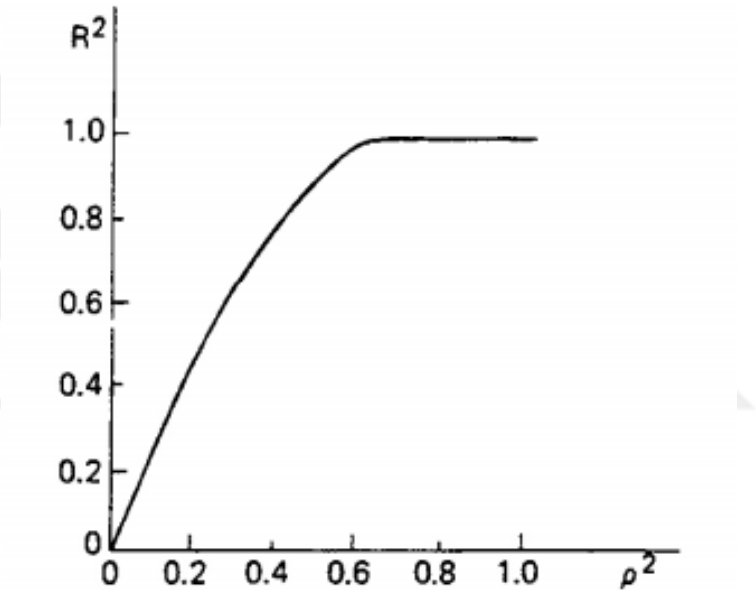
$$\boldsymbol{\chi^2 = -2LL = -2(\,LL(M) - LL(\beta)\,)} \qquad \textbf{(3.14)}$$

Denklem 3.11'de bahsi geçen $LL_{referans}$, sadece modelde yer alan sabit terimlerin oluşturduğu bir model olarak tanımlanabilmektedir. Modeldeki değişken sayısından modeldeki sabit terimler kadar eksik serbestlik derecesine sahip olan χ^2 değerinin, –2LL değerinden küçük olması beklenmektedir (Tezcan, 2009).

4) Uyum iyiliği testi: Lojit modelde, modelin veri setini uygun (iyi bir oranda) temsil edip etmediğini araştırmak için kullanılan, bağıntısı denklem 3.15'te verilen verilen testtir. $\boldsymbol{\rho^2}$ değeri 1'e yaklaştıkça modelin veri setini açıklamakta yeterliliğinin arttığı kabul edilmektedir (Koppelman ve Bhat, 2006).

$$\boldsymbol{\rho^2 = 1 - \frac{LL_{(\beta)}}{LL_{(M)}}} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Kesikli tercih analizlerinin doğrusal olmayan bir yöntem olmasından dolayı, sanal-R^2 ($\boldsymbol{\rho}^2$) değerlerinin R^2 değerlerine benzetilmesi ve yorumlanması mümkün olmadığı için Şekil 3.2'de Domencich ve McFadden'ın (1975) çalışmasında yer alan R^2 ile sanal $\boldsymbol{\rho}^2$ arasındaki deneysel ilişkiyi gösteren grafik, $\boldsymbol{\rho}^2$ değerlerinin R^2'ye çevrilmesinde kullanılmaktadır. Buradan $\boldsymbol{\rho}^2$ değerinin 1'e yaklaşması, doğrusal R^2 değerinin de 1'e yakınlaşacağı anlamını taşıdığından kurulan modelin veri setini temsil etmede iyi bir uyum yakalayacağı söylenebilmektedir.



Şekil 3.2 : R^2 - $\boldsymbol{\rho}^2$ ilişkisi (Domencich ve McFadden, 1975)**.**

4. MATERYAL VE METOD

4.1 Anket ve Veri Tanıtımı

Çalışma, İstanbul kenti içerisinde ev-iş yolculuklarını gerçekleştirmek için kullanılan araçlardan yayılan CO_2 salınımlarına bağlı karbon ayak izi ile bu araçlarla yolculuklarını gerçekleştiren çalışanların profilleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda çalışmanın bu bölümünde Ek A'da soruları verilen anket ve anket sonucunda elde edilen verilere değinilecektir.

Maliyetin az olması, çevre duyarlılığı, daha hızlı veri elde edilmesi, anket cevaplarının toplanması sırasında aynı cihazdan birden fazla dönüş yapılmasının engellenebilir olması ve veri setinin çok olmaması nedeniyle anketin elektronik ortamdan dağıtılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda 170 anket, elektronik ortamda dağıtılmış ve 137 anketten cevaplı olarak geri dönüş sağlanarak, %81'lik yanıt oranı elde edilmiştir. Anket hazırlanırken açık uçlu, kapalı uçlu, yarı kapalı uçlu ve dereceli gibi farklı soru tiplerinde sorular seçilmiştir. Daha doğru bir sonuç ortaya koymak adına, katılımcıların yaşının, net gelirlerinin ve ev-iş yolculukları için ödenen/ödemeye razı olunan ücretlerin öğrenildiği bölümler açık uçlu olarak bırakılmıştır. Geri kalan sorularda ise katılımcıların sıkılmasını engellemek ve rahat bir anket çözümü sağlamak adına diğer soru tipleri seçilmiştir. Bu bağlamda ankette yer alan toplam 17 sorudan, 7 tanesi açık uçlu, 5 tanesi çoktan seçmeli, 2 tanesi matris, 1 tanesi onay kutuları ve 2 tanesi aşağı açılır pencere şeklinde tasarlanmıştır.

İstanbul'da ev-iş yolculukları gerçekleştiren bireylerin oluşturduğu rastgele bir örneklem üzerinden gerçekleştirilen anketin bölümleri 4 ana grup altında toplanmıştır. Birinci bölümde profillerini ortaya koymak adına katılımcılardan cinsiyetleri, yaşları, medeni durumları, eğitim durumları, çalıştıkları sektör ve aylık net gelirleri hakkında bilgi istenmiştir. İkinci bölümde bireylerin ev-iş yolculukları ile yol açtıkları CO_2 salınımlarını hesaplamaya yönelik olarak, bu yolculuk türünde hangi ulaşım aracını kullandıkları, özel araçlarının araç tipi (eğer varsa), izledikleri güzergahları, sürüş

paylaşımı yapıp yapmadıkları hakkında bilgi istenmiştir. Üçüncü bölümde verilerin doğruluğunu denetleyebilmek adına, gerçekleştirilen yolculuklarda harcanan süre ve yolculuklar için ödenen aylık ücretler öğrenilmiştir. Son olarak dördüncü bölümde ise katılımcıların çevre duyarlılıklarını ölçmek adına sorular sorulmuş ve belirtilen ev-iş yolculuklarında kullandıkları araçlar ile ilgili memnuniyetleri hakkında bilgi istenmiştir.

Geri dönüş sağlanılan 137 anketteki veriler incelendiğinde, 20 anket verisi boş bırakılan sorular olması ve doğrulama sorularındaki yanıtların verilen diğer yanıtlarla çelişmesi bakımından elenmiştir. Çizelge 4.1'de detaylar gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Anket analizi.

Değerlendirme Başlığı	Sonuç
Geri Dönüş Alınan Anket Sayısı	137
Elenen Anket Sayısı	20
Değerlendirilmeye Alınan Anket Sayısı	117
Anketin Dağıtılmaya Başladığı Tarih	06.02.2020
Anketin Sonlandırıldığı Tarih	16.04.2020

4.2 Katılımcı İstatistikleri

İstanbul kenti içerisinde ev-iş yolculukları gerçekleştiren katılımcılara yapılan anket sonucunda analiz etmeye uygun 117 anket verisi elde edilmiştir. Anket katılımcılarının %25'i 20-25 yaş arasında, %40'ı 26-30 yaş arasında, %26'sı 31-35 yaş arasındadır ve %9'u 35 yaş üstüdür. Gelir dağılımlarına bakıldığında katılımcıların %7'si 10000-15000 TL, %16'sı 9999-7000 TL, %22'si 6999-5000 TL, %38'i 4999-3000 TL aralığında ve %17'si 3000 TL'den az aylık gelire sahiptir.

Ankete katılanların %48'i kadın, %52'si erkek, %32'si evli olup %68'i bekardır. Kadın katılımcıların yaş ortalaması 29 olup, kendi içlerindeki oranda %30 evli kadın katılımcı, %70 bekar kadın katılımcı bulunmaktadır. Aynı durum için erkek katılımcılara bakıldığında ise erkeklerin yaş ortalaması 30 olup, kendi aralarındaki

durumda %33 evli, %67 bekar erkek katılımcı bulunmaktadır. Eğitim durumlarına bakıldığında, katılımcıların %1'i doktora derecesine sahipken, %29'u yüksek lisans derecesine, %59'u lisans derecesine, %6'sı ön lisans derecesine sahiptir ve %5'i lise mezunudur. Anket katılımcıları çalıştıkları sektör açısından incelendiğinde, katılımcılar arasında %29'luk bir payla yer alan inşaat sektörünün ardından, %10'luk payla gıda sektörü ve %9'luk payla bilişim sektörü, katılımcı yoğunluğunun en fazla olduğu sektörler olarak görülmektedir. Bu sektörleri sırasıyla, %8'lik bir payla eğitim sektörü, %6'lık bir payla finans sektörü ve yine %4'lük payla ulaştırma ve lojistik sektörü izlemektedir. Geri kalan %34'lük pay ise tekstil, hazır giyim, deri, kültür, sanat ve tasarım, otomotiv, imalat ve sanayi, elektrik-elektronik, havacılık, satış-pazarlama, medya, iletişim ve yayıncılık, kimya, enerji, sağlık ve sosyal hizmetler, hukuk ve turizm sektörleri içerisinde dağılmıştır.

Katılımcıların çevre duyarlılığını ölçmek için sorulan sorulara verdikleri yanıtlar ilginç sonuçlar ortaya koymuştur. Katılımcıların %98'i olanakların doğru sağlanması durumunda hibrit araç kullanabileceklerini söylemişlerdir. Daha detaylı incelendiğinde özel araç kullanıcıları %97'lik bir oranla, servis kullanıcıları ve toplu taşıma kullanıcıları %100'lük oranla olanakların doğru sağlanması durumunda hibrit araç kullanmaya hevesli olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca katılımcıların %92'si kullandıkları eşyaları uzun süre (artık kullanılamayacak hale gelene kadar) kullandıklarını söylerken, %68'i günlük hayatlarında geri dönüştürülebilir ürünler tercih ettiklerini belirtmişlerdir.

Çevreye yayılan CO_2 salınımlarının ağırlıklı olarak ulaşım sektöründen kaynaklandığına katılıp katılmadıkları sorulduğunda, katılımcıların %3'ü bu düşünceye kesinlikle katılmadıklarını, %19'u katılmadıklarını ve %27'si ise kararsız kaldıklarını ifade etmişlerdir. Daha detaylı incelendiğinde özel araç kullanıcılarının %48'i, servis kullanıcıların %29'u ve toplu taşıma kullanıcılarının %37'si çevreye yayılan CO_2 salınımlarının ağırlıklı olarak ulaşım sektöründen kaynaklandığına katıldığını söylerken, özel araç kullanıcılarının %12'si, servis kullanıcılarının %18'i ve toplu taşıma kullanıcılarının %10'u kesinlikle katıldıklarını belirtmişlerdir. Bu sorular üzerinden inceleme yapıldığında farkındalık düzeyi yüksek olarak nitelendirilebilecek cevaplar geldiği söylenebilmektedir. Bu da, katılımcıların doğru yönlendirmeler durumunda CO_2 salınımlarını düşürme eğilimlerinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Ekonomik olarak kalkınmış ülkelerin CO_2 salınım seviyelerinin ekonomik olarak kalkınmamış ülkelere göre daha düşük olduğu yorumu hakkında düşündükleri sorulduğunda, katılımcıların %19'u bu düşünceye katılmadıklarını ve yine %19'u ise kesinlikle katılmadıklarını söylemişlerdir. Anket sonuçları içerisinde detaylı bir inceleme yapıldığında özel araç kullanıcılarının %39'u, servis kullanıcıların %41'i ve toplu taşıma kullanıcılarının %47'si ekonomik olarak kalkınmış ülkelerin CO_2 salınımlarının ekonomik olarak kalkınmamış ülkelere göre daha düşük olduğunu düşünmektedir. Ancak bu durum daha önceden de bahsedildiği gibi ekonomik kalkınmışlıktan çok ülkelerin kendi dinamiklerine göre değişmektedir. Bölüm 2.2'de de ifade edildiği gibi ulaşım sektöründen kaynaklanan CO_2 salınımları ciddi bir oran tuttuğu ve ekonomik olarak gelişmiş ülkelerin de yol açtığı CO_2 salınım oranları düşünüldüğünde bu yanıtlar, konu hakkındaki bilinç düzeyinin arttırılması adına çalışmalar yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Katılımcılar "Küresel ısınma, insan eylemleri sonucunda atmosfere yayılan CO_2 salınımı ile doğrudan ilişkilidir." ifadesinin %34'lük bir oranla doğru, %58'lik bir oranla çok doğru olduğunu dile getirmişlerdir. Bu soruyu özel araç kullanıcılarının %45'i doğru, %52'si çok doğru; servis kullanıcıların %47'si doğru, %41'i çok doğru ve toplu taşıma kullanıcılarının %23'ü doğru, %68'i çok doğru olarak nitelendirmiştir. Sonuçlar incelendiğinde büyük çoğunluğun insan faaliyetlerinden kaynaklı CO_2 salınımları hakkında bilinçli olduğu söylenebilmektedir. Bu durum da gerekli yönlendirmeler ile katılımcıların salınım oranlarında bir düşüşün sağlanabileceğini ve katılımcıların konu hakkında hassasiyete sahip olduklarını göstermektedir.

Ankette katılımcılardan ev-iş yolculuklarında kullandıkları araçların konfor seviyelerini 5 konfor seviyesi (Çok Konforlu, Konforlu, Az Konforlu, Rahatsız, Çok Rahatsız) üzerinden değerlendirmeleri istendiğinde, özel araç ve servis kullanıcıları büyük çoğunlukla çok konforlu ve konforlu seçeneklerini işaretlerken, demiryolu ve denizyolu araçları kullanıcıları ağırlıklı olarak konforlu ve az konforlu seçeneklerini işaretlemişlerdir. Diğer karayolu toplu taşıma kullanıcıları ise genel olarak konfor seviylerini rahatsız ve çok rahatsız seçenekleri arasında değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmelerin daha net bir şekilde ortaya konulabilmesi için, kullanıcılara gerçekleştirdikleri konfor seçimlerindeki değerlendirmelerini hangi kritere göre belirledikleri sorulmuştur. Yanıt olarak katılımcılar en çok "Ulaşım aracını kullanan kişi sayısının az olması" seçeneğini işaretlerken, arkasından "Temizlik" ve "Güvenlik"

kritlerleri büyük bir oran kaplamaktadır. Toplu taşıma kullanıcıları arasında konfor seviyesini belirleyen en önemli etmen %65'lik bir payla ulaşım aracını kullanan kişi sayısının az olması iken aynı durum özel araç kullanıcıları için de %45'lik bir payla ifade edilmiştir. Ancak sevis kullanıcılarında durum özel araç ve toplu taşıma kullanıcılarından farklılaşarak %41'lik oranla güvenlik olmuştur.

Anket sonuçlarına göre özel araç kullanıcıları %28'lik, toplu taşıma kullanıcıları %58'lik, servis kullanıcıları %10'luk ve ev-iş yolculuklarını yürüyerek gerçekleştiren katılımcılar %4'lük paya sahiptir. Toplu taşıma kullanımı içerisinde, metrobüs kullanıcıları %22'lik, otobüs kullanıcıları %39'luk, dolmuş kullanıcıları %3'lük, metro kullanıcıları %20'lik, tramvay kullanıcıları %5'lik, deniz ulaşımı kullanıcıları %6'lık, Marmaray kullanıcıları %6'lık bir paya sahiptir. Katılımcıların %15'i ayın bazı günlerinde sürüş paylaşımı yaparak işe gitmektedir.

117 anket katılımcısı, ev-iş yolculuklarını gerçekleştirmek için günde yaklaşık 2 saatlerini yolda harcamaktadırlar. Kullanılan araçlar içerisinden yolda harcanan en çok zaman lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarında görülmektedir. İstanbul kentinde kullanılan tarifelerden aylık abonman kart ücreti nedeniyle toplu taşıma kullanıcılarının ulaşım için ödedikleri ücretler arasında net bir kıyaslama yapılamasa da, özel araç kullanıcılarının ödedikleri ücretlerin belirgin bir şekilde yüksek olduğu görülmektedir.

4.3 Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

IPCC kılavuzunda belirtilen ve Bölüm 3.3'te teorik olarak anlatılmış bilgiler ışığında anket sonuçları değerlendirmeye alınan 117 kişinin ev-iş yolculuklarında izledikleri güzergahlardan belirlenen yolculuk kilometreleri ve kullandıkları araçların yakıt verilerine göre CO_2 salınım değerleri Tier-1 yöntemine göre hesaplanmıştır.

Katılımcıların kullandıkları güzergahlarda katettikleri kilometreleri belirleyebilmek adına, uygulanan ankette ev-iş yolculukları için kullandıkları özel araç ve/veya toplu taşıma araçlarına ait başlangıç konum/durakları ile varış konum/durakları sorulmuştur. Katılımcının kullandığı türün raylı sistem olması durumunda Metro İstanbul'un "Nasıl Giderim?" uygulaması; özel araç ve servis olması durumunda pik saatte en hızlı gideceği yolun seçilmesi amacıyla Google Haritalar, deniz ulaşımı olması durumunda

Şehirhatları İşletmesi Raporu'ndaki miller (Ünsan, 2005), dolmuş/minibüs içinse katedilen uzunluklar Google Haritalar kullanılarak belirlenmiştir. Metrobüs için Ayaz ve diğ, (2011) tarafından yapılan çalışmada sunulan duraklar arası kilometreler ile Google Haritalar kullanılmış ve kilometreler hesaplanmıştır. Son olarak otobüs yolculukları için ise ankette talep edilen durak isimlerine göre otobüs numaraları belirlenmiş ve başlangıç-bitiş durakları arasında kalan duraklar işaretlenerek uzunluklar Google Haritalar aracılığı ile belirlenmiştir. İki durak arası uzaklığın trafik akışını bozmaması için ortalama 400-500 metre olduğu kabulu ile bu kilometreler kontrol edilmiş ve mantıklı sonuçlar bulunduğu doğrulanmıştır.

CO_2 salınımları hesaplanırken, İstanbul genelinde kullanılan toplu taşıma araçlarından otobüs için Tektanıl'ın (2008), dolmuş ve servis için Başçuhadar'ın (2014), metrobüs için Ayaz ve diğ.'nin (2011) ve deniz ulaşım araçları için Ülgen ve Altuntaş'ın (2010) çalışmalarında geçen yakıt tüketim verilerinden yararlanılmıştır ve bu değerler Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Araç filosu içerisinde büyük orana sahip olduğu için otobüs yakıt tüketim değerlerinde yakıt cinsi dizel olarak olarak kabul edilmiştir (İETT ve İBB, 2013).

Çizelge 4.2 : Toplu taşıma araçları ve yakıt tüketim değerleri.

Toplu Taşıma Aracı	Yakıt Tüketim Değerleri
Otobüs	0,47 l/km
Dolmuş ve Servis	0,1422 l/km
Metrobüs	0,5997 l/km
Denizyolu Yolcu Taşıma Araçları	9,719 l/km

Anket kapsamında katılımcıların kullandıkları özel araçların yakıt tüketimlerini belirleyebilmek adına, katılımclılara kullandıkları araçların özelliklerinin ne olduğu sorulmuştur ve gelen cevaplar, Türkiye'de en çok kullanılan araç modellerine göre araçları sınıflara ayırmak için değerlendirilmiştir. Aile ve bireysel kullanıma uygunluğu, performans özellikleri bakımından Türkiye'de geniş bir kullanım oranına sahipliği nedeniyle, salınım hesaplarında orta sınıf araç özelliklerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Özel araç yakıt tüketim verisi olarak, Cheah ve diğ.'nin (2008)

çalışmasında yer alan, bazı Avrupa ülkeleri ile Amerika arasında yakıt tüketim değerlerinin karşılaştırıldığı tablolardan, 0,074 l/km seçilmiştir.

Kent içi demiryolu hatlarında kullanılan yakıt tüketimi Bölüm 3.3.1.3'te anlatıldığı gibi elektrik enerjisinin üretilmesi için gerekli yakıt tüketimlerinin hesaplanmasını gerektirdiği ve bu verilere ulaşılamadığı için EPA tarafından 2018 yılında güncellenen veriler kullanılmıştır. Bu verilere göre, tipik olarak metro, yükseltilmiş demiryolları, büyükşehir demiryolları (metro), tramvaylar ve tramvaylar gibi kentsel bir merkezdeki demiryolları için CO_2 salınımı 0,119 kg/yolcu-mil olarak verilmiştir (EPA, 2018). Bu emisyon bilgisi gerekli dönüşümler yapılarak çalışma kapsamında kullanılacak CO_2 salınım tahminlerinin gerçekleştirilmesinde yolculuk uzunluğu ile birlikte kullanılarak hesaplara katılmıştır.

Denizyolu araçlarındaki CO_2 salınımları hesaplanırken yapılan kabullerde, yakıt tüketim verileri l/mil cinsinden olduğundan gerekli dönüşümleri yapmak için 1 deniz mili 1,852 km olarak kabul edilmiştir (Lesage ve diğ, 2004).

Katılımcılardan gelen yanıtların anonim olmasını sağlamak amacıyla, katılmcılara kimlik bilgilerine dair sorular sorulmamıştır. Bu sayade kendilerini güvende hissetmeleri ve doğru yanıtlar vermeleri amaçlanmıştır. Bunun yanında anketi uzun tutarak katılımcıların sıkılıp gerçekçi olmayan cevaplar vermelerini önlemek amacıyla güzergah bilgileri kapsamında yalnızca başlangıç ve bitiş konumları doğrultusunda istenmiştir.

Kişi başına düşen salınımların araç doluluğuna göre değişiklik göstermesinden dolayı salınımları bireysel yolcu bazında hesaplamanın bazı sakıncaları bulunsa da Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından salınımların yolcu bazında hesaplanması için uluslarası düzeyde kabul görmesi hedeflenen çalışmalar sürmektedir. ICAO'nun yaptığı çalışmalar içerisinde yer alan hesaplamalarda salınımlar, belirlenmiş olan yolcu yük faktörüne göre her yolcu başına ayrı ayrı belirlenmektedir (Jardine, 2009). Bu çalışma kapsamında hesaplanması amaçlanan, ev-iş yolculukları sırasında seçilen ulaşım türleri nedeniyle ortaya çıkan bireysel CO_2 salınımları olduğu için yolculukların gerçekleştiği saatlerde ulaşım türlerinin tam kapasite çalıştığı kabul edilmiştir. Bu kabul ile toplu taşıma araçlarının yolculuk uzunluğu boyunca neden oldukları CO_2 salınımları aracın yolcu kapasitesine

bölünerek bireysel bazda CO_2 salınımları elde edilmiştir. Bu sayede yolcuların başka bir ulaşım türü seçtiklerinde neden oldukları salınımlarda nasıl bir değişim gözlenebileceğine dair bilgi sahibi olmak hedeflenmektedir.

Ev-iş yolculuklarının incelendiği bu çalışmada yolculukların gerçekleştiği sürenin İstanbul kenti içerisindeki zirve saatleri kapsamasından dolayı toplu taşıma araçlarının tam kapasite çalıştığı kabul edilmiş ve bireysel bazda salınım hesaplamaları için yolcu kapasiteleri, ilgili toplu taşıma aracının salınım değerlerine bölünmüştür. Çizelge 4.3'te çeşitli kaynaklardan yararlanılarak hazırlanan toplu taşıma araçlarındaki yolcu kapasiteleri gösterilmiştir. Yolcu kapasiteleri arasında raylı sistemlerin salınım değerleri EPA tarafından hazırlanan çalışmadan alındığı ve bireysel bazda değerler içerdiği için raylı sistemlere ait yolcu kapasitelerine değinilmemiştir.

Çizelge 4.3 : Toplu taşıma araçları yolcu kapasitleri.

Toplu Taşıma Aracı	Yolcu Kapasitesi (Kişi)
Otobüs[a]	100
Metrobüs[b]	230
Dolmuş[c]	8
Servis[d]	24
Denizyolu Yolcu Taşıma Aracı[e]	449

a: Önden ve Kuşçi, 2010
b: Uysal, 2009
c: Altay, 2008
d: Kahraman, 2010
e: Ülgen ve Altuntaş, 2010

Kabuller ve anket verilerinden çıkartılan kilometre hesaplamaları yapıldıktan sonra, Bölüm 3.3'te ifade edilen ve Şekil 3.1'deki akış şemasıyla özetlenen IPCC yöntemlerine göre ilk olarak kilometre başına yakıt tüketimleri ile güzergah kilometreleri çarpılıp birim çevirme yapılarak, ton cinsinden yakıt tüketimleri bulunmuştur. Daha sonra ton olarak belirlenen yakıt tüketimleri uygun net kalori değerleri (Çizelge 3.1) ile çarpılarak yakıtın enerji içeriği elde edilmiştir; ancak bu işlem yapılırken birimlerin uygun olması için ton biriminde hesaplanan yakıt

tüketimleri kilotona çevrilmiştir. Diğer adımda karbon içeriğini bulmak için, değerler uygun karbon emisyon faktörleri ile (Çizelge 3.2) çarpılmıştır. Bu değerleri IPCC'nin kullandığı Gg (gigagram) birimine çevirmek için 10^{-3} ile çarpılmıştır. Son olarak da Gg biriminde elde edilen karbon içeriği, yanma sırasında karbonun ne kadarının oksitlendiğini bulmak için, yakıt türüne göre seçilmiş uygun karbon oksitlenme oranlarıyla çarpılmış ve bu değer CO_2 salınım tahmini için CO_2'nin molekül ağırlığının karbonun molekül ağırlığına bölümü ile çarpılmış ve gerçek CO_2 değeri elde edilmiştir.

Bu değerler ile ayda 21 gün kabul edilerek hesaplanan çalışma günleri üzerinden salınım değerleri, katılımcıların kullandıkları araçlardaki yolcu kapasitelerine bölünerek bireysel CO_2 salınımları hesaplanmıştır. Bu da Bölüm 2.3'te anlatıldığı gibi katılımcıların ulaşımdan kaynaklanan karbon ayak izlerine eşittir.

Detaylı CO_2 salınım değerleri Ek B'de verilen çalışma kapsamında İstanbul içerisinde ev-iş yolculukları gerçekleştiren katılımcıların CO_2 salınımlarına bağlı karbon ayak izi değerlerine bakıldığında 117 kişinin bir aylık CO_2 salınımları toplamda yaklaşık 10 tondur. Katılımcıların bir aylık iş günleri olarak kabul edilen 21 gün üzerinden hesaplanan bu değer, yılda yaklaşık 120 tona denk gelmektedir. Bölüm 2.2'de Türkiye'de ulaştırma sektöründen kaynaklanan ve 2017 yılında IEA (2020b) verilerine göre 83 Mt olarak kaydedilen CO_2 salınımları ile kıyaslandığında, TÜİK'ten (2019) alınan verilere göre çalışan kişi sayısının 6788000 olduğu İstanbul için bu değer, kaba bir hesaplama sonucunda yaklaşık 7 Mt CO_2'e ulaşacaktır. Buradan İstanbul'daki ev-iş yolculuklarından kaynaklı yıllık CO_2 salınımlarının tüm Türkiye'nin ulaşım kaynaklı CO_2 salınımlarının yaklaşık %8'ine karşılık geldiğini söylemek mümkündür. Bu da durumun ne kadar ciddi olduğunu ortaya koymaktadır.

4.4 Çok Terimli Lojit Modelin Kurulması ve Yorumlanması

İstanbul içerisinde ev-iş yolculukları sırasında yol açılan CO_2 salınımları üzerinden karbon ayak izinin belirlenmesinin hedeflendiği bu çalışma kapsamında Bölüm 3.3 ve 4.3'te, yakıt tüketimlerinin neden olduğu CO_2 salınım tahminleri Gg (gigagram) biriminde IPCC 2019 Kılavuzu'ndaki Tier yöntemleri ışığında hesaplanmıştır.

CO_2 salınımları hesaplanan 117 katılımcının, salınım değerlerinin çok terimli model ile değerlendirilebilmesi adına, CO_2 salınımlarının gruplandırılması gerekmektedir. Hesaplanan CO_2 salınım verileri gruplanırken, Tezcan, Öğüt ve Çidimal'ın (2010) çalışmasından yararlanılarak her bir seviyenin temsil ettiği CO_2 salınım aralıklarını bulmak için, hesaplanan CO_2 salınımlarının ortalaması ($\bar{x}$) ve standart sapmasına (б) göre kesme değerleri ile belirlenmiştir. CO_2 salınımlarından oluşan veri setinin ortalaması 0,089061 ton CO_2 ve standart sapması 0,236589 ton CO_2 olarak hesaplanmıştır. Düşük düzeydeki karbondioksit salınım seviyesi 0 ile $(\bar{x} - (б/4))$ aralığını, orta düzeydeki karbondioksit salınım seviyesi $(\bar{x} - (б/4))$ ile $(\bar{x} + (б/4))$ aralığını, yüksek düzeydeki karbondioksit salınım seviyesi ise $(\bar{x} + (б/4))$ formülü ile hesaplanan değerden büyük değerleri kapsamaktadır. Elde edilen değerler karbon ayak izi sınıflarının belirlenmesinde kullanılmış ve Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, tez kapsamında belirlenmiş olan düşük, orta ve yüksek düzey karbon ayak izi sınırlarının, anket sorularına cevap veren bireylerin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıktığıdır. Diğer bir ifadeyle, bu sınırlar ve karbon ayak izi düzeyleri belli bir grubu temsil etmektedir. Farklı özelliklere sahip bir örneklem ile farklı sınırlar ve düzeyler elde edilmesi olasıdır.

Çizelge 4.4 : Karbondioksit salınım seviyeleri ve kapsadığı gruplar.

Karbondioksit Salınım Seviyeleri	Aralıklar	Aralık Değerleri (ton CO2)	Aralıkta Yer Alan Toplam Değer Sayısı
DDKAİ	$< (\bar{x} - (б/4))$	< 0,029914	47
ODKAİ	$(\bar{x} - (б/4))$ - $(\bar{x} + (б/4))$	0,029914 – 0,148208	55
YDKAİ	$> (\bar{x} + (б/4))$	> 0,148208	15

Düşey Düzey Karbon Ayak İzi (DDKAİ), Orta Düzey Karbon Ayak İzi (ODKAİ) ve Yüksek Düzey Karbon Ayak İzi (YDKAİ) olarak 3 grup halinde düzenlenen salınım değerleri için anketten elde edilen verilerle birlikte kapsamlı bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Çizelge 4.5'de görülebileceği gibi çok terimli lojit modelin değişkenleri ve ifade ettikleri açıklamalar yer almaktadır.

Çizelge 4.5 : Modelde yer alan değişkenler.

Değişken	Değişkenin İfade Ettiği Anlam
ERKEK	Cinsiyet (Kadın:0 Erkek:1)
YAŞ	Yaş
EVLİ	Medeni Durum (Bekar:0 Evli:1)
GELİR	Aylık Gelir (TL/ay)
YOLCULUK SÜRESİ	Yolculuk Süresi (dk)
ÖZEL ARAÇ KULLANIMI	Ev-İş Yolculuklarında Özel Araç Kullanımı (Kullanmıyor:0 Kullanıyor:1)
TOPLU TAŞIMA KULLANIMI	Ev-İş Yolculuklarında Toplu Taşıma Kullanımı (Kullanmıyor:0 Kullanıyor:1)
SERVİS KULLANIMI	Ev-İş Yolculuklarında Servis Kullanımı (Kullanmıyor:0 Kullannıyor:1)

Değişkenlerde katılımcıların sosyo-demografik özellikleri, aylık gelirleri, yolda harcadıkları süreler, ev-iş yolculuklarını gerçekleştirirlerken özel araç, toplu taşıma ya da servis kullanımlarından hangilerini gerçekleştirdikleri ile ilgili veriler dahil edilmiştir. Değişken setini belirlemek için, mevcut tüm değişkenler farklı seviyelerde ve konfigürasyonlarda birçok deneme yapılmıştır. Genel olarak, değişkenlerin çoğu kukla değişken şeklinde (0, 1) sonuçları gösteren yapay değişkenler olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.6'da korelasyon matrisi gösterilmektedir. Modelin sonucunda elde edilecek fayda fonksiyonlarında, aralarında ilişki bulunan değerleri aynı fayda fonksiyonunda kullanmamak adına korelasyon matrisinde -0,5'ten küçük, 0,5'ten büyük değerlerin bağımsız değişkenleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.6 : Korelasyon matrisi.

	ERKEK	YAŞ	EVLİ	GELİR	YOLCULUK SÜRESİ	ÖZEL ARAÇ KULLANIMI	TOPLU TAŞIMA KULLANIMI	SERVİS KULLANIMI
ERKEK	1,000							
YAŞ	0,129	1,000						
EVLİ	0,026	0,558	1,000					
GELİR	0,264	0,189	0,058	1,000				
YOLCULUK SÜRESİ	0,022	-0,075	-0,099	-0,155	1,000			
ÖZEL ARAÇ KULLANIMI	0,182	0,209	0,186	0,386	-0,316	1,000		
TOPLU TAŞIMA KULLANIMI	-0,081	-0,06	-0,046	-0,399	0,387	-0,651	1,000	
SERVİS KULLANIMI	-0,088	-0,118	-0,15	0,045	-0,042	-0,276	-0,391	1,000

Çizelge 4.6'da gösterilen korelasyon matrisi sonucuna göre, ***EVLİ*** değişkeni ile ***YAŞ*** değişkeni arasında ilişki olduğu görüldüğü için sadece ***YAŞ*** değişkenine modelde yer verilmiştir. ***TOPLU TAŞIMA KULLANIMI*** değişkeni ile ***ÖZEL ARAÇ KULLANIMI*** değişkeni arasında korelasyon matrisine göre ilişki gözlense de korelasyon değerinin 0,5'ten çok büyük olmaması ve bu iki değişkenin modelde nasıl bir sonuç vereceğini görebilmek adına modelden çıkartılmamıştır. Ancak ayrı fayda fonksiyonları içerisinde değerlendirilmiştir. Geri kalan değişkenler arasında yüksek derecede bir ilişki gözlemlenmediği için diğer değişkenlerin modelde kullanılmasında sakınca görülmemiştir.

Korelasyon matrisinden elde edilen sonuçlar ışığında, İstanbul için ev-iş yolculuklarında CO_2 salınımına bağlı karbon ayak izi parametrelerinin araştırıldığı model kurulmuştur. İlk olarak elde edilen verilerle model performans testleri ve uyum iyiliği açısından test edilmiştir. Model parametrelerindeki değerlerin büyüklüğü ve işaretlerinde modelin iyi çalışmasını engelleyecek bir hata görülmemiştir. Referans modelin log-olabilirlik sonucu olan LL(M), -115,1933, tahmin edilen modelin log-olabilirlik değeri LL(**β**), -84,96081, Bölüm 3.4.4'teki yöntem ile karşılaştırıldığında -2LL değerinin χ^2 değerinden büyük olması nedeniyle modelin anlamlı olduğu kabul edilmiştir. Daha sonra uyum iyiliği değeri (ρ^2), 0,262 olarak tespit edilmiştir ve Şekil 3.2'de uyum iyiliği değeri olan sanal R^2 (ρ^2) değerinin, Domencich ve McFadden (1975) tarafından hazırlanan deneysel grafiğe göre yaklaşık 0,60 R^2 değerine denk geldiği için modelin veri seti ile kurulan ilişkiyi kabul edilebilir bir seviyede karşıladığı söylenebilir.

Kurulan model kapsamında, ***TOPLU TAŞIMA KULLANIMI***, ***ÖZEL ARAÇ KULLANIMI*** ve ***SERVİS KULLANIMI*** değişkenlerinden oluşan tür seçim kukla değişkenlerine referans olarak ev-iş yolculuklarını yürüyerek gerçekleştiren katılımcıları temsil eden ***YÜRÜME*** değişkeni seçilmiştir. Çizelge 4.7'de referans ve sonuç modelin t-istatistikleri ile katsayıları gösterilmiştir. T-istatistikleri için literatürde genel olarak %90 güven aralığı kullanılsa da bu çalışma kapsamında %80 güven aralığı tercih edilmiştir ve bu aralıkta yer alan değişkenler koyu harflerle ifade edilmiştir.

Çizelge 4.7 : Model tahmin sonuçları.

	Sonuç Model		Referans Model	
Düşük Düzey Karbon Ayak İzi (DDKAİ)				
Değişken	**Katsayı**	**t-istatistiği**	**Katsayı**	**t-istatistiği**
ÖZEL ARAÇ KULLANIMI	**-5,620**	**-2,804**		
SERVİS KULLANIMI	**-1,148**	**-1,877**	-	-
ERKEK	**1,232**	**1,481**	-	-
GELİR	-0,0002	-1,155	-	-
Sabit Terim	**4,006**	**1,381**	**1,142**	**3,851**
Orta Düzey Karbon Ayak İzi (ODKAİ)				
Değişken	**Katsayı**	**t-istatistiği**	**Katsayı**	**t-istatistiği**
YOLCULUK SÜRESİ	**0,020**	**2,396**	-	-
ERKEK	0,881	1,214	-	-
ÖZEL ARAÇ KULLANIMI	-1,354	-0,793	-	-
GELİR	**-0,0002**	**-1,318**	-	-
YAŞ	**-0,077**	**-1,404**	-	-
Sabit Terim	**4,430**	**1,726**	**1,299**	**4,46**
Yüksek Düzey Karbon Ayak İzi (YDKAİ)				
Değişken	**Katsayı**	**t-istatistiği**	**Katsayı**	**t-istatistiği**
TOPLU TAŞIMA KULLANIMI	-0,892	-0,559	-	-
YOLCULUK SÜRESİ	**0,030**	**2,048**	-	-
SERVİS KULLANIMI	-0,493	-0,272	-	-
YAŞ	-0,026	-0,311	-	-
GözlemSayısı:	117		117	
LL:	-84,96081		-115,1933	
-2LL:	-60,465			
ρ^2	0,262			

%80 ve daha yüksek güven aralıklarındaki değerler kalın harflerle yazılmıştır.

CO_2 salınımlarının eşdeğeri olarak kabul edilen karbon ayak izlerinin İstanbul içerisindeki ev-iş yolculuklarının kapsamında incelendiği fayda fonksiyonlarında yer alan ***ERKEK*** değişkeni, kadın bireyler için "0", erkek bireyler için "1" değerini alan kukla değişkendir. Düşük düzey karbon ayak izi (DDKAİ) ve orta düzey karbon ayak izi (ODKAİ) fonksiyonlarında yer alan ***ERKEK*** değişkeni %80 düzeyinde güven aralığı içerisinde yer almıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde erkek katılımcıların DDKAİ fonksiyonunda, YDKAİ'ye göre pozitif yönde etki yaptığı görülmektedir ve DDKAİ fonksiyonuna olan pozitif etki ODKAİ fonksiyonuna göre daha büyük düzeydedir. Uygulanan ankette konfor algısı olarak güvenlik kriterini işaretleyen katılımcıların %72'si kadın katılımcılar olup, bu katılımcıların sadece %22'si toplu taşıma kullanmaktadır. Bu durum düşünüldüğünde kadın katılımcılar için güvenlik algısının önemli olmasından dolayı toplu taşımayı tercih etmemeleri, erkek katılımcıların karbon ayak izi seviyelerinin kadın katılımcılara göre daha düşük düzeylerde kalmasını ve ***ERKEK*** değişkeninin DDKAİ ile ODKAİ seviyelerindeki fonksiyonlara pozitif etki yapmasını mantıklı kılmaktadır.

YAŞ, ev-iş yolculukları gerçekleştiren katılımcıların yaşını gösteren değişkendir. Orta düzey karbon ayak izi (ODKAİ) fonksiyonunda ve yüksek düzey karbon ayak izi (YDKAİ) fonksiyonunda, düşük düzey karbon ayak izi (DDKAİ) fonksiyonuna göre negatif bir etkiye sahiptir ve ***YAŞ*** değişkeni ODKAİ fonksiyonunda %80 güven aralığında yer almaktadır. ***YAŞ*** değişkeninin ODKAİ ve YDKAİ fonksiyonları içerisindeki durumu incelendiğinde ise değişkenin ODKAİ fonksiyonuna olan negatif etkisi YDKAİ fonksiyonuna göre daha büyüktür. İleri yaştaki yolcuların diğer katılımcılara göre daha yerleşik bir yaşam içerisinde yer almaları ve hayatlarında köklü değişikliklerin olmaması nedeniyle, ev-iş arası uzunlukların kısa tutulmaya özen gösterilmesi DDKAİ fonksiyonuna göre ODKAİ ve YDKAİ seviyesindeki negatif etkiyi doğrulamaktadır.

ÖZEL ARAÇ KULLANIMI değişkeni, ev-iş yolculuklarını özel otomobil ile gerçekleştiren kişileri temsil etmektedir. ***ÖZEL ARAÇ KULLANIMI*** değişkeni DDKAİ fonksiyonunda YDKAİ fonksiyonuna göre negatif etkiye sahiptir ve %80 güven aralığında yer almaktadır. DDKAİ ve ODKAİ fonksiyonlarında yer alan ***ÖZEL ARAÇ KULLANIMI*** değişkenin katsayıları bu iki fonksiyon açısından değerlendirildiğinde, ODKAİ fonksiyonuna göre, DDKAİ fonksiyonunda daha büyük bir negatif etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, özel aracıyla ulaşıma katılan

yolcuların, neden oldukları CO_2 salınımlarına bağlı karbon ayak izlerini tek başlarına yüklenmelerinden dolayı, beklenen bir sonuç olarak modelde yer almaktadır.

SERVİS KULLANIMI değişkeni, çalışma kapsamında kurulan modelde, ev-iş yolculuklarında kullanılan türün servis olduğunu ifade etmektedir. ***SERVİS KULLANIMI***, ODKAİ fonksiyonunda ve YDKAİ fonksiyonunda, ODKAİ fonksiyonuna göre negatif sonuç vermektedir ve DDKAİ fonksiyonunda %80 güven aralığında yer almaktadır. Yolculuklarda servis kullanımı, özel otomobile kıyasla toplu taşımaya olan yakınlığından dolayı olumlu bir etki oluştursa da, servislerde taşınan yolcuların genellikle kapıdan kapıya taşınması, diğer toplu taşıma türlerinden daha az yolcunun bir seferde taşınmasına imkan vermesi gibi nedenlerden dolayı ODKAİ fonksiyonuna göre YDKAİ ve DDKAİ fonksiyonlarında yer alan negatif etkiyi mantıklı kılmaktadır. Servis kullanımı, özel araç kullanımından daha faydalı bir yol olsa da, CO_2 salınımlarının düşürülmesi söz konusu olduğunda hat tasarımlarına gereken önemin gösterilmesi gerektiği söylenebilir.

GELİR, katılımcıların aylık gelirlerini gösteren değişkendir. DDKAİ fonksiyonunda ve ODKAİ fonksiyonunda, YDKAİ fonksiyonuna göre negatif bir etkiye sahiptir ve ODKAİ fonksiyonunda %80 güven aralığında yer almaktadır. Bu durumdan, gelir seviyesindeki artışın karbon ayak izlerindeki artışı da beraberinde getireceği yorumu yapılabilir. Bireylerin gelir seviyesindeki artışın, seçtikleri ulaşım aracı türünden daha yüksek seviyede konfor beklentisi içerisinde olmalarına ve bu bakımdan özel araç kullanımını tercih ettmelerine neden olacağından, DDKAİ ve ODKAİ fayda fonksiyonlarında yer alan bu negatif etkinin mantıklı bir sonuç olduğu söylenebilir.

YOLCULUK SÜRESİ değişkeni, ev-iş yolculukları gerçekleştirilirken tek yönde harcanan süreyi gösteren değişkendir. ODKAİ ve YDKAİ fayda fonksiyonları içerisinde yer alan ***YOLCULUK SÜRESİ*** değişkeni, fonksiyonlara DDKAİ fonksiyonuna göre pozitif yönde etki etmektedir ve %80 güven aralığı içerisinde yer almaktadır. Toplam yolculuk süresinin artması yakıt tüketimindeki artışa neden olacağından CO_2 salınımlarına bağlı olarak karbon ayak izlerinde de artışı berbaberinde getirmesi beklenen bir sonuç olarak fayda fonksiyonunda yer almaktadır.

TOPLU TAŞIMA KULLANIMI değişkeni, kurulan modelde ev-iş yolculuklarının gerçekleştirilmesi için seçilen metro, tramvay, Marmaray gibi raylı sistem araçları ile

metrobüs, otobüs ve vapur gibi toplu taşıma araçlarını ifade etmektedir. ***TOPLU TAŞIMA KULLANIMI*** değişkeni %80 güven aralığı içerisinde kalmadığı için değişken hakkındaki yorumlara şüphe ile yaklaşmak gerekmektedir. Ancak toplu taşıma kullanımının karbon ayak izi üzerindeki etkisi bilindik bir sonuç olduğu ve model içerisinde de karbon ayak izini düşürme yönünde etkisi görüldüğü için değişkenin yorumlanmasında sakınca görülmemiştir. ***TOPLU TAŞIMA KULLANIMI*** değişkeni YDKAİ fonksiyonuna diğer fonksiyonlara göre negatif yönde etki etmektedir. Yolculukların gerçekleştirilmesi için seçilen türün toplu taşıma kategorisinde olması, neden olunan karbon ayak izinin paylaşılması anlamına geldiği için YDKAİ fonskiyonuna negatif etki yapması modelin doğru çalıştığını göstermektedir. Bu durum incelendiğinde toplu taşıma kullanımına özendirici adımların karbon ayak izinin düşürülmesinde önemli olduğu söylenebilir.

Model sonuçları oluşturulurken çok sayıda deneme yapılmış, sonuç olarak model uyum testleri, parametre testleri ve t-istatistikleri bakımından korelasyon matrisi dikkate alınarak ulaşılan en iyi değerler Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Bu değerler ışığında modelin fayda fonksiyonlarının formülasyonu denklem 4.1, 4.2 ve 4.3'te gösterilmektedir.

$$U_{DDKAİ} = 4{,}006 - 5{,}620*\text{ÖZEL ARAÇ KULLANIMI} - 1{,}148*\text{SERVİS KULLANIMI} + 1{,}232*\text{ERKEK} - 0{,}0002*\text{GELİR} \quad \textbf{(4.1)}$$

$$U_{ODKAİ} = 4{,}430 + 0{,}020*\text{YOLCULUK SÜRESİ} + 0{,}881*\text{ERKEK} - 1{,}354*\text{ÖZEL ARAÇ KULLANIMI} - 0{,}0002*\text{GELİR} - 0{,}077*\text{YAŞ} \quad \textbf{(4.2)}$$

$$U_{YDKAİ} = -0{,}892*\text{TOPLU TAŞIMA KULLANIMI} + 0{,}030*\text{YOLCULUK SÜRESİ} - 0{,}493*\text{SERVİS KULLANIMI} - 0{,}026*\text{YAŞ} \quad \textbf{(4.3)}$$

Tüm değişkenler incelendiğinde özel araç kullanımı karbon ayak izini arttırıcı etkide bulunurken, toplu taşıma kullanımı karbon ayak izini azaltıcı etkide bulunmaktadır. Servis kullanımı incelendiğinde, hat tasarımının iyi bir şekilde yapıldığı durumlarda karbon ayak izini azaltıcı etkide bulunacağı söylenebilmektedir. Ev-iş yolculuklarında harcanan sürenin artması, berberinde yakıt tüketiminin artmasını getirdiğinden karbon ayak izinde bir artışa neden olmaktadır. Yaş durumu incelendiğinde, ilerleyen yaşlarda daha yerleşik bir yaşama geçmek, beraberinde ev-iş yolculuklarında katedilen

uzunlukların düşüşüne neden olacağından karbon ayak izinde azalışa neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca gelir artışının, daha yüksek konfor beklentisi nedeni ile toplu taşımadan uzaklaşmayı beraberinde getirdiği düşünüldüğünde karbon ayak izini yükselten bir etki olarak modelde yer alması mantıklı bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Tüm bunların yanı sıra yapılan hesaplamalar sonucunda erkek bireylerin kadın bireylere göre karbon salınımında daha düşük seviyelere neden olduğu gözükmektedir. Kadınlar için güvenlik faktörünün önemli olduğu düşünüldüğünde bireysel araç kullanımından kaynaklı bu durum mantıklı bir sonuç olarak düşünülmektedir.

Çizelge 4.8'de model sonuçlarının anket aracılığıyla elde edilen gerçek durumla CO_2 salınımlarının oluşturduğu karbon ayak izlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Model ile elde edilen veriler salınım oranlarını oldukça iyi yansıtmaktadır.

Çizelge 4.8 : Model sonuçlarının karşılaştırılması.

	Düşük Düzey Karbon Ayak İzi (DDKAİ)		**Orta Düzey Karbon Ayak İzi (ODKAİ)**		**Yüksek Düzey Karbon Ayak İzi (YDKAİ)**	
	Sayı	Pay (%)	Sayı	Pay (%)	Sayı	Pay (%)
Gerçek Durum	47	40,17	55	47,01	15	12,82
Model	47	40,17	55	47,01	15	12,82
Hata	0	0	0	0	0	0

4.5 Senaryo Uygulamaları

İstanbul kenti içerisinde ev-iş yolculuklarından kaynaklanan CO_2 salınımlarının sonucu olarak elde edilen karbon ayak izi değerlerinin incelendiği çalışma kapsamında, davranışlarını daha net ortaya konulması adına tüm yolcuların toplu taşıma kullandığı, tüm yolcuların özel araç kullandığı ve tüm yolcuların servis kullandığı durumların sisteme nasıl etki edeceği senaryo uygulamaları yardımıyla değerlendirilmiştir. Tüm yolcuların özel araç kullanarak ev-iş yolculuklarını gerçekleştirdikleri durum Senaryo 1, tüm yolcuların servis kullanarak ev-iş yolculuklarını gerçekleştirdikleri durum Senaryo 2 ve tüm yolcuların toplu taşıma kullanarak ev-iş yolculuklarını gerçekleştirdikleri durum Senaryo 3 olarak değerlendirilmiştir.

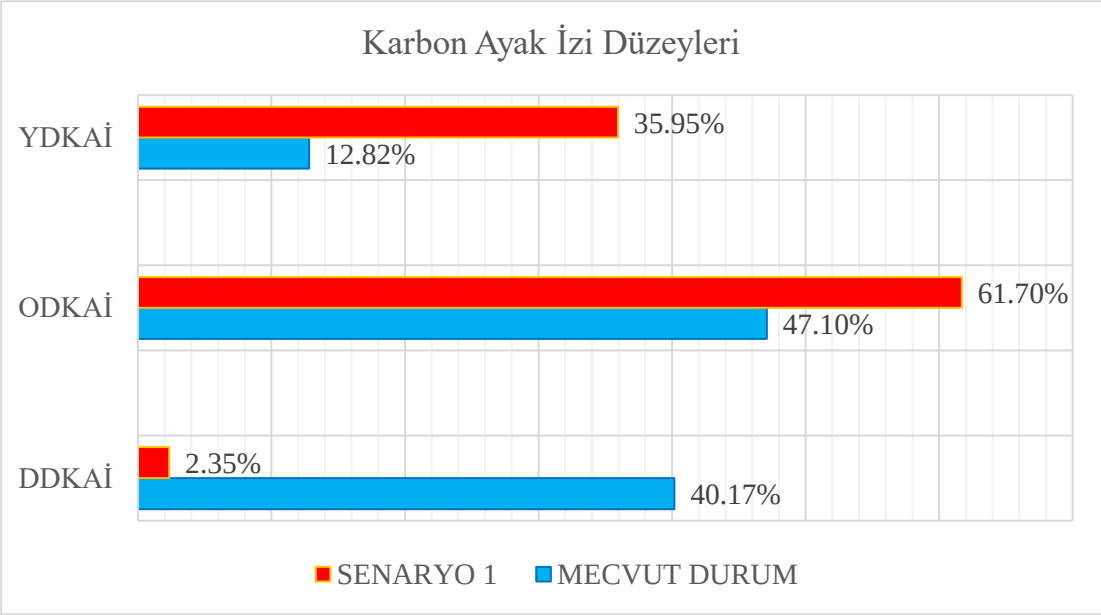
Gerçekleştirilen senaryo uygulamalarına ait hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde özel araç kullanımının arttığı durumlarda CO_2 salınımına bağlı olan karbon ayak izinde bir artış olacağı net bir şekilde görülmektedir. Toplu taşıma kullanımında ise ortaya çıkan CO_2 salınım yükünün aracın içinde yolculuk etmekte olan tüm yolcular arasında paylaşılması nedeni ile kişi başına düşen salınımların düşük çıktığı görülmektedir. Servis kullanımında ise özel araç kullanımına göre karbon ayak izlerinde düşüş elde edilse de, karbon ayak izini düşürmede en etikili yol toplu taşıma kullanımı olarak gözükmektedir.

Çizelge 4.9 : Senaryo uygulamaları sonucundaki değişimler.

	DDKAİ			**ODKAİ**			**YDKAİ**		
	Sayı	Pay (%)	Değişim (%)	Sayı	Pay (%)	Değişim (%)	Sayı	Pay (%)	Değişim (%)
Mevcut Durum	47	40,17	-	55	47,01	-	15	12,82	-
SENARYO 1: Tüm yolcuların özel araç kullandığı durum	3	2,35	-37,82	72	61,70	+14,69	42	35,95	+23.13
SENARYO 2: Tüm yolcuların servis kullandığı durum	46	38,89	-1,17	64	55,20	+8,19	7	5,90	-6,92
SENARYO 3: Tüm yolcuların toplu taşıma kullandığı durum	75	64,51	+24,34	39	33,00	-14,01	3	2,49	-10,33

Şekil 4.1'de İstanbul ev-iş yolculuklarında neden olunan CO_2 salınımına bağlı karbon ayak izi değerlerinin mevcut durumu ile senaryo 1'in karşılaştırılması verilmiştir. Beklenildiği gibi özel araç kullanımındaki artış CO_2 salınımlarındaki artışı da beraberinde getirmektedir. Mevcut durumda DDKAİ seviyesi %40'lık bir paya sahipken, tüm katılımcıların özel otomobillerini kullanmayı tercih ettikleri durumda bu pay %2'ye düşerken, mevcut durumda %47 olan ODKAİ seviyesi senaryo 1 uygulaması altında %62'ye yükselmiştir. YDKAİ seviyesinde ise uygulanan senaryo

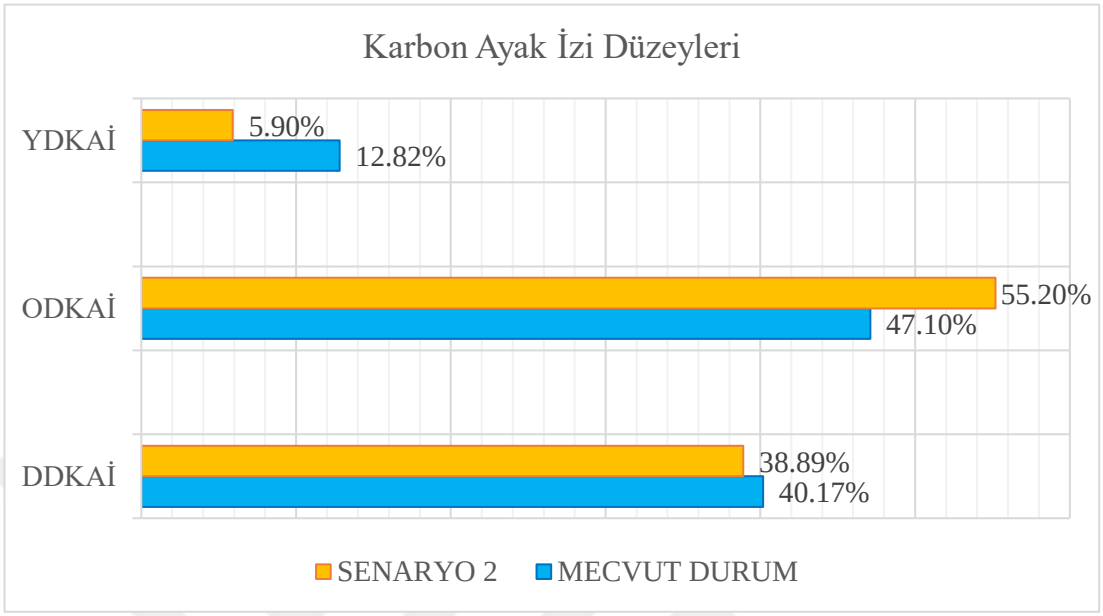
sonucunda %36'ya yükselmiştir. Durum incelendiğinde katılımcıların ev-iş yolculukları sırasında katettikleri uzunlukların da önemli olduğu bu sonuçlarda, özel otomobil kullanımı ile neden olunan CO_2 salınımları ve dolayısıyla karbon ayak izine olan katkıda belirgin bir ilişkinin mevcut olduğu görülmektedir ve özel araç kullanımı karbon ayak izinin artışında önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 4.1 : Mevcut durum – Senaryo 1 karşılaştırılması.

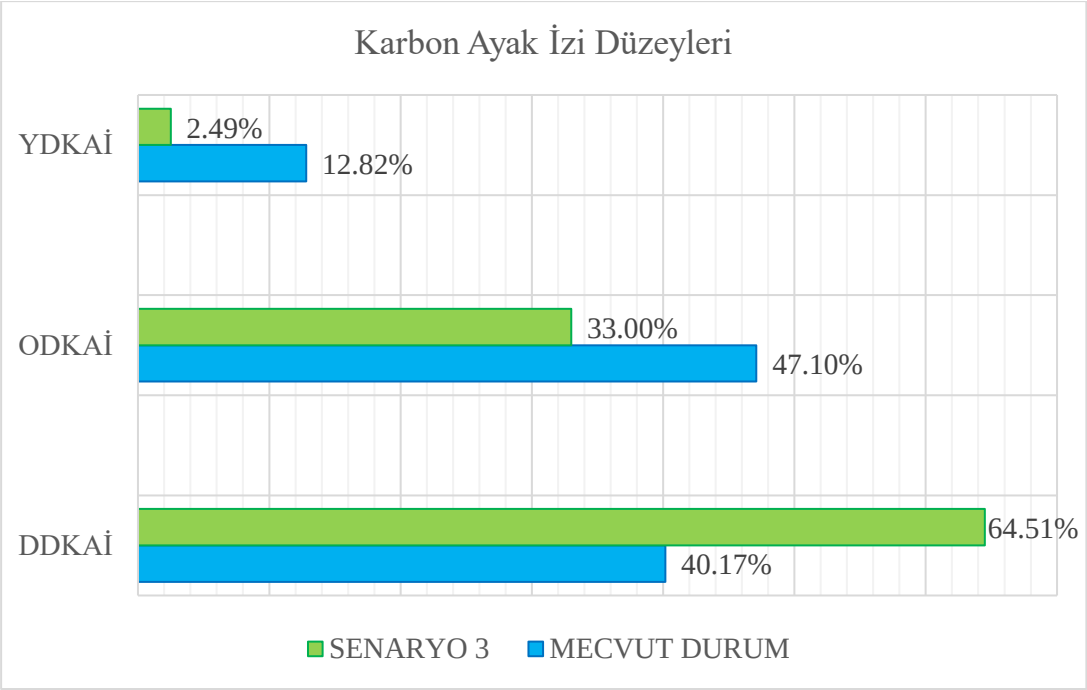
Şekil 4.2'de İstanbul ev-iş yolculuklarında neden olunan CO_2 salınımına bağlı karbon ayak izi değerlerinin mevcut durumu ile senaryo 2'nin karşılaştırılması verilmiştir. Mevcut durumda YDKAİ seviyesi %13'lük bir paya sahipken, tüm katılımcıların servis kullandığı bir senaryoda bu pay %6'ya, mevcut durumda %40 olan DDKAİ seviyesi ise senaryo 2 uygulaması altında %39'a düşmüştür. ODKAİ seviyesinde mevcut durumda %47 olan pay ise, uygulanan senaryo sonucunda %55'e yükselmiştir. Durum incelendiğinde, katılımcıların ev-iş yolculukları sırasında servis kullanması, YDKAİ seviyesinde %7'lik bir düşüş oluştursa da DDKAİ seviyesinde de %1'lik bir düşüşü beraberinde getirmektedir ve ODKAİ seviyesinde ise %8'lik bir artışa neden olmaktadır. Servis kullanımı YDKAİ seviyesini düşürmede özel araç kullanımına göre etkili bir sonuç verse de DDKAİ seviyesinde etkili bir oynayabilmesi için bir takım iyileştirmelerin yapılması söz konusu olabilir. Bu bakımdan senaryo 2 uygulaması göz önüne alındığında servis güzergahlarının iyi seçilmesinin ve hat tasarımının doğal çevrenin dikkate alındığı koşullarda yapılmasının gerekliliği ön plana çıkmaktadır.

Tüm bunlar düşünüldüğünde servis kullanımının, özenli bir çalışma altında, karbon ayak izi seviyelerini düşürmede etkili bir rol oynayabileceği söylenebilmektedir.



Şekil 4.2 : Mevcut durum – Senaryo 2 karşılaştırılması.

Şekil 4.3'te İstanbul ev-iş yolculuklarında neden olunan CO_2 salınımına bağlı karbon ayak izi değerlerinin mevcut durumu ile senaryo 3'ün karşılaştırılması verilmiştir. Toplu taşıma kullanımınındaki artışın CO_2 salınımlarındaki düşüşü beraberinde getirmesi beklenen bir sonuç olarak gözlemlenmektedir. Daha detaylı incelendiğinde, DDKAİ seviyesi tüm katılımcıların toplu taşıma kullandığı bir senaryoda %40 seviyelerinden %65 seviyesine çıkmıştır. Mevcut durumda %13 olan YDAKİ seviyesinde ise %10'luk bir düşüş gözlenerek %2'ye düşmüştür. ODKAİ seviyesindeki durum incelendiğinde de mevcut durumda %47'lik pay, senaryo 3'te %33'e düşmüştür. YDKAİ seviyesinin düşmesi ve DDKAİ seviyesenin hem tüm katılımcıların özel otomobilleri ile yolculuklarını gerçekleştirdikleri senaryo 1 uygulamasına göre hem de tüm katılımcıların servis ile ev-iş yolculuklarını gerçekleştirdikleri senaryo 2 uygulamasına göre daha büyük bir paya sahip olması nedeniyle toplu taşıma kullanımının tercih edilmesi CO_2 salınımlarına bağlı karbon ayak izinin düşürülmesinde başırılı sonuçlara sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.3 : Mevcut durum – Senaryo 3 karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde küresel ısınmanın etkilerinin gözle görülebilir bir hale gelmesi ve ciddi sonuçların ortaya çıkmasında önemli etkenlerden biri insan faaliyetleridir. Bu faaliyetler sonucunda oluşan, insanların çevre üzerindeki baskın hakimiyletleri, fosil yakıt tüketiminden sanayi faaliyetlerine, üretim-tüketim davranışlarından günlük hayattaki rutinlerine kadar gibi birçok alanda net bir şekilde görülebilmektedir. Çevreye duyarsız olarak gerçekleştirilen her faaliyet, küresel ısınma sürecinin önlenemez bir hale gelmesine neden olmanın yanı sıra insan sağlığının doğrudan etkilenmesine yol açmaktadır. Çevreye verilen zararların başında, çoğu kişi tarafından kolaylıkla fark edilebilecek olan ve hemen hemen her faaliyetin sonucu olarak ortaya çıkan zararlı gaz salınımları gelmektedir. Bu konuda önlem alınmadığı takdirde, kentlerde yaşayıp hava kirliliği sorununa maruz kalan kişi sayısında artış gerçekleşmesi beklenen bir sonuç olacaktır. Bahsedilen bu zararlı gaz salınımları içerisinde en büyük oranı, %76'lık payla CO_2 salınımları tutmaktadır (IPCC, 2014). Ulaştırma sektörünün Türkiye'deki durumu bu konu altında incelendiğinde ise 2017 yılında ulaştırmadan kaynaklı 83 Mt CO_2 salınımı gerçekleşmiştir (IEA, 2020b). Tüm bunlar düşünüldüğünde, herkes tarafından kolay fark edilebilir olması ve sera gazları içerisinde büyük bir oranı kaplaması nedeniyle çalışmanın konusu olarak karbon ayak izinin ulaştırma sektörü içerisindeki yerinin araştırılması seçilmiştir. Literatürde, CO_2 salınımlarının emilimi için gerekli küresel hektar ya da salınan sera gazlarının CO_2 eşleniği ifadesi gibi farklı şekillerde karşılık bulan karbon ayak izi kavramı, çalışma kapsamında neden olunan CO_2 miktarı olarak değerlendirilmiştir.

Anket sonucunda katılımcı yanıtlarından elde edilen uzunluk bilgileri, IPCC Kılavuzunda yer alan Tier-1 yöntemi ışığında CO_2 salınımlarının hesaplanması için kullanılmış ve sonuç olarak İstanbul'da ev-iş yolculukları gerçekleştiren 117 katılımcılının bir aylık yolculuğu sonucunda yaklaşık 10 ton CO_2 salınımına neden oldukları ortaya konulmuştur. Bu da yılda yaklaşık 120 ton CO_2 salınımına denk gelmektedir. Türkiye'de ulaştırma sektöründen kaynaklı CO_2 salınımları 2017 yılında IEA (2020b) verilerine göre 83 Mt olarak kaydedildiği değer ile kıyaslığında, TÜİK (2019) verilerine göre 6788000 kayıtlı çalışan bulunan İstanbul için bu değer kaba bir

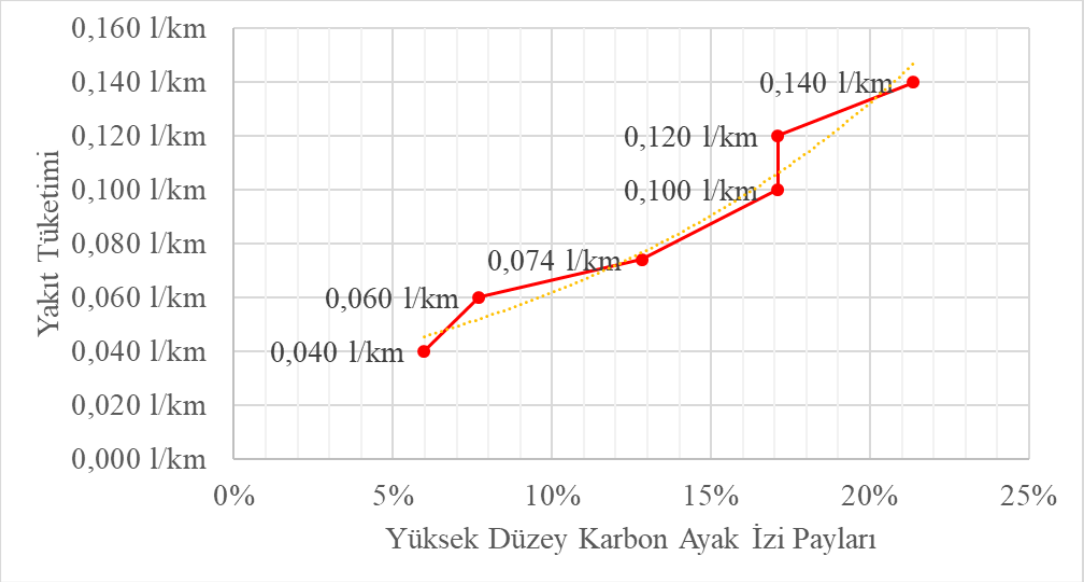
hesaplama sonucunda yıllık 7 Mt CO_2'e ulaşacaktır. Buradan İstanbul'daki ev-iş yolculuklarından kaynaklı yıllık CO_2 salınımlarının tüm Türkiye'deki ulaşım kaynaklı salınımların yaklaşık %8'ine karşılık geldiği söylenebilir.

Her bir katılımcılının bireysel bazda hesaplanan CO_2 salınımlarından kaynaklı karbon ayak izi değerlerinin standart sapma ve ortalamaları kullanılarak düşük düzey (DDKAİ), orta düzey (ODKAİ) ve yüksek düzey (YDKAİ) olarak üç sınıf belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda katılımcıların salınım değerleri %40'lık bir payla DDKAİ, %47'lik payla ODKAİ ve %13'lük bir payla YDKAİ içerisinde yer almıştır. Düşük, orta ve yüksek düzey karbon ayak izlerinin kullanıcı profilleri, seçilen ulaşım türü ve gelir gibi bir çok etmen ile değerlendirilmesi amacıyla çok terimli lojit model kullanılmıştır. Model ve anket sonuçları birlikte değerlendirildiğinde özel araç kullanımı karbon ayak izini arttırıcı etkide bulunurken, toplu taşıma kullanımı karbon ayak izini azaltıcı etkide bulunmaktadır. Ev-iş yolculukları sırasında servis kullanımının ise karbon ayak izini azaltıcı etkisini desteklemek adına hat tasarımının iyi bir şekilde düzenlenmesinin gerekliliği öne çıkmaktadır. Yolculuklarda harcanan süre beraberinde artan yakıt tüketim miktarlarını getireceği için karbon ayak izinde bir artışa neden olmaktadır. Katılımcıların yaşları incelendiğinde ise anket verilerine göre ilerleyen yaşlarda evlilik oranının artması ve daha yerleşik bir yaşamda hayatlarını devam ettirmeleri, ev-iş yolculuklarında katedilen uzunlukların azalışını beraberinde getirdiği için karbon ayak izinde bir düşüşe neden olmaktadır. Tüm bunların yanı sıra yapılan hesaplamalar sonucunda erkek katılımcıların, kadın katılımcılara göre daha düşük seviyelerde karbon ayak izine neden oldukları görülmektedir. Kadınlar için güvenlik faktörünün önemli olduğu düşünüldüğünde bireysel araç kullanımından kaynaklı bu durumun gerçekçi bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Kurulan modelin sonucunda gelir seviyesi arttıkça neden olunan karbon ayak izi seviyesinde de artış gözlenmektedir. Bu durumun, bireylerin gelir seviyesindeki artışın seçtikleri ulaşım aracı türünden daha yüksek seviyede konfor beklentisi içerisinde olmalarına ve bu bakımdan bireylerin özel araç kullanımını tercih ettmelerine neden olduğu söylenebilir. Toplu taşıma kullanımının, model sonuçlarına göre güven aralığı içerisinde yer almadığından dikkatli bir şekilde yorumlanması gerekse de, beklenildiği gibi karbon ayak izini düşürmede etkili bir rol oynadığı söylenebilmektedir.

Son olarak kurulan modelin ardından, seçilen ulaşım türlerinin salınımlar üzerindeki etkisinin daha net görülebilmesi adına, tüm katılımcıların özel araçlarıyla (Senaryo 1), servisle (Senaryo 2) ve toplu taşıma araçlarıyla (Senaryo 3) ev-iş yolculuklarını gerçekleştirdikleri durumlarda nasıl bir değişim olacağı incelenmiştir. Mevcut durumda %40 olan DDKAİ, senaryo 1 uygulamasının sonucunda %2'ye düşmüş; %47 olan ODKAİ, %62'ye yükselmiş ve %13 olan YDKAİ %36'ya yükselmiştir. Katedilen uzunlukların etkili olduğu bu sonuçlar net bir şekilde göstermektedir ki özel araç kullanımı salınım oranlarında belirgin bir artışa neden olmaktadır. Senaryo 2 sonucunda DDKAİ, %39'a yükselmiş, ODKAİ %55'e yükselmiş ve YDKAİ %6'ya düşmüştür. Buradan hareketle servis kullanımının özel araç kullanımına göre daha çevre dostu bir kullanım olduğu söylenebilmektedir. YDKAİ seviyesinin servis kullanımında %7'lik bir düşüş elde edilmesi, ODKAİ seviyesinin %8'lik bir artış göstermesi ve DDKAİ seviyesinin %1 azalması incelendiğinde elde edilen sonuçların özel araç kullanımına göre çevreye duyarlı bir çözüm gibi gözükse de burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta servis hatlarının tasarımının çok iyi bir şekilde yapılması gerektiğidir. Son olarak tüm yolcuların toplu taşımayı kullandığı senaryo 3'te DDKAİ %65'e yükselirken, ODKAİ %33'e düşmüştür ve YDKAİ seviyesi %10'luk azalış göstermiştir. Toplu taşıma araçlarının yolcu kapasiteleri düşünüldüğünde, salınım yüklerinin kullanıcılar arasında paylaşılmasının karbon ayak izlerinin düşürülmesinde etkili bir yöntem olduğu söylenebilmektedir.

Anket verileri, kurulan model ve senaryolar incelendiğinde CO_2 salınımlarının düşürülmesi için toplu taşıma kullanımın ön plana çıkartılması gerektiği açıktır. Bu kapsamda anket soruları içerisinde yer alan ve katılımcıların konfor tanımlarını incelemek doğru olacaktır. Özel araç kullanıcıları büyük çoğunlukla çok konforlu ve konforlu seçeneklerini işaretlerken, demiryolu ve denizyolu araçları kullanıcıları ağırlıklı olarak konforlu ve az konforlu seçeneklerini işaretlemişlerdir. Diğer karayolu toplu taşıma kullanıcıları ise genel olarak konfor seviylerini rahatsız ve çok rahatsız seçenekleri arasında değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmelerin daha net bir şekilde ortaya konulabilmesi için, kullanıcılara gerçekleştirdikleri konfor seçimlerindeki değerlendirmelerini hangi kritere göre belirledikleri sorulmuştur. Soruya cevap olarak katılımcılar en çok "Ulaşım aracını kullanan kişi sayısının az olması" seçeneğini işaretlerken, arkasından "Temizlik" ve "Güvenlik" kritlerleri büyük bir oran kaplamaktadır. Bu durumda özellikle lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarındaki

konfor seviyesinin geliştirilmesinin gerekliliği öne çıkmaktadır.Çalışmanın geliştirilmesi için katılımcıların katettikleri uzunlukların belirlenilmesinde yeni sistemler geliştirilebilir. Diğer Tier yöntemleri için gerekli verileri elde edilebilirse gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilecektir. Ancak önceki araştırmaların gösterdiği gibi, çalışma bu haliyle bile salınım sonuçlarını oldukça iyi ifade edebilmektedir. Önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi, çalışma kapsamında çeşitli kaynaklardan seçilen yakıt tüketim verileri kullanılmıştır. Bu verilerden, özel araç yakıt tüketim verisi olarak kabul edilen 0,074 l/km yerine yakıt tüketim değerlerinin 0,04, 0,06, 0,1, 0,12 ve 0,14 l/km olduğu durumlarda YDKAİ değerlerinde nasıl bir değişime neden olacağı şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde, beklenen bir sonuç olarak yakıt tüketim değerinin artması veya azalması YDKAİ durumunda artış veya azalışı da beraberinde getirmektedir.



Şekil 5.1 : Özel araç yakıt tüketim verisi değişikliğinin YDKAİ paylarına etkisi.

Şekil 5.1 incelendiğinde yakıt tüketimi açısından ekonomik taşıtları temsil etmesi için hesaplanan 0,04 l/km, YDKAİ payının %5 düşmesine neden olmaktadır. Buna karşılık yakıt tüketim verisi 0,14 l/km olduğunda aynı oran %20'yi aşmaktadır. Oransal olarak bakıldığında, yakıt tüketimindeki artışın 3 katına çıktığı bir durumda, YDKAİ payında

da yaklaşık 3 katlık bir artışa neden olmaktadır. Buradan yakıt tüketim değerlerinin sonuçları önemli oranda etkilediği görülmektedir.

Yapılan çalışma kapsamında veriler incelendiğinde ulaşım sektöründen kaynaklanan CO_2 salınımlarını azaltmak için özel araç kullanımını kısıtlayıcı önlemlerin alınması ve toplu taşıma kullanımına yönlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Anket sonuçlarına göre, kullanıcı görüşlerinin toplu taşıma araçlarının temizlik açısından iyi durumda ve güvenli bir yolculuk sunabilecek durumda olduğu yönünde değişmesi, kişileri toplu taşıma kullanımına yönlendirecektir. Toplu taşıma seferlerinin sıklaştırılması ve yeterli kapasitelere ulaşılması ile toplu taşıma araçlarındaki doluluk oranları düzenlenmelidir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, toplu taşıma araçlarının düşük dolulukla çalışmasının, karbon ayak izinin taşınan yolcular arasında paylaşılacağı düşünüldüğünde, olumsuz bir duruma yol açabilmesidir. Bu bakımdan, kamusal bir hizmet olan kapsayıcı toplu taşıma olanakları ortaya konulurken, karbon ayak izini düşük tutacak düzenlenemeler ile desteklenmesi gerekmektedir. Anket katılımcılarının cevaplarına göre bu önemli konular hakkında düzenlenemelerin yapılması kullanıcılar üzerindeki toplu taşımanın konforsuz olan algısını düzeltmek için gerekli olduğu söylenebilir. Bunların dışında servis kullanımı, CO_2 salınımlarını azaltma potansiyeli bakımından umut vadedici sonuçlar elde edilmesini sağladığı düşünülmektedir. Ancak servislerin hat tasarımlarının trafik probleminin göz önüne alınarak, çevreye duyarlı bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu konuda, birbirlerine yakın konumlarda bulunan şirketlerin çalışanlarının ortak servisleri kullanmalarının sağlanması ve ortak kullanacak servislerin hat tasarımları yapılırken, bu hatların trafik yoğunluluğunun fazla olduğu güzergahlardan kaçınacak şekilde düzenlenmesi bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

Son olarak, ülkemizde de etkileri mart ayından itibaren daha fazla görülmeye başlayan Covid-19 salgınına karşı alınan önlemler ve günlük hayatın bu önlemlere yönelik düzenlenmesi kapsamında, ulaştırma sektöründe de birçok yeni uygulamanın hayata geçirilmesi söz konusudur. Ancak, bu uygulamaların pek çoğu (örneğin, sosyal uzaklık vb.), özellikle toplu taşıma sistemlerinin verimli bir şekilde işletilmesi konusunda zorlukları da beraberinde getirecektir. Tüm dünyada ve ülkemizde, başta bilim dünyas ve karar vericiler olmak üzere pek çok paydaş, ulaştırma hizmetlerinin geleceği konusundaki çalışmalarını sürdürmektedir.

KAYNAKLAR

Akalın, K. B. (2016). Tramvay Kaza Şiddetine Etki Eden Faktörlerin Çok Terimli Lojit Model Yöntemi ileAraştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Aldrich, J. (1997). R.A. Fisher and the Making of Maximum Likelihood 1912 – 1922. *Statistical Science*, 12 (3), 162-176.

Algedik, Ö., Bayar, H. İ., Biçer, B. E., Çelik, E., Keleş, M., Kocaman, H., ve Talu, N. (2016). TBMM'nin İklim Değişikliği Politikasındaki Rolü – Politikacılar için Özet. (pp. 19), İngiltere Büyükelçiliği, Ankara.

Altay, A. (2008). A Rating Approach to the Solutions of Istanbul. 2008 IEEE International Engineering Management Conference, Estoril, Portugal.

Arı, A., & Zeren, F. (2011). CO2 Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi. *Yönetim ve Ekonomi*, 18 (2), 37-47.

Artan, S., Hayaloğlu, P., ve Seyhan, B. (2015). Türkiye'de Çevre Kirliliği, Dışa Açıklık ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. *Yöntem ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi,* 13 (1), 307-325.

Ashford, N., ve Benchemam, M. (1988). Passengers' Choice of Airport: An Application of the Multinomial Logit Model. *Transportation Research Record*. 1147, pp. 1-5.

Ayaz, R., Nakir, İ., Durusu, A., Akça, H., ve Tanrıöven M. (2011). A Comparison of Metrobus System and Trolleybus System Considering Energy Cost and CO2 Emission: A Case Study for Istanbul, 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies, İstanbul, Türkiye

Başçuhadar, M. K. (2014). Türkiye Şehirlerarası Karayolu Taşıt İşletim ve Birim Taşıma Maliyetleri. (Yüksek Lisans Tezi) Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü

Bayazıt Hayta, A. (2006). Çevre Kirliliğinin Önlenmesinde Ailenin Yeri ve Önemi, *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi,* 7 (2), 359-376.

Bayram, H., Dörtbudak, Z., Fişekçi, F. E., Kargın, M., ve Bülbül, B. (2006). Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri, Dünyada, Ülkemizde ve Bölgemizde Hava Kirliliği Sorunu. *Dicle Tıp Dergisi,* 33 (2), 105-112.

Ben-Akiva, M. ve Lerman, S. R. (1985). Discrete Choice Analysis: Theory and Applications to Travel Demand, The MIT Press, Massachusetts.

Bhandari, K., Advani, M., Parida, P., ve Gangopadhyay, S. (2014). Consideration of access and egress trips in carbon footprint estimation of public transport trips: case study of Delhi. *Journal of Cleaner Production*, 85, 234 – 240.

Bhoyar, S. P., Dusad, S., Shrivastava, R., Mishra, S., Gupta, N., ve Rao, A. B. (2014). Understanding the impact of lifestyle on individual carbon-footprint, *Procedia - Social and Behavioral Science,* 133 (2014) 47 – 60

Bıyık, Y. ve Civelekoğlu G. (2018). Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2 (2), 157-166.

Brundtland, G. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations General Assembly document A/42/427.

Cheah, L. W., Bandivadekar, A. P., Bodek, K. M., Kasseris, E. P., ve Heywood, J. B. (2008). The Trade-off between Automobile Acceleration Performance, Weight, and Fuel Consumption. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 1 (1), 771-777.

Chowdhury, G. (2010). Carbon Footprint of the Knowledge Sector: What's the Future?. Centre for Information and Knowledge Management, University of Technology, *Journal of Documentation*. 66 (6), 934-946. Sydney, Avustralya.

Çabuk, B. ve Karacaoğlu, C. Ö. L. (2003). Üniversite Öğrencilerinin Çevre Duyarlılıklarının İncelenmesi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 36 (1-2), 189-198.

Çınar, S. ve Yılmazer, M. (2016). Yeşil Teknoloji ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. Türkiye Ekonomi Kurumu Uluslararası Ekonomi Konferansı. UEK-TEK 2016, Bodrum.

Dargay, J. M. ve Vythoulkas, P. C. (1999). Estimation of a Dynamic Car Ownership Model: A Pseudo-Panel Approach. Journal of Transport Economics and Policy, 33 (3), 287-301.

Domencich, T. A. ve McFadden, D. (1975). Urban travel demand: A behavioral analysis, *North-Holland Publishing Company.*

EFDB. (t.y.). Emission Factor Database. (IPCC/WMO/UNEP). Erişim tarihi: Mayıs 3, 2020. Erişim adresi: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?reset=

EPA. (2009). Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gasses Under Section 202(a) of the Clean Air Act: EPA's Response to Public Comments, Volume 4: Validity of Future Projections. erişim tarihi Mayıs 3, 2020, erişim adresi https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/rtc_volume_4.pdf

EPA. (2016). Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature. Erişim Tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim Adresi https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-surface-temperature

EPA. (2018). Emission Factors for Green Gas Inventories. erişim tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim Adresi https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/emission-factors_mar_2018_0.pdf

EPA. (2019). Global Greenhouse Gas Emissions Data. Erişim Tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim Adresi https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data

Ergin, M. E. (2015). İstanbul Toplu Taşıma Sistem Algısının Mevcut ve Sanal Tercihler Çerçevesinde Lojit Model İle İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitütüsü

Eroğlu, M. (2017). Çevre Koruma Ders Notu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü

Fisher, R. A. (1997). On the Mathematical Foundations of Theoretical Statistics. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character 222, 309–368

Global Footprint Network. (2007). Glossary. Erişim tarihi Mayıs 3, 2020. Erişim adresi https://www.footprintnetwork.org/resources/glossary/

Global Footprint Network. (2019a). Ecological Footprint vs Biocapacity (World – per capita). Erişim tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim adresi http://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.173438947.1736694258.1587200906-534149880.1587200906#/countryTrends?cn=5001&type=BCpc,EFCpc

Global Footprint Network. (2019b). Ecological Footprint vs Biocapacity (Turkey – per capita). Erişim tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim adresi http://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.172848483.1736694258.1587200906-534149880.1587200906#/

Global Footprint Network. (2019c). Analyzed by Land Types (Turkey). Erişim tarihi Mayıs 3, 2020. Erişim adresi http://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.172848483.1736694258.1587200906-534149880.1587200906#/analyzeTrends?type=EFCtot&cn=223

Global Footprint Network. (2019 updated 2017). How Ecological Footprint accounting helps us recognize that engaging in meaningful climate action is critical for our own success. Erişim tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim adresi https://www.footprintnetwork.org/2017/11/09/ecological-footprint-climate-change/

Global Footprint Network. (t.y.). Climate Change. Erişim tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim adresi https://www.footprintnetwork.org/our-work/climate-change/

Göktaş, S. ve Işıklı. B. (2016). Çevre Sağlığı Sözleşmeleri ve Türkiye. *Türk Dünyası Uygulama Ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*. 1(1),38-45.

Gürbüz, H., Çakmak, M., ve Derman, M. (2013). Biyoloji Öğretmen Adaylarının Sürdürülebilir Çevreye Yönelik Tutumları. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6 (1), 144-149.

Hausman, J. ve McFadden D. (1984). Specification Test for the Multinomial Logit Model. *Econometrica*, 52 (5), 1219-1240.

IEA. (2020a). CO_2 Emissions Per Capita. Erişim tarihi Mayıs 3, 2020. Erişim adresi https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20per%20capita

IEA. (2020b). CO_2 Emissions by Energy Source in Turkey. Erişim tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim adresi https://www.iea.org/data-and-statistics?country=TURKEY&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source

IPCC. (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volumes 2 and 3. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/ OECD/IEA, Paris, France.

IPCC. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J. T., & Ding, Y., & Griggs, D. J., & Noguer, N., & van der Linden P.J., & Xiaosu, D., & Maskell, K., & Johnson, C.A. (edited by). 881 pp. Cambridge, United Kingdom. Erişim tarihi: Mayıs 3, 2020. Erişim adresi: https://www.ipcc.ch/site/assets/ uploads/2018/07/WG1_TAR_FM.pdf

IPCC. (2006a). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2: Chapter 2 – Mobile Consumption. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC. (2006b). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2: Chapter 1 – Introduction. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC. (2007) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Erişim tarihi: Mayıs 3, 2020. Erişim adresi: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/ 2018/02/ar4-wg1-spm-1.pdf

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. . Erişim tarihi Mayıs 3, 2020, Erişim adresi https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.p df

IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 1-Overview. Calvo Buendia, E., & Tanabe, K., & Kranjc, A., & Baasansuren, J., & Fukuda, M., & Ngarzie S., & Osako, A., & Pyrozhenko, Y., & Shermanau, P. & Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

İETT ve İBB. (2013). Kamu İşletmelerinde Değişim Yönetimi 212 Proje. İETT Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı. İstanbul. Erişim tarihi: Mayıs 3, 2020, Erişim adresi: https://www.iett.istanbul/webimage/file/bultenler/ 212.pdf

Jardine C. N. (2009). Calculation the Carbon Dioxide Emission of Fligths. (Final Report). Oxford University, Environmental Change Institute. University of Oxford.

Kahraman, E. (2010). Kent İçi Trafiğinde Minibüs ve İstanbul Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi.

Kaynak, Z., Kaynak, S., ve Yaylalı, M. (2012). Sağlık Hizmetleri Talebi: Erzurum İlinde Bir Araştırma. *Ege Akademik Bakış*. 12 (4) 563-573.

Kızılaslan, H. ve Kızılaslan, N. (2005). Çevre Konularında Kırsal Halkın Bilinç Düzeyi ve Davranışları (Tokat İli Artova İlçesi Örneği). *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 1 (1), 67-80.

Kiehl, J. T. ve Trenberth, K.E. (1997). Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bullet of the American Meteorological Society, 78*, 197-208. Boulder, Colorado.

Koppelman, F. S. ve Bhat, C. (2006). A Self- Instructing Course in Mode Choice Modeling: Multinomial and Nested Logit Models, U.S. Department of Transport, Washington, D.C.

Kovat, R. S., Haines, A., Stanwell-Smith, R., Martens, P., ve Bettina, M. (1999). Climate Change and Human Health in Europe. *BMJ: British Medical Journal*, 7199 (318), 1682-1685.

Krstanoski, N. (2006). Defining the Policy for Reduction of CO_2 Emissions from the Road Transport Sector in Republic of Macedonia, erişim tarihi Mayıs 3, 2020, erişim adresi https://www.infraday.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/veranstaltungen/infraday/conference_2006/papers_presentations/paper---krstanoski.pdf

Kumar, P., Barua, P. B., ve Gaindhar, J. L. (2000). Qualitiy Optimization (Multi-Characteristics) Through Taguchi's Technique and Utility Concept. *Quality and Reliablitiy Engineering International*, 16, 475-485.

Lancaster, K. J. (1966). A new Approach to Consumer Theory. *Journal of Political Economy*, 74 (2), 132-157.

Lesage, V., Hammill, M. O., ve Kovacs, K. M. (2004). Long-distance Movements of Harbour Seals (Phoca Vitulina) from a Seasonally Ice-covered area, the St. Lawrance River Estuary, *Canada. Canadian Journal of Zoology*, 82 (7), 1070-1081.

Loyarte-Lopez, E., Barral, M., ve Morla, C. J. (2020). Methodology for Carbon Footprint Calculation Towards Sustainable Innovation in Intangible Assets. *Sustainability 2020*. 12 (1629), 1-14.

Luce, R. D. (1959). Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis. New York: Wiley.

Manzoni, V., Maniloff, D., Kloeckl, K., ve Ratti, C. (2010). Transportation mode identification and real-time CO2 emission estimation using smartphones. Technical Report.

McFadden, D. (1974). The Measurement of Urban Travel Demand. *Journal of Public Economics*, 3 (1974), 303-328. Department of Economics, University of California, Berkeley, USA.

NOAA. (2016). Extended reconstructed sea surface temperature (ERSST.v4) National Centers for Environmental Information. erişim tarihi Mayıs 3, 2020. erişim adresi https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/sea-surface-temp_fig-1.csv

Ortuzar, J. D. ve Willumsen, L. G. (2011). Modelling Transport – Fourth Edition. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.

Our World in Data. (2019). CO2 Emissions per Capita, 1800 – 2017. Erişim Tarihi: Mayıs 3, 2020. Erişim Adresi: https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-per-capita?tab=chart&country=USA+OWID_WRL+TUR , 2019 OurWorld in Data

Önden, İ. ve Kuşçi M. (2010). Yolcu Otobüsü İç Alan Tasarımı ve Var Olan Tasarımın Değerlendirilmesi. Üretim Araştırmaları Sempozyumu. Kıbrıs.

Özatmaca-Erden, E. (2015). Kocaeli'de Otomobil Sahipliğinin Lojit Model ile İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Özsoy, C. E. (2015). Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye'nin Karbon Ayak İzi, *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi,* 4 (9), 198-215

Öztürk, K. (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1 (22), 47-65

Pandey, A. ve Venkataraman, C. (2014). Estimating Emissions from the Indian Transport Sector with on-road Fleet Composition and Traffic Volume. *Atmospheric Environment.* 98, 123-133

Patz, J., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., ve Foley, A.J. (2005). Impact of Regional Climate Change on Human Health, *Nature Dergisi*, 438, (7066), 310-317.

Pekin, M, A. (2006). Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Peng, J., X., Huang, L., Zhao, Y. B., Chen, P., Zeng, L., ve Zheng, W. (2012). Modeling of Carbon Dioxide Measurement of Cement Plants. *Advenced Materials Research.* 610-613, pp. 2120-2128.

Simmons, T. (t.y.). CO_2 Emissions from Stationary Combustion of Fossil Fuels. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Avonlong Limited, UK. Erişim tarihi: Mayıs 3, 2020. Erişim adresi: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_1_CO2_Stationary_Combustion.pdf

Singh, A., Gangopadhyay, S., Nanda, P. K., Bhattacharya, S., Sharma, C., ve Bhan, C. (2008). Trends of Greenhouse Gas Emissions from the Road Transport in India. 390 (1) 124-131.

Sobel, K. L. (1980). Travel Demand Forecasting by Using the Nested Multinomial Logit Model. Transprotation Research Record, 775, 48-55.

Stratton, L. S., O'Toole, D. M., ve Wetzel, J. N. (2008). A multinomial Logit Model of College Stopout and Dropout Behavior. *Economics of Education Review*. 27 (2008) 319-331.

Tektanıl, M. (2008). Toplu Taşımadaki Doğalgazlı Otobüslerin Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tezcan, H. O. (2009). Trafik Tıkanıklığı Yönetimi Olarak Fiyatlandırma ve İstanbul-Eminönü İçin Bir Uygulama. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**.**

Tezcan, H. O., Öğüt, K. S., ve Çidimal, B. (2010). A Multinomial Logit Car Use Model for a Megacity of the Developing World: İstanbul. Transportation Planning and Technology. 34 (8), 759-776.

Tongwane, M., Piketh, S., Stevens, L., ve Ramotubei, T. (2015). Greenhouse Gas Emissions from Road Transport in South Africa and Lesotho between 2000 and 2009. 37, 1-13.

TÜİK. (2019). İşgücü İstatistikleri.

U.S. Department of Transportation – Federal Transit Administration. (2010). Public Transportation's Role in Responding to Climate Change.

Uğurlu, S. (2010). Kesikli Seçim Modelleri. Ekonomi ve Finans Bölümü Ders Notları, İstanbul Aydın Üniversitesi, Ekonomi ve Finans Bölümü, İstanbul.

Union of Concerned Scientist. (2019 revised 2008). Each Country's Share of CO_2 Emissions. erişim tarihi Mayıs 3, 2020, erişim adresi https://www.ucsusa.org/resources/each-countrys-share-co2-emissions

Uysal, A. (2009). İstanbul'un Avrupa Yakası'nda İETT Ulaşımı. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilgiler Enstitüsü

Ülgen, H. ve Altuntaş, G. (2010). Vak'a: İstanbul Deniz Otobüsleri (İDO) A.Ş. Yönetim-İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Dergisi, 21 (66), 119-148.

Ünsan, Y. (2005). İstanbul'da Geleneksel Deniz Taşımacılığının, Dünü, Bugünü, Yarını ve Beklentiler. 6. Ulaştırma Kongresi, Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı. s. 323-333. Göksü Matbaası. İstanbul.

Wang, Z., Chen, F., ve Fujiyama, T. (2005). Carbon Emission from Passenger Transportation in Beijing. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 41, 217-227.

White, H. (1982). Maximum Likelihood Estimation of Misspecified Models. *Econometrica*, 50 (1), 1-25.

Wiedmann, T. ve Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends*. Chapter 1, 1-11, Nova Science Publishers: Hauppauge NY, USA.

Williams, H. C. W. L. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 9(3), Sf. 285-344.

WWF, ve Global Footprint Network. (2012). Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu. Erişim tarihi: Mayıs 3, 2020. Erişim adresi: https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/Turkey_Ecological_Footprint_Report_Turkish.pdf

Yalçın, Z. (2013). Potansiyel Bir Çevre Vergisi Olarak Motorlu Taşıtlar Vergisi: Avrupa Birliği ve Türkiye Arasında Karşılaştırılmalı Bir Analiz. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 27 (2), 141-158.

Url-1 < https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararası%20Kuruluşar/IPCC%20TR.pdf > erişim tarihi 03.05.2020.

Url-2 < https://www.ipcc.ch/about/ > IPCC. About. erişim tarihi 03.05.2020.

Url-3 < https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php > erişim tarihi 05.05.2020.

EK A: ANKET SORULARI

1- Cinsiyetiniz:

Kadın		Erkek	

2- Yaşınız:

3- Medeni durumunuz:

Evli		Bekar	

4- Eğitim durumunuz:

Okuryazar	
İlkokul mezunu	
Ortaokul mezunu	
Lise mezunu	
Ön lisans derecesi	
Lisans derecesi	
Yüksek lisans derecesi	
Doktora derecesi ve üstü	

5- Çalıştığınız sektör:

6- Aylık net geliriniz:

7- Ev-iş yolculuklarınızda ağırlıklı olarak hangi ulaşım aracını kullanıyorsunuz?

Özel araç	
Metrobüs	
Otobüs	
Dolmuş	
Servis	
Metro	
Tramvay	
Marmaray	
Vapur	
Yürüyerek işe gidiyorum.	
Diğer (Lütfen belirtiniz.)	

8- Ev-iş yolculuklarınız için özel aracınızla yolculuklarınızı gerçekleştiriyorsanız, aracınızın özelliklerini belirtiniz:

9- Ev-iş yolculuklarınızda izlediğiniz işe gidiş güzergahınızı ve kullandığınız ulaşım aracını belirtiniz:

1. araç: (Başlangıç durağınız/konumunuz – varış durağınız/konumunuz)	
Varsa 2. araç: (Başlangıç durağınız/konumunuz – varış durağınız/konumunuz)	
Varsa 3. araç: (Başlangıç durağınız/konumunuz – varış durağınız/konumunuz)	
Varsa 4. araç: (Başlangıç durağınız/konumunuz – varış durağınız/konumunuz)	
Varsa 5. araç: (Başlangıç durağınız/konumunuz – varış durağınız/konumunuz)	

10- Sürüş paylaşımı: Yapılan yolculuklarda ortak güzergahı kullanan diğer yolcularla birlikte aynı otomobilde yolculukların gerçekleştiği paylaşım uygulamalarıdır.
Ev-iş yolculuklarınızda sürüş paylaşımı yaptığınız oluyor mu? (Cevabınız evet ise lütfen ayda kaç defa sürüş paylaşımı gerçekleştirdiğinizi belirtiniz.)

Evet (Lütfen belirtiniz.)	
Hayır	

11- Ev-iş yolculuklarınız için ayda toplam ne kadar ücret ödüyorsunuz?

12- Ev-iş yolculuklarınızda yolda harcadığınız süre ortalama kaç dakikadır?

İşe Gidiş	
Eve Dönüş	

13- Ev-iş yolculuklarınızda, eğer varsa, kullandığınız ulaşım aracının konfor seviyesini tanımlayınız.

	Araç	Konfor Seviyesi
1. Araç		
2. Araç		
3. Araç		
4. Araç		
5. Araç		

14- Sizin için bir ulaşım aracında konfor seviyesini belirleyen en önemli etmen nedir?

Temizlik	
Güvenlik	
Ulaşım aracını kullanan kişi sayısının az olması	
İyi havalandırma koşulları	
Isıl Konfor	
Görsellik	
Diğer (Lütfen belirtiniz.)	

15- Aşağıdaki cümlenin sizin için ifade ettiği doğruluğu işaretleyiniz.
"Küresel ısınma, insan eylemleri sonucunda atmosfere yayılan CO_2 salınımları ile doğrudan ilişkilidir."

Çok doğru	
Doğru	
Kararsızım	
Yanlış	
Çok yanlış	

16- Aşağıdaki yorumları değerlendiriniz.

Kesinlikle katılmıyorum:1
Katılmıyorum:2
Kararsızım:3
Katılıyorum:4
Kesinlikle katılıyorum:5

	1	2	3	4	5
Ekonomik olarak kalkınmış ülkelerin CO_2 salınım seviyeleri, ekonomik olarak kalkınmamış ülkelere göre daha düşüktür.					
Çevreye yayılan CO_2 salınımı, ağırlıklı olarak ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır.					

17- Aşağıdaki yorumları değerlendiriniz.

	Doğru	Yanlış
İmkanların doğru sağlanması halinde hibrit araç kullanmaya hevesliyim.		
Genellikle eşyalarımı uzun süre (artık kullanılmayacak hale gelene kadar) kullanmaya dikkat ediyorum.		
Günlük hayatımda geri dönüştürülebilir ürünler kullanmayı tercih ediyorum.		

EK B: CO_2 SALINIM TAHMİNLERİ

Katılımcı	*ton CO2*
1	0,17945
2	0,00732
3	0,03754
4	0,00667
5	0
6	0,00343
7	0,04551
8	0,00209
9	0,00725
10	0,01174
11	0,04784
12	0,08515
13	0,01473
14	0,23735
15	0,07828
16	0,04503
17	0
18	0,05351
19	0,00314
20	0,05093
21	0,08232
22	0
23	0,00261
24	0,03685
25	0,01381
26	0,01098
27	0,06679
28	0,06182
29	0,0078
30	0,0782
31	0
32	0,00889
33	0,05515
34	0,03685
35	0,03893
36	0,00654
37	0,08396
38	0,04939
39	0,0187
40	0,00627
41	0,04519
42	0,08067
43	0,13898
44	0,00265
45	0,17853
46	0,17853
47	0,03654
48	0,01584
49	0,00652
50	0,03859
51	0,08098
52	0,08011
53	0,00078
54	0,00627
55	0,00725
56	0,00464
57	0,0662
58	0,22482
59	0,03868
60	0,00078
61	0,29634
62	0,06678
63	0,15941
64	0,00889
65	0,06997
66	0,04472
67	0,07079
68	0,04758
69	0,01141
70	0,03824
71	0,00203
72	0,05269
73	0,03704
74	0,3375
75	0,01596
76	0,00087
77	0,04424
78	0,00377
79	0,08232
80	0,80094
81	0,00471
82	0,04611
83	0,04135
84	0,01036
85	0,04554
86	0,15869
87	0,00577
88	0,00949
89	0,00899
90	0,04444
91	0,00471
92	0,09055
93	0,16937
94	0,0374
95	0,01425
96	0,03754
97	0,01232
98	0,00609
99	0,06522
100	0,0087
101	0,03189
102	0,02995
103	0,13555
104	0,13555
105	0,31527
106	0,13829
107	0,03156
108	0,05399
109	0,27187
110	0,06497
111	2,27427
112	0,01482
113	0,82603
114	0,09416
115	0,13687
116	0,01991
117	0,0167

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Asilcan Özkaynak

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 11.02.1994 - İZMİR

E-posta **:** asilcanozkaynak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2016, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü