



**TOPLU TAŞIMA KAYNAKLI KARBON AYAK İZİ DEĞİŞİMİNİN
İNCELENMESİ: ANKARA KENTİ M.İ.A (MERKEZİ İŞ ALANI) / İÇ
KORDON HATTI**

Melishan BOZKURTERDEM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Melishan BOZKURTERDEM

05/05/2023

TOPLU TAŞIMA KAYNAKLI KARBON AYAK İZİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ:
ANKARA KENTİ M.İ.A (MERKEZİ İŞ ALANI)/İÇ KORDON HATTI
(Yüksek Lisans Tezi)

Melishan BOZKURTERDEM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2023

ÖZET

Kentlerde ve özellikle kent merkezlerinde görülen hızlı nüfus artışları, artan taşıt sahipliği, enerji tüketimi ve karbon ayak izi miktarı beraberinde ulaşım, altyapı ve çevre sorunlarını getirmektedir. Küresel düzeyde karbon emisyonlarının yüzde70'inden fazlası karayolu ulaşımı kaynaklı olup iklimsel değişiklik ve hava kirliliği ile mücadelede ulaşımdan kaynaklanan emisyonların azaltılması önem arz etmektedir. M.İ.A. (Merkezi İş Alanı) erişilebilirliği, kentmerkezlerinin ekonomisi ve günlük alışkanlıklar üzerinde anahtar rolü oynayan yoğun yolculuk üretim ve çekim alanlarıdır. Bu nedenle çalışmada, kent merkezlerinde ulaşımdankaynaklı emisyonların karbon ayak izine etkileri ve artan karbon ayak izini azaltıcı sürdürülebilir ulaşım politikalarına odaklanılmıştır. Çalışmada Ankara kenti, M.İ.A. iç kordonhattında yer alan 2013 ve 2021 yıllarında ortak toplu taşıma hatlarının neden olduğu karbon ayak izi değişimi ve sebeplerinin tespitine yönelik sefer sayıları, hat uzunlukları ve yakıt türleri referans alınarak Tier II Yaklaşımı ile emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bulunan emisyon değerleri ve buna bağlı değişkenler arasındaki ilişki bağımlı örneklem t testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre karbon emisyon azaltımına katkı sağlayacak toplu taşıma sistemleri temelli, sürdürülebilir ulaşım politikaları önerilmiştir.

Bilim Kodu : 80211
Anahtar Kelimeler : Karbon ayak izi, merkezi iş alanı, kent içi ulaşım, toplu taşıma.
Sayfa Adedi : 64
Danışman : Doç. Dr. Hayri ULVİ

INVESTIGATION OF CARBON FOOT PRINT CHANGE BASED ON PUBLIC
TRANSPORTATION: ANKARA CITY C.B.A. (CENTRAL BUSINESS AREA) /

INTERNAL CORD LINE

(M. Sc. Thesis)

Melishan BOZKURTERDEM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2023

ABSTRACT

Rapid population growth, increased vehicle ownership, energy consumption and carbon footprint in cities and especially in urban centers bring transportation, infrastructure and environmental problems. More than 70% of global carbon emissions originate from road transport, and it is important to reduce emissions from transport ventilation in the fight against climate change and air filters. C.B.A. (Central Business Area) are areas of intense production and attraction that play a key role in accessibility, economy and daily habits of urban centers. For this reason, the effects of emissions from transportation in urban centers on the carbon footprint and sustainable transportation policies that reduce the increasing carbon footprint are focused on. In the study, the emission values of the trip dimensions, line lengths and fuel types reference load were calculated with the Tier II Approach to determine the carbon footprint changes caused by the common public transport loads in 2013 and 2021 in the city of Ankara, in the C.B.A. internal cord line. The relationship between the emission values found and the related variables was compared using the dependent sampling t test. According to the research structures, sustainable transportation policies based on public transportation systems that will contribute to the reduction of carbon emissions have been proposed.

Science Code : 80211

Key Words : Carbon footprint, central business area, urban transportation, public transportation.

Page Number : 64

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hayri ULVİ

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Programına başladığım günden itibaren birlikte çalışmaktan kıvanç duyduğum, engin mesleki donanım ve tecrübeleriyle tez sürecimde beni yönlendiren Sayın Hocam Doç. Dr. Hayri ULVİ' ye, aynı zamanda tez çalışmam kapsamında istatistiki veri ve analiz kaynaklarına ulaşmamızı sağlayan, destek ve yardımlarını bizlerden eksik etmeyen, bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren, Dr. Öğr. Üyesi Harun KINACI' ya, tez dönemimde bana engin bilgileriyle yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Murat ÖNDER hocama, hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen annem Şengül BOZKURTERDEM 'e ve kardeşlerim Denizhan BOZKURTERDEM ve Teoman BOZKURTERDEM'e, bana ve projeme olan sonsuz destek ve katkılarından dolayı sevgili arkadaşım Sayın Mustafa Samet ÜSTÜNDAĞ'a sonsuz saygı ve sevgiyle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	9
3. HUKUKİ ÇERÇEVE.....	13
3.1. İklim değişikliğinin Hukuki Altyapısı.....	13
4. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE.....	17
4.1. Temel Tanımlar	17
4.2. Ekolojik Ayak izi Hesaplama Yöntemi.....	22
4.3. Dünyada Ekolojik Ayak İzi	24
4.4. Türkiyede Ekolojik Ayak izi.....	26
4.5. Karbon Ayak izi Hesaplama Yöntemi	28
4.6. Ulaşım Kaynaklı Kirlilik ile Kent Merkezi İlişkisi.....	33
4.7. Kentsel Yol Ağaçlarının Karbon Ayak İzi İlişkisi.....	39
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	41
5.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi	41
5.2. İç Kordon Hattı Toplu Taşıma Analizi	46

	Sayfa
5.3. Tier II Yaklaşımı ile Toplu Taşıma Kaynaklı CO ² Emisyonu Hesaplaması	50
5.4. Bağımlı Örneklem T Testi Analizi	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
6.1. Sonuçlar	57
6.2. Öneriler	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Çalışma kapsamında karşılaştırmalı değişkenler	4
Çizelge 2.1. Literatür özeti.....	11
Çizelge 4.1. Küresel ekolojik ayak izi bileşenleri.....	21
Çizelge 4.2. Türkiye ekolojik ayak izi bileşenleri	27
Çizelge 4.3. Karbondioksit emisyon hesabında kullanılan yakıt türü değişkenleri.....	32
Çizelge 4.4. Ulaşım türüne göre yolcu taşımacılığının meydana getirdiği kirlilik miktarı	35
Çizelge 4.5. IPCC metodolojisi emisyon ve dönüşüm faktörler.....	35
Çizelge 4.6. Ağaç yapısına göre karbon miktarının hesaplanması	40
Çizelge 4.7. Ağaç türüne göre ortalama yaprak karbon depolama miktarı	40
Çizelge 5.1. 2013-2021 yılları ortak ego otobüs hatları.....	48
Çizelge 5.2. 2013-2021 yılları ankaray-metro hattı bilgileri	49
Çizelge 5.3. Tier II yöntemi ile ego otobüsü hatlarına ilişkin CO ² emisyon hesabı.....	51
Çizelge 5.4. Raylı sistem hatlarına ilişkin CO ² emisyon hesabı	53
Çizelge 5.5. Değişkenlere ilişkin betimsel istatistikler	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Araştırmanın kavramsal ilişkileri	2
Şekil 1.2. Tez çalışması akış şeması.....	5
Şekil 4.1. Çevre dostu ulaşım	18
Şekil 4.2. Ekolojik ayak izi bileşenleri	20
Şekil 4.3. Dünya küresel ekolojik ayak izi 1961–2018 dönemi	24
Şekil 4.4. Seçilmiş ülkelerde 2018 yılı küresel ayak izi	25
Şekil 4.5. Türkiye ekolojik ayak izi 1961–2018 dönemi.....	26
Şekil 4.6. Türkiye’de toplam ekolojik ayak izi bileşenlerinin değişimi	27
Şekil 4.7. Kentsel ekolojik yaklaşımlar çerçevesinde çevre sorunu	34
Şekil 4.8. Sektörlere göre 1990-2020 yılları karbon emisyonu	36
Şekil 4.9. Ulaşım sektörü için 1990-2020 yılları karbon emisyonu	37
Şekil 4.10. Taşıma moduna göre 1990-2020 yılları karbon emisyonu.....	37
Şekil 4.11. Motorlu kara taşıtlarının yakıt türüne göre sera gazı emisyonları.....	38
Şekil 5.1. Ankara ili yıllara göre kent makroformunun değişimi	43
Şekil 5.2. Ankara kenti ve metropoliten alan ulaşım sistemleri ağ haritası.....	44
Şekil 5.3. Ankara ili M.İ.A. / iç kordon hattı alan sınırı	45
Şekil 5.4. İç kordon hattı toplu taşıma analizi	46
Şekil 5.5. 2013-2021 yılı EGO otobüsü karbon ayak izi değişimi	52
Şekil 5.6. 2013-2021 Raylı sistem türüne göre karbon ayak izi değişimi.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

C	Karbon
CO	Karbonmonoksit
CO²	Karbondioksit
Gg	Gigagram
GJ	Gigajul
ha	Hektar
J	Jul
kg	Kilogram
km	Kilometre
kWh	Kilovatsaat
Mt	Metrik ton
NO_x	Azotoksit Türevleri
t	Ton
TJ	Terajul

Kısaltmalar

Açıklamalar

C.B.A.	Merkezi İş Alanı (Central Business Area)
AUAP	Ankara Ulaşım Ana Planı Çalışması
CEF	Karbon Emisyon Faktörleri
CNG	Sıkıştırılmış Doğalgaz Yakıtı
EAI	Ekolojik Ayak İzi
Ex	İhraç Edilen Yakıt Miktarı
GELSIK	Sefer Sayısı
GHG	Sera Gazı
IB	Uluslararası Kullanıma Satılan Yakıt Miktarı
Im	İthal Edilen Yakıt Miktarı

Kısaltmalar**Açıklamalar****IPCC**

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli

ISO

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu

M.İ.A.

Merkezi İş Alanı

PM

Partikül Madde

Pr

Üretilen Yakıt Miktarı

SC

Stoklarda Meydana Gelen Değişim Miktarı

SPSS

Statistical Package for the Social Sciences

TOPTAS

Toplu Taşıma Türü

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu

UNEP

Birleşmiş Milletler Çevre Programı

UNFCCC

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

WHO

Dünya Sağlık Örgütü

WMO

Dünya Meteoroloji Örgütü

YAKTÜR

Yakıt Türü

YYT

Yıllık Yakıt Tüketimi

1. GİRİŞ

Bu tez çalışması ile kentiçi ulaşım sisteminin ana odağında yer alan merkezi iş alanında, toplu taşıma kullanımı kaynaklı kirlilik, ana toplu ulaşım sistemi ile karbon ayak izi ilişkisinin çalışma alanı içerisinde belirli yıllara göre incelenmesi, karşılaştırılması ve değerlendirilmesi ile merkezi iş alanı kentiçi ulaşım sisteminde, karbon ayak izini azaltan kentiçi ulaşım sistemine odaklanılmıştır.

Problem durumu / Konunun tanımı

Ankara Metropolitan kenti, merkezi iş alanı iç kordon hattı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında 2013 ve 2021 yılları ortak toplu taşıma hatlarının neden olduğu karbon ayak izi değişimi ve sebeplerinin tespiti ve kent merkezinde karbon ayak izini azaltıcı kent planlaması ve ulaşım planlaması ilişkisi ile kent merkezinin daha yaşanılabilir hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Araştırmanın amacı

Araştırma, Ankara Ulaşım Ana Planı 2013 yılı verileri ile 2021 yılı ortak ana toplu taşıma hatları için geçerlidir. Bu hususta, mevcut durum tespiti ile daha detaylı bilgi elde edilerek, mevcut eğilimi tespit etmek amacıyla gelecek tahminine ait verilerin analiz edilmesi son derece önemlidir.

Araştırmanın kısıtları

Araştırmanın kısıtları arasında, çalışma alanı Ankara İli Metropolitan Kenti Merkezi İş Alanı İç Kordon Hattı'nda birincil sera gazları ve karbon ayak izi emisyonu hesaplanması yer almaktadır. Ana toplu taşıma araç türlerinden, lastik tekerlekli ve raylı sistemler araştırma kısıtı olup bu araçların üretilen sera gazı salınımına ait verilere tam olarak ulaşılamadığından dolayı ikincil karbon ayak izi hesaplanamaması diğer bir araştırma kısıtıdır. Araştırmada esas alınan karbon ayak izi ile ilgili değişkenler ve türleri geliştirilebilir. Örneğin kent makroformu ile alanın morfolojik yapısı, topoğrafik yapısı ve dokusu gibi özellikleri değişken olarak ele alınabilmektedir. Bu bağlamda engebeli alanda taşıtın daha fazla

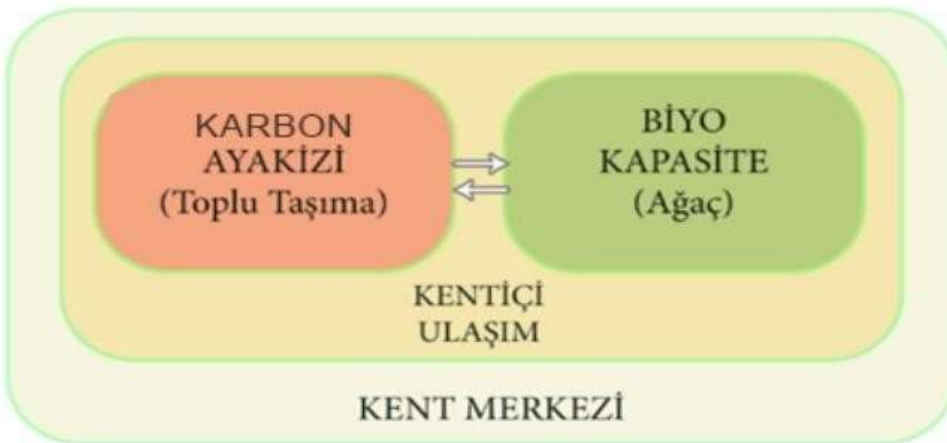
emisyona salınımı sergileyebildiği, trafik faktörünün ele alınması ile trafiğin yoğun olduğu alanda dur kalk yapmasından kaynaklı emisyon salınımında artış vb. gibi değişkenler ile çalışma daha da zenginleştirilebilir. Bu çalışmada tercih edilen değişkenler tezin süresi dahilinde karşılaştırabildiğimiz değişkenler olmasından dolayı tercih edilmiştir.

Kapsam

Bu tez çalışmasında, ulaşımdan kaynaklı emisyonların hesaplanması, metodolojisi ve karbon ayak izine neden olan kirliliğin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir çevre dostu toplu ulaşım sistemine odaklanılmıştır. Ankara İli Metropolitan kenti Merkezi İş Alanı İç Kordon Hattı 'nda toplu taşıma hatlarından kaynaklı karbon ayak izi değişimi 2013 yılı ve 2021 yılı özelinde ele alınmıştır.

Tez çalışmasını yönlendiren araştırma soruları ise şunlardır;

- Kent merkezinde ana toplu taşıma türlerine bağlı karbon ayak izi nasıl hesaplanır?
- Toplu taşıma kaynaklı karbon salınımına bağlı değişkenler nelerdir?
- Ana toplu taşıma hatlarının yaydığı karbon salınımı absorbe edebilecek kentsel yol ağaçları ve yeşil alan miktarı nedir?
- Kentiçi sürdürülebilir ulaşım politikaları ve çözüm önerileri geliştirmede karbon ayak izinin yönlendirici etkisi nelerdir?



Şekil 1.1. Araştırmanın kavramsal ilişkileri (Hayri Ulvi, 2011 çalışmasından esinlenilmiştir.)

Yöntem

Araştırmaya esas literatür incelemesi yapıldığında, farklı hesaplama türleri ve yöntemler bulunmakta olup araştırma yönteminin ana çerçevesini Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nde yer alan standartlar oluşturmaktadır. Bu araştırmada iklim değişikliğine neden olan sera gazlarından kaynaklı emisyonlar ve buna bağlı olarak açığa çıkan karbon ayak izinin hesaplanmasında IPCC kılavuzunda yayımlanmış olan Tier Metodolojisi'nden faydalanılmıştır. Araştırma kapsamında Tier II yaklaşımı ile karbon ayak izi hesabında ele alınan değişkenler (hat uzunlukları, sefer sayıları ve emisyon değerleri) bu çalışmanın temel girdisini oluşturmaktadır. Değişkenlerin anlamlılık düzeylerinin belirlenmesinde bağımlı örneklem T testi ile ortak toplu taşıma kullanımından kaynaklı 2013 yılı ve 2021 yılı emisyon değerleri ve buna bağlı değişkenler SPSS programı ile karşılaştırılmıştır.

Bu nedenle çalışma nicel ve nitel yönden ele alınmıştır. Araştırma kapsamında ele alınan değişkenler Çizelge 1.1.'de yer almaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan karşılaştırmalı değişkenleri ve türünü tanımlayacak olursak;

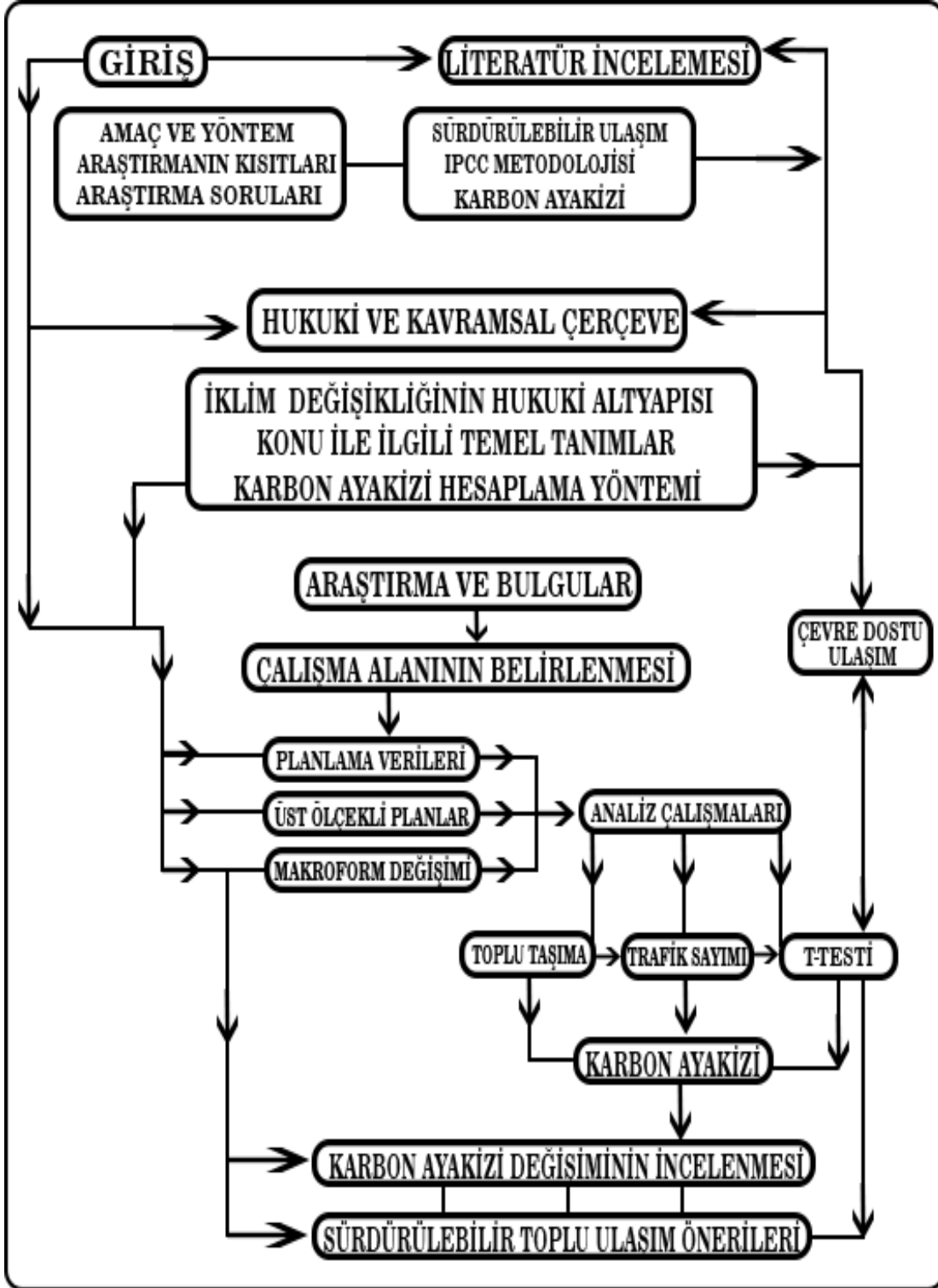
- M.İ.A. iç kordon hattında toplu taşıma kaynaklı emisyon salınımı olarak kullanılan KarbonAyak izi (CO₂ miktarı) bağımlı değişken,
- M.İ.A. iç kordon hattında kent içi ulaşım sistemi elemanlarından otobüs, Ankaray ve metro hattı Toplu Taşıma Türü (TOPTAS) bağımsız değişken,
- M.İ.A. iç kordon hattı içerisinde toplu taşıma türlerinin katettikleri yol, gezinme veya güzergah Hat uzunluğu (KM) bağımsız değişken,
- M.İ.A. iç kordon hattı içerisinde otobüs, Ankaray ve metro hattının güzergah geliş sıklığı Sefer Sayısı (GELSIK) bağımsız değişken,
- M.İ.A. iç kordon hattı içerisinde otobüs, Ankaray ve metro hattında kullanılan enerji teknolojisi Yakıt Türü (YAKTÜR) bağımsız değişken

olarak tayin edilmiştir.

Çizelge 1.1. Çalışma kapsamında karşılaştırmalı değişkenler

Değişkenin Adı	Değişkenin Tanımı	Değişkenin Türü
Karbon Ayak izi (CO ₂ miktarı)	İç kordonda toplu taşıma kaynaklı emisyon salınımı	Bağımlı Değişken
Toplu Taşıma Türü (TOPTAS)	Otobüs, Ankaray ve Metro Hattı	Bağımsız Değişken
Hat Uzunluğu (KM)	İç kordon içerisindeki gezinme	Bağımsız Değişken
Sefer Sayısı(GELSIK)	İç kordon alanına geliş sıklığı	Bağımsız Değişken
Yakıt Türü (YAKTÜR)	Kullanılan enerji teknolojisi	Bağımsız Değişken

Çalışma kapsamında ele alınan 2013 ve 2021 yılı ortak toplu taşıma hatları; EGO otobüsü, Ankaray ve metro raylı sistem hatlarıdır. İncelenen toplu taşıma sistemleri verilerine göre; sefer sayısı, hat uzunluğu ve karbon emisyonu arasındaki ilişki, bağımlı örneklem T testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda karbon ayak izi bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Diğer bir ifadeyle çalışmada kullanılan Çizelge 1.1.'de gösterilen diğer değişkenlerin bağımlı değişken karbon ayak izi, üzerindeki etkileri anlamlılık düzeyleri oluşturularak analiz edilmiştir. Çalışmaya ilişkin detaylı bilgilere akış şeması Şekil 1.2. 'de yer verilmiştir.



Şekil 1.1. Tez çalışması akış şeması (Orijinal, 2022)

Tez çalışması bölümler halinde özetlenecek olursa;

Tezin 1. bölümünde; çalışmanın amacı, kapsamı, araştırmanın kısıtları, araştırma soruları ve araştırmanın kavramsal ilişkileri gösterilmiştir. Akabinde araştırmaya esas yöntem ve akış şemasına yer verilmiştir.

Tezin 2. bölümünde; ekolojik ayak izi, karbon emisyonu, çevre duyarlı ulaşım sistemlerine ve karbon ayak izi metodolojisine yönelik literatür incelemesinin ardından, tez çalışmasının saha, konu ve yöntemleri paralelinde benzeşen akademik çalışmaların kapsamı, yöntemi ve bulguları literatür özeti çizelgesi şeklinde sunulmuştur.

Tezin 3. bölümünde; iklim değişikliğinin hukuki altyapısına ve ulusal-uluslararası protokollere yer verilmiştir.

Tezin 4. bölümünde; çevre ve ulaşım ile alakalı temel tanımlar, karbon ayak izi hesaplama yöntemleri, Dünya’da ve Türkiye’de Ekolojik Ayak izi verileri incelenmiş, kent merkezi ile kirlilik ilişkisi ve biyokapasite kent merkezi ilişkisi irdelenmiştir.

Tezin 5. bölümünde; Araştırma ve Bulgular başlığı altında: çalışma alanının belirlenmesinde üst ölçekli planlar, kent makroformunun değişimi, araştırma kapsamında incelenen yıllarda kullanılan ortak toplu taşıma hattı verileri ve karşılaştırmalı değişkenler incelenmiştir. Elde edilen veriler dahilinde toplu taşıma kaynaklı karbon ayak izi değişimi Tier II yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu bölümde detaylı bir şekilde hesaplanan karbon ayak izi verileri, sonuç çizelgeleri ve karbon ayak izi değişiminde kullanılan değişkenler arası ilişki Bağımlı Örneklem T-testi ile incelenmiştir.

Test edilen hipotez ve ilgili alt hipotezlere değinecek olursak;

Hipotez

Ana toplu taşıma hatlarından biri olan lastik tekerlekli otobüsün km başına yaydığı karbon ayak izi değeri raylı sistemin km başına yaydığı karbon ayak izi değerinden daha fazladır.

İlgili Alt Hipotezler

Merkezi iş alanlarında,

- 2013 yılındaki ortalama sefer sayısı ile 2021 yılındaki ortalama sefer sayısı arasında anlamlı bir fark yoktur.
- Sefer sayısı arttıkça toplu taşıma kaynaklı karbon ayak izi büyür.
- 2013 yılındaki ortalama hat uzunluğu ile 2021 yılındaki ortalama hat uzunluğu arasında anlamlı bir fark yoktur.
- Çevre duyarlı toplu taşıma türlerinden raylı sistemin kullanımının artması, otobüs kullanımından kaynaklı karbon ayak izini azaltır.
- 2013 yılındaki ortalama emisyon değeri ile 2021 yılındaki ortalama emisyon değeri arasında anlamlı bir fark yoktur.
- Toplu taşıma türlerine göre açığa çıkan karbon ayak izini absorbe edebilecek kentsel yol ağaçları ve kentsel yeşil alan ile net sıfır karbon salınımı desteklenir.
- Yakıt teknolojilerine göre CNG'li (doğalgaz) otobüslerin karbon ayak izi dizel yakıt kullanan otobüslere göre daha azdır.
- Elektrik enerjisi ile çalışan Ankaray ve Metro'nun karbon ayak izi dizel kullanan otobüslere göre daha fazladır.
- Katedilen yol (km) başına harcanılan karbon ayak izi değeri, otobüse göre metroda daha fazladır.

Tez çalışmasının bu bölümde hipotez ve bağlantılı alt hipotezler, nicel yöntemler ile ortaya konan emisyon formülü ile doğrulanmıştır.

Tezin 6. Bölümünde; Sonuç ve Öneriler başlığı altında: karbon ayak izi değişiminin detaylı hesaplamaları ve Bağımlı Örneklem T-testi sonuçları yorumlanmış, karbon ayak izini azaltan biyokapasite artırımı, sürdürülebilir ulaşım sistemleri, çevre duyarlı ulaşım yaklaşımları, strateji ve politikaları önerilmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Ulaşımın neden olduğu iklimsel değişikliklerin önemli sebeplerinden karbondioksit (CO²) salınımı, üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bununla ilgili her ülkenin kendi stratejilerini ve politikalarını belirlemeleri önem arz etmektedir. Konu üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; Ekolojik Ayak izi (EAI) kavramı temelinde gerçekleştirilen literatürdeki çalışmaların ilki, 1992 yılında iklim William E. Rees tarafından yapılmıştır. Dr. Mathis Wackernagel ise ekolojik ayak izi kavramı ile alakalı hesaplama metodolojisini doktora tezinde irdelemiş ve bu çalışmada elde edilen değere ekolojik ayak izi adı verilmiştir. Wackernagel ve Rees (1996) ekolojik ayak izi kavramını ve sürdürülebilir kalkınma ilişkisini inceleyerek hesaplama metodolojisini detaylı bir şekilde ele almışlardır. Sınırlı doğal kaynakların yani doğal çevrenin insanlar tarafından sınırsız bir kaynak olarak görülmesi ve bilinçsiz tüketim sonucunda oluşan atıkların doğal çevreye salımı sonucunda, ekolojik ayak izi kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Erden Özsoy ve Dinç 'in (2016) çalışmasında, ekolojik ayak izi kavramı ile birlikte dünyanın toplam tüketim kapasitesi tespit edilecek ve kullanılabilir durumdaki kaynakların ölçüsü hesaplanabilecek, böylece doğal çevrenin sürekli bilinçsiz bir biçimde tüketilmesinin önüne geçilerek sürdürülebilir çözüm önerileri üretilebilecektir. Bu bağlamda ekolojik ayak izi kavramı son yıllarda ön plana çıkmakta ve yeni çalışmalara yön vermektedir. Yang, McCollum, McCarthy ve Leighty'in (2009) ifade ettiği üzere, yük ve yolcu taşımacılığının neden olduğu emisyonların tahmin edilmesi ve sera gazı emisyonunun nasıl düşürüleceğine yönelik modeller üretmişlerdir. Latuszynska ve Strulak-Wójcikiewicz'nin (2013) ifade ettiği gibi, ulaştırma, yöneylem araştırması ve kararların çevresel etkisini değerlendirme modeli üzerinde çalışmıştır. Bhandari, Advani, Parida ve Gangopadhyay (2014) çalışmasında, toplu taşıma yolculuklarının karbon ayak izi tahmininde erişim ve çıkış yolculuklarının dikkate alınması üzerine Delhi vaka çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada farklı ulaşım modları kullanımından kaynaklı (otobüs-metro vb.) yolculuklardan kaynaklı karbon emisyonlarını hesaplamıştır. Yang, Lee ve Chen (2016) çalışmasında, kâr marjlarından ve sürdürülebilir çevreden ödün vermeden sürdürülebilir ulaşım altyapılarının seçiminde kullanılacak entegre bir karar modeli geliştirmeye odaklanmıştır.

Carteni'nin (2018) ifade ettiği üzere, kentsel toplu taşıma hizmetleri için plug-in hibrit elektrikli otobüslerden elde edilen karbon ayak izine dayalı bir maliyet-fayda analizi üzerinde çalışmıştır. Chang, Liao ve Chang (2019) çalışmasında, toplu taşımada karbon ayak izi değişimini Tainan şehri, özelinde inceleyerek alternatif enerji otobüslerinin çevresel faydalarını IPCC standardı bağlamında ele almıştır. Li, H., Hao, Y., Xie, C., Han, Y. ve Wang, Z. (2022) çalışmasında, nötr karbon için gelişen teknolojiler ve politikalar ile toplu taşıma sistemi incelenmiştir.

Karbon emisyonu ve çevre duyarlı ulaşım konusunda; Ulvi (2011) çalışmasında, Beyşehir ve Kızıldağ Milli Parklarında çevre duyarlı ulaşım sistemi modeli için bir yöntem geliştirmiş, Atabey (2013) çalışmasında iklimsel değişimin neden olduğu sorunlarının Diyarbakır İli özelinde olası etkilerini incelemiş, CO² salınımı bertarafını ağaçlarla absorbe etmeye çalışmıştır. Gül, Tuğluer ve Akkuş'un (2021) ifade ettiği üzere, kentsel yol ağaçlarının karbon tutma değerinin belirlenmesini, yenilebilir enerji konusunda Ünlü (2019) ise çalışmasında biyoyakıtları incelemiştir. Apaydın (2020) çalışmasında, küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini incelerken Türkiye örneğini ele almış, Bıyık ve Civelekoğlu (2020)'na göre, Isparta İlinde karayolu kaynaklı karbon ayak izini hesaplamış ve salınımı azaltıcı önerilerde bulunmuştur. Dünder ve Kolay (2021) çalışmasında, Konya İli sera gazı emisyonunun hesaplamış ve emisyonu azaltıcı sürdürülebilir ulaşım politikaları önermiştir. Özkaynak (2020), ev-iş yolculuklarına bağlı karbon ayak izini irdelemiş İstanbul üzerine değerlendirmede bulunmuştur. Yalılı Kılıç ve Dönmez (2021) çalışmasında, Çanakkale İli temelinde karayolu ulaşımı yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi irdelenmiş ve salınımı azaltan önlemler geliştirilmiştir. İncelenen çalışmalar, araştırmanın çerçevesini, kapsamını ve metodolojisini belirlemede ve araştırmanın olgunlaşmasında katkı sağlamıştır.

Konu ile ilgili çalışmalarda, karbon ayak izini azaltan yeni senaryo, strateji ve planlama faaliyetlerinin çevre dostu ulaşım sistemi ekseni ile ele alınması gerektiğine dair bulgular yer almaktadır. Konu ile alakalı çalışmalar, literatür özeti şeklinde Çizelge 2.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Literatür özeti

Yazarlar	Kapsam	Yöntem	Bulgular
Li, Hao vd. 2022	Karbonsuz ulaşım için geliştirenteknolojiler ve politikalar	Ulaşım Elektrifikasyonu Karbondan Arındırma, Akıllı Ulaşım Sistemleri	Düşük karbonlu ulaşım altyapısı, ulaşım elektrifikasyonu ve karbondan arındırma ve akıllı ulaşım sistemleri yönetimine geliştirilmiştir.
Yahlı Kılıç vd. 2021	2015- 2018 yıllarında Çanakkale ili özelinde karayolu kaynaklı oluşan emisyon hesabı	IPCC Metodolojisi Tier Yaklaşımları	2015 yılı 701,435 Gg hesaplanan karbon ayak izi miktarı, 2018 yılında 752,536 Gg yükselmiştir.
Dünder vd. 2021	Konya ili özelinde 2010-2018 yıllarında yük ve yolcutaşımacılığında kaynaklı emisyonu	IPCC Metodolojisi Tier Yaklaşımları	2010-2018 yılları arasında kişi başına düşen emisyon yüzde 87, olduğu ve sadece 2014 yılında bir önceki yıla göre yüzde 70 oranında azalma sergilemiştir.
Bıyık vd. 2020	Isparta ilinde karayolu araçlarının 2010-2016 yılları arasındaki karbon ayak izi hesaplamaları	IPCC Metodolojisi Tier Yaklaşımları	Tier 1 yaklaşım yöntemi ile 2010 ve 2016 yıllarında kişi başına düşen emisyon yüzde 34'lük bir yükseliş sergilemiştir. Tier 2 yöntemi ile yapılan hesaplamada ulaşımın neden olduğu karbon ayak izi 2010-2016 yılları arasında yüzde 43'lük bir yükseliş sergilemiştir.
Özkaynak 2020	Ev-iş yolculuklarında karbon ayak izi değerleri ile ulaşım türleri arasındaki ilişki	IPCC Metodolojisi Anket Çok Terimli Lojit Modeli	İstanbul'da 117 katılımcı ile gerçekleştirilen bir ayda yapılan ev-iş arası yolculuğu çalışmasında, kişi başı yaklaşık 10 ton CO ² salınımı tespit edilmiştir.
Apaydın 2020	Türkiye'de küreselleşmenin EAI üzerindeki etkileri (1980-2014)	ARDL, FMOLS ve DOLS modelleri	Türkiye'de ihracatın ekolojik ayak izi üzerinde (yüzde 5 güven aralığında) anlamlı etkileri bulunmamıştır.
Chang vd. 2019	Toplu Taşımada KAİ Tainan City, alternatif enerji otobüslerinin çevresel faydaları	KAİ ölçmek için ISO/TS 14067 ve PAS2050 standardı	Tayvan'ın kentsel alanlarında hidrojen yakıt hücreli otobüslerin kullanımından kaynaklanan karbon emisyonlarındaki azalmanın etkisi 22,78 milyon ağaç dikmeye eşdeğerdir.
Bıyık vd. 2018	Türkiye ve G20 ülkelerinin 1990 ve 2016 yılları özelinde ulaşımın neden olduğu karbon ayak izi değişimi	IPCC Metodolojisi Tier Yaklaşımları	Tier 1 yaklaşım yöntemi sonucu 2010 ve 2016 yılları arasında kişi başı yüzde 34'lük bir artış tespit edilmiştir. Tier 2 yöntemi ile karbon ayak izi hesabı 2010 ve 2016 yılları arasında yüzde 43'lük bir artış göstermiştir.
Carteni 2018	Kentsel toplu taşıma hizmetleri için hibrit elektrikli otobüslerden elde edilen KAİ fayda-maliyet analizi	IPCC Metodolojisi Fayda-Maliyet Analizi	Hibrit elektrikli otobüsler, diğer otobüse göre düşük karbon ayak izine sahip olduğundan, şehir içi ulaşım hizmeti, geleneksel bir otobüse kıyasla yüzde +82'ye varan daha fazla fayda elde edilmesini sağlamıştır.

3. HUKUKİ ÇERÇEVE

Kentlerde ve özellikle kent merkezlerinde olan etkileri çevre duyarlı kent içi ulaşım sisteminin doğru şekilde planlanması için öncelikle konuya ilişkin hukuki dayanaklar, bağlayıcı ve yönlendirici protokoller ile ulusal ve uluslararası literatüre değinilmektedir.

3.1. İklim Değişikliğinin Hukuki Altyapısı

Uluslararası bağlamda iklim değişikliği ve olumsuz etkileri ile mücadelede ele alınan iki temel belge bulunmaktadır. Bunlar, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS, 1994) ve ilk uygulama anlaşması niteliğinde olan Kyoto Protokolü'dür (1997). Oğuz'a (2010) göre, "uluslararası bağlayıcı niteliğe sahip bu iki temel belgede, küresel iklim sistemi üzerindeki insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının tehlikeli etkisinin önlenmesine, azaltılmasına ve durdurulmasına yönelik yaklaşımlar ve stratejiler üretmek amaçlanmıştır". Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 1992) insan kaynaklı iklim değişikliği etkileri; "karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, atmosferin katman ve bileşimine doğrudan veya dolaylı olarak hasara neden olan insan aktivitesinin neden olduğu iklim değişikliği olarak tanımlanmıştır". Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde (UNFCCC, 1992) (United Nations Framework Convention on Climate Change) iklim değişikliğinin neden olduğu sonuçları; "iklim değişikliğinden dolayı meydana gelen fiziksel çevre ve habitat alanlarda oluşan doğal veya idari birimlerce kontrol altındaki ekosistemlerin kendilerini yenileme becerisi ve verimliliği önem arz etmekte olup sosyo-ekonomik sistemlerin çalışması veya insan sağlığı ve refahı üzerinde önemli zararlı etkileri olan değişiklikler demektir olarak tanımlanmaktadır" dır.

Japonya'nın Kyoto kentinde 16 Şubat 2005 tarihinde resmi olarak yürürlüğe girmiş olan Kyoto Protokolü'ne 191 ülke ve Avrupa Birliği taraftır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023). Taraflar 2008-2012 yılları arasında konferansta toplanarak, küresel karbondioksit emisyonunun en az yüzde 55'inden sorumlu en az 55 gelişmiş ülkenin, sera gazı emisyonlarını toplam yüzde 5 oranında azaltması amaçlanmaktaydı (Oğuz, 2010: 26). Kyoto Protokolü'nün yürürlüğe alınabilmesi için, 144 taraf ülke tarafından kabul edilmesi zorunluluk arz etmekte olup 2005 yılında yürürlüğe girmiş ve iki dönemde ele alınmıştır. I.

Taahhüt Dönemi 2008-2012 yıllarını ve II. Taahhüt Dönemi ise 2013-2020 yıllarını içermektedir. Sözleşmede Ek-I listesinde bulunan ülkelerin toplam karbon salımlarını 1990 yılı seviyesine oranla minimum yüzde 5 oranında düşürme yükümlülüğünü içeren I. Taahhüt Dönemidir. Bu vizyona erişilebilmesi için teminen sözleşmenin tarafları olan Avustralya, Kanada, Japonya ve Rusya için sayısallaştırılmış sera gazı emisyon salınımı veya emisyon sınırlama sorumlulukları Kyoto Protokolü'nün Ek-B listesinde ele alınmıştır. I. Taahhüt Dönemi'nde yükümlülük üstlenen ülkeler, (Avustralya, Kanada, Japonya ve Rusya) II. Taahhüt Dönemi'ne gelindiğinde ise herhangi bir sorumluluk altına girmemiştir. 31 Aralık 2020 tarihinde yürürlüğe giren II. Taahhüt Dönemi (Doha Değişikliği) dir. 2013-2020 yıllarını kapsayan II. Taahhüt Dönemin' de Ek-B listesinde bulunan taraf ülkelerin salınımlarını I. Taahhüt Dönemi'nden ayrı olarak 2020 yılında 1990 yılına göre minimum yüzde 18 oranında düşürülmesi planlanmıştır. Bu bağlamda, 2020 yılı ve sonrası iklim değişikliği üzerinde düzenleyici niteliği bulunan Paris Anlaşması'nın devreye girmesi ile II. Taahhüt Dönemi sadece usulen kabul edilmiştir. Bu nedenle BMİDÇS' in ilk uygulama aracı olan Kyoto Protokolü işlevini yerine getirmiştir. Ülkemiz açısından Kyoto Protokolü'nü ele aldığımızda ise Türkiye 2009 yılında taraf olmuş ve bu nedenle Kyoto Protokolü'nün 1997 yılındaki taahhütlerine yani BMİDÇS' ne henüz taraf olmamıştır. Bu bağlamda, sayısallaştırılmış sera gazı emisyon azaltım veya sınırlama sorumluluklarının bulunduğu Protokol'ün Ek-B listesinde yer almamıştır. Böylelikle ülkemizin, Kyoto Protokolü kapsamında sayısallaştırılmış sera gazı emisyon salınımı veya sınırlama sorumluluklarında herhangi bir taahhüdü yer almamaktadır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023).

Üreden ve Özden'in (2018) belirttiği üzere, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini önlemek amacıyla yapılan çalışmalarda nirengi noktası Kyoto Protokolü olup iklim değişikliğinin olumsuz etkileri ile mücadelede ilk sırada yer alan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi bağlamında ele alınmaktadır. Gelişmiş sanayi sektörüne sahip ülkeler ile sanayi sektöründe yeni gelişmekte olan ülkelerin sebep olduğu sera etkisi ve karbondioksit salınımına neden olan 5 adet sera gazının salınımı azaltmak ya da bu salınım azaltımını gerçekleştiriyorlar ise karbon ticareti yolu ile haklarını yükseltme hususunda anlaşmaya varılmıştır. Kyoto Protokolü ile ülkelerin yerel karbon unsurları ve yutakları bağlayıcı bir emisyon azaltma sistemine katılmasını sağlama hususunda önemli bir ilerleme oluşturmaktadır. 2019 yılında ise sera gazı emisyonlarının 2020 yılına kadar yüzde 18 oranında azaltılması için tedbirler alınması kararlaştırılmıştır.

Yalılı Kılıç, Dönmez ve Adalı'nın (2021) ifade ettiği üzere, bu tedbirler; enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımına olanak sağlayan teknolojilerin geliştirilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamaları ile metan emisyonlarının geri kazanımını sağlama temelindedir. Ayrıca önemli seviyede CO² absorbe eden orman ve bitki örtüsü gibi alanların koruma altına alınarak kazanımı ve bu kazanımın yaygınlaştırılması ile sera gazı emisyonlarını azaltan tedbirler önerilmektedir. Avrupa Birliği ülkeleri, Paris Sözleşmesi'nden önce yenilenebilir ve bağlayıcı büyümeye odaklanarak 2020 iklim ve enerji paketini tanıtmıştır. Paris Antlaşması, 2050 yılına kadar toplumun net sıfır karbona geçişini öngörmektedir.

4. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde konu ile ilgili anahtar kavramlar ve uluslararası literatürde bu konuya ilişkin geliştirilmiş metodolojiler (karbon ayak izi hesaplama yöntemi) ile Dünya ve Türkiye’de ekolojik ayak izinin yeri ve önemi ortaya konulacaktır.

4.1. Temel Tanımlar

Ulaşım ve ulaştırma

Ulaşım genel olarak insanların, malların, bilginin, paranın ve hizmetlerin bir yerden başka bir yere taşınmasını ifade eder. Bu taşıma faaliyeti karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu ve boru hatları gibi çeşitli ulaşım sistemleri ile gerçekleşir. Ulaşım faaliyetleri geçmişten günümüze tarihi, ekonomik, sosyal ve jeopolitik önemini koruyarak devam etmektedir (Aydın ve Oral, 2019: 257). Ulaştırma; bir üst başlık olarak, toplumların yapısına göre şekillenen ve aynı zamanda geliştirilen araçlarla ve yarattığı faaliyet alanı ile de toplumların yapısını etkileyen bir hizmet sektörü ünitesidir (Erdoğan, 2016). Ulvi’ye (2011) göre, ulaşım, çeşitli arazi kullanımlarının birbirleri ile bağlantılarını sağlama (iletişim) ve bu bağlantıları güçlendirmeye yarayan ana omurgadır. Ulaştırma ise bu ana omurganın niteliksel ve niceliksel durumu anlamındadır.

Çevre dostu ulaşım

Doğal ve yapılı alanlarda, doğaya az zarar veren ve en az enerji kullanımı gerektiren araçlarla yapılan ulaşım şeklidir. (bisiklet, yaya; rüzgar yada güneş vb. yenilebilir enerji kaynağı kullanan araçlar). Artan bilgi ve teknolojik gelişmeler neticesinde, sistematik bilgi iletişiminin artması ile desteklenen ulaşım ile ilişkili teknolojinin de çevre duyarlılığı kapsamında geliştirilmesi arayışlarıdır.

Kentsel ulaşımın plan oluşturulmasında ve düzenlenmesinde, insan ve aktivitelere yaklaşımında ‘hareketlilik’ yerine ‘erişebilirlik’ odaklı; taşıt girdisinde ‘engelsiz taşıt’, enerji girdisinde ise ‘temiz enerji’ öncelikli; mekansal düzenlemeler girdisinde ‘bütünleştirici’, ulaşım sistemlerinin çevre duyarlı işlevsel bütünleşmesini içeren, kentsel gelişme literatüründe “çevre-dostu” olarak betimlenen yaklaşım kabul edilmelidir. Tüklenen,

yenilenemeyen ve çevreyi kirletici etkileri olan petrol gibi fosil yakıtlar yerine enerji korunumu içeren, çevreyi kirletmeyen, çevre dostu, eko-teknolojik taşıtların kullanılması hedeflenmelidir (Kaplan, 2019).



Şekil 4.1. Çevre dostu ulaşım (Ekoiq Dergisi, 2021)

Ekoloji ve kentsel ekoloji

Canlıların birbirleri ve çevreleri ile uyum içinde yaşamlarını devam ettirmelerini sağlayan bilim dalıdır (Ulvi, 2011). Karadağ, (2009) ifade ettiği üzere, kentsel ekoloji kavramı, kentlerin yeni gelişim gösteren alanlarının planlanması ve tasarlanmasında çevresel duyarlılığı dikkate alan, kentsel ekonomik kalkınma modeli temelinde kentsel verimliliği, üretkenliği, korumayı ve yeniden kullanımı destekleyen yöntem, strateji ve uygulamalara odaklanan bir yaklaşımdır. Kentsel ekoloji, mevcut arazi kullanım alanları içinde daha sağlıklı ve daha yaşanabilir yaşam alanları oluşturma fikrinin bütünü olarak da ele alınabilir. Kısaca tanımlamak gerekirse kentsel ekoloji, kentsel büyümenin ekolojik yaklaşımla ele alınarak planlanmasıdır.

Taşıma kapasitesi ve ekolojik taşıma kapasitesi

Ekolojik sistemde doğal çevrenin korunması, fauna ve flora, insan nüfusu ve etkilediği alanlarda meydana gelen artışı Simon, Narangajavana ve Marques' den aktaran Ulvi (2011)'nin çalışmasında ifade ettiği üzere kaldırma (tolere edebilme) konusundaki azami yeteneğidir. Ulvi (2011)'e göre, doğal ekosistemlerin korunmasını sağlayacak, bir tahribat yaratmayacak şekilde o ekosistemden faydalanma derecesini ifade eder.

ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi)

Planlanan yatırımların ve bunların alternatiflerinin belirli bir alan ve orada devam eden süreçlerin disiplinler arası belirlenmesi ve değerlendirilmesinden oluşan sistematik bir çalışma şeklidir. ÇED'in özü, Latuszynska ve Strulak-Wójcikiewicz (2013) 'nin ifade ettiği gibi, ölçülebilir ve ölçülemez çevresel etkilerini özel olarak dikkate alarak her bir yatırımın çevresel etkisini değerlendirmektir.

SCD (Stratejik Çevresel Değerlendirme)

Sanayi devriminin etkisi ile zaman içerisinde noktasal kaynaklı olmaktan çıkıp kümülatif etkilere yol açan çevresel kirlenme, gün geçtikçe alınması gereken en önemli konu haline gelmiştir. Çevre üzerinde önemli etkilere yol açan muhtemel plan ve programlar hakkında yol gösterici olması, katılımcı yaklaşım süreci ile entegrasyonu sağlaması en belirgin özelliklerindedir. Çevresel değerlendirme yapılması aşamasında, sürdürülebilir kalkınma ilkesi temelinde, çevre korumasını üst düzeye getirilmesi, olası stratejilerin hazırlanması, onayı aşamalarında çevresel faktörlerin ele alınarak birbirleriyle entegre edildiği bir süreçtir (Cengiz Gökçe ve Barış, 2015).

Biyolojik kapasite

Bir coğrafi bölgenin yenilenebilir doğal kaynakları üretme kapasitesi biyolojik kapasite olarak adlandırılmakta olup bir yerin biyolojik kapasitesini iki etmen belirlemektedir. Bunlar; sınırları dâhilindeki tarım arazisi, otlak, balıkçılık sahası ve orman yüzölçümü ile bu toprağın ya da suyun ne kadar üretken olduğudur (Erden Özsoy ve Dinç, 2016).

Ekolojik ayak izi

Bu kavram ilk olarak Dr. Mathis Wackernagel, Prof. William Rees ve arkadaşları tarafından öne sürülmüştür (Ulvi, 2011, s. 18). İnsanın sürekli doğadan tüketip geriye atıklarını bırakarak doğal çevrede daha ne kadar süre idare edebileceği üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Başka bir ifade ile ekolojik ayak izi, Akıllı, Kemahlı, Okudan ve Polat (2008) 'e göre, doğal çevrenin taşıma kapasitesini ölçmek üzere geliştirilmiş bir yöntem olup

insanların üretim ve tüketimleri sonucunda oluşan etkilerin toplamıdır. Ekolojik Ayak izi Bileşenleri 6 alt başlıkta ele alınmaktadır.

Bu bileşenlere ilişkin kısaca bilgi vermek gerekirse; Özsoy, 2015'ten aktaran Özkaynak 2020'e göre, tarım arazisi ayak izi (TAAİ), gıda üretimi için ihtiyaç duyulan tarım alanları; orman ayak izi (ORAİ), tüketilen ağaç ve türevlerinin üretilmesi için gereksinim duyulan alanları; otlak ayak izi (OTAİ) hayvansal ürünlerin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan otlatma alanları; yapılaşmış alan ayak izi (YAAİ), insanların ihtiyaçları için gereken alt yapı ve üst yapı alanları; balıkçılık sahası ayak izi (BSAİ), tüketilen deniz ürünlerinin ihtiyacı olan su alanları ve karbon ayak izi (KAİ) ise, fosil yakıt tüketimi, arazi kullanımı ve kimyasal süreçlerden kaynaklanan salınımların tutulabilmesi için gerekli alanları ifade etmektedir. Bu alt başlıkların küresel ekolojik ayak izinde paylarına değinecek olursak; yüzde55'lik oranda Karbon Tutma Ayak izi, yüzde21'lik oranda Tarım Arazisi Ayak izi, yüzde10'luk oranda Orman Ayak izi, yüzde8'lik oranda Otlak Ayak izi, yüzde3'lük oranda Yapılaşmış Alan Ayak izi ve yüzde 3'lük oranda Balıkçılık Sahası Ayak izi' n den kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2. Ekolojik ayak izi bileşenleri (Doğa Dergisi, 2022)

Bu çalışma kapsamında Küresel ekolojik ayak izi bileşenlerinden hem diğer tüm bileşenlerin etkilerinin toplamından fazla hem de en hızlı büyüyen etmen olan Karbon ayak izine odaklanılmaktadır.

Çizelge 4.1. Küresel ekolojik ayak izi bileşenleri (Küresel Ayak İzi Ağı, 2015)

Ekolojik Ayak izinin Bileşenleri	Payları (yüzde)
Karbon Ayak izi	0,55
Tarım Arazisi Ayak izi	0,21
Orman Alanı Ayak izi	0,1
Otlak Alanı Ayak izi	0,08
Yapılaşmış Alan Ayak izi	0,03
Balıkçılık Sahası Ayak izi	0,03

Karbon ayak izi

Çevresel ayak izin den biri olan karbon ayak izi, genellikle bir işlem ya daürünün tüm yaşam döngüsü aracılığıyla atılmış CO² ve diğer sera gazlarının (GHG) birim CO² cinsinden ölçüldüğü zarardır. İnsan popülasyonunun artmasıyla birlikte artan tüketim miktarı ve buna bağlı artan üretim miktarı ile oluşan doğrudan veya dolaylı sera gazı emisyonları karbon ayak izini ifade etmektedir (Mızık ve Yiğit Avdan, 2020). Karbon ayak izi, ekolojik ayak izi metodolojisinin atık tarafını temsil eder ve orman ekosistemlerinin karbon dioksit emisyonlarını uzun vadede tutma kapasitesine yönelik ihtiyacı belirlemektedir.

Atmosferde hızla artan karbon birikiminin iklim değişikliği ve küresel ısınmanın ana itici gücü olduğu yaygın olarak kabul edildiğinden, bu alanda yapılan çalışmalar son yıllarda giderek artmaktadır. Karbon ayak izi, CO² salımını absorbe etmek için gereken biyolojik kapasite ihtiyacını ölçmektedir. Ancak diğer ayak izi türlerinin aksine karbon söz konusu olduğunda hesaplanmış bir biyolojik kapasite bulunmamaktadır. Bunun yerine hesaplamalarda atmosfere salınan her ton karbonu depolayabilmek için (fotosentez yoluyla) hasat edilmemiş orman arazisi kullanılmaktadır. Bu orman arazisinin büyüklüğü ve üretkenliği atmosfere salınan karbon miktarını depolamak için yeterli değilse, karbon tutma kategorisinde ekolojik açık ortaya çıkmaktadır (Erden Özsoy ve Dinç, 2016).

4.2. Ekolojik Ayak izi Hesaplama Yöntemi

Ekolojik ayak izi insanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli kaynakları üretmek ve meydana gelen atıkları ortadan kaldırmak için kullanılan biyolojik alanı tanımlayan bir ölçüdür. Yaşam şeklimizin bize aşladığı pek çok davranış, aslında ayak izlerimizin büyümesine sebep olmaktadır. Ekolojik ayak izi, taşıma kapasitesini ölçmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Başka bir ifade ile üretim ve tüketim sonucunda oluşan bu etkilerin tamamına “ekolojik ayak izi” denmektedir. Bu kavram, ilk olarak Dr. Mathis Wackernagel, Prof. William Rees ve arkadaşları öne sürmüştür (Ulvi,2011, s. 18). İnsanların geriye bıraktığı atıkları düşünmeden doğadan sürekli yararlanmalarının ne kadar daha idare edebileceğini belirlemek amacıyla bu çalışmayı geliştirmişlerdir. Böylece, geriye kalan doğal kaynakların miktarının öğrenilebileceğini ve doğanın tahrip edilmesine engel olacak yollar bulunabileceğini düşünüyorlardı. Bu sayede oluşan atıkların ortadan kaldırılmasıyla birlikte, insanların gereksinimlerini karşılamak için kullanılacak biyolojik alanı ölçümleyen bir

araç geliştirmişlerdir. Bu ölçüye de ekolojik ayak izi denmektedir. 15 yılı aşkın bir süre boyunca metodolojik gelişmelerde analiz ve doğruluk konularında yenilikler olmasına karşın Ekolojik ayak izi konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksikliklerin en büyük sebebi de, insanların tam anlamıyla doğa üzerindeki taleplerini kesin bir şekilde tahmin edilebilecek sonuçların, yani bu ekolojik taleplere ait verilerin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Ekolojik ayak izi, toplumların tükettikleri kaynakların geri kazanımı ve oluşan atıkların ortadan kaldırılması için gereken, su ve kara bölgelerinin miktarını göstermektedir. Öte yandan, diğer insan etkinliklerinin de çevre üzerindeki etkisinin anlaşılmasını sağlamaktadır.

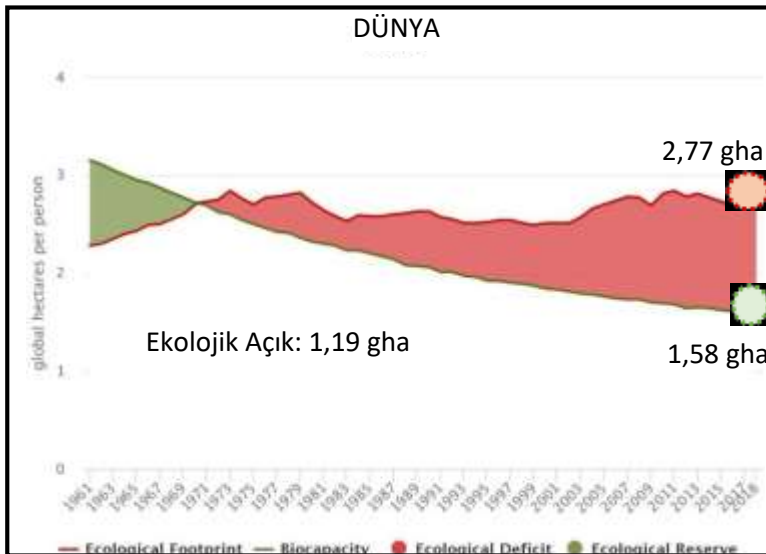
Hesaplama yöntemi ise:

Ekolojik ayak izi = Tüketim (kg) x Üretim Alanı (ha) x Nüfus (kişi)

Net Tüketim = Yurtiçi Üretim (ton) + İthalat (ton) – İhracat (ton) (ülke bazında ekolojik ayak izi hesaplama yöntemi) Tüm Ulusal Ekolojik Ayak izi hesaplamalarında, bir ülkenin tükettiği kaynakların geri kazanımını ve bu kaynakların yönetimini, meydana gelen tüm atıkları geri dönüştürmeyi ve mevcut kullanılan teknolojiyi saptamak için harici olarak işgal ettiği biyolojik üretim alanını ölçmektedir (Ulvi, 2011). Yine Ulvi (2011)'in çalışmasında örnek olarak ifade ettiği gibi; B ülkesi A ülkesinde üretilen bir otomobili satın aldı ise bu otomobil B ülkesine ait ekolojik ayak izi hesaplamalarına dahil olacaktır. Çünkü bu otomobil B ülkesine ait bir tüketim malı olacaktır. O ülkeye ait net tüketimi hesaplamak için yıllık üretilen mahsul (ton), dünyada üretilen mahsule bölünür (yıllık hektar başına üretilen miktar-ton olarak), daha sonra dünyadaki tüm ülkelerin adına yıllık mahsul alanı eşdeğerlik faktörü ile çarpılır, çıkan sonuç o ülkedeki mahsul alanının küresel olarak kapladığı alandır. Bu hesaplamalar, besi hayvanlarından elde edilen ürünleri, orman ürünleri, balık, fosil yakıt emisyonları veya yıllık fosil enerji miktarı (GJ olarak) ve yapılı alan miktarı (ha) için tek tek hesaplanıp, toplanmakta ve o ülkeye ait toplam ekolojik ayak izi, küresel hektar olarak bulunmaktadır.

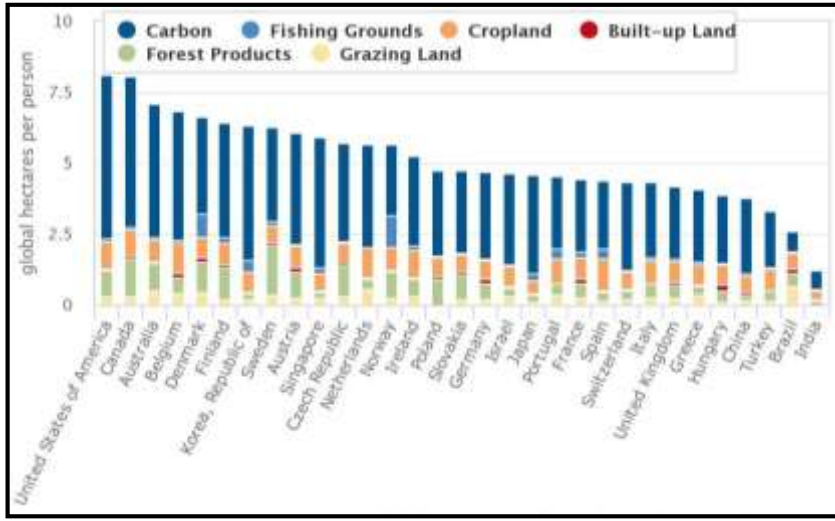
4.3. Dünyada Ekolojik Ayak izi

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 (World Wide Fund for Nature ve Global Footprint Network, 2012). Irshad ve Hussain, 2017’den aktaran Kılınç 2021’ göre; *“Daha basit bir ifadeyle ekolojik ayak izi, bir ülkenin kaynak tüketimini ve atık dönüşümünü sürdürmek için gerekli olacak üretken toprak alanının toplamını ölçmektedir.”* Şeklinde tanımlanmıştır. Ekolojik ayak izi, bir şehrin, bölgenin ya da ülkenin biyokapasitesi, ekolojik varlıkların (tarım alanları, otlatma alanları, orman alanları, balıkçılık alanları ve yerleşim alanları) verimliliğini (doğanın arzını) ve belirli bir nüfusun tükettiği doğal kaynakları üretmek (doğanın talebini) ifade etmektedir (Kılınç, 2021:529). Ghita, 2018’den aktaran Kılınç 2021 çalışmasında belirttiği üzere; *“Bir ülkenin ekolojik ayak izi kendi biyokapasitesinin üzerindeyse ve bu nedenle ekolojik rezerve sahipse “çevresel kreditor” ülke olarak, ayak izi kendi biyokapasitesinin altındaysa ve bu nedenle ekolojik rezerv açığı ile karşı karşıyaysa “ekolojik borçlu” ülke olarak ekolojik nitelendirilmektedir.”* Denmektedir. Küresel Ekolojik Ayak izi ve Biyokapasite Hesapları 2022 verilerine göre en son 2018 yılı açık erişimle yayınlanmıştır (Global Footprint Network, 2022). Buna göre Dünya genelinde toplam Küresel Ekolojik Ayak izi ve biyokapasite sonuçları Şekil 4.3.’te verilmiştir.



Şekil 4.3. Dünya küresel ekolojik ayak izi (Global Footprint Network, 2022)

Dünya ölçeğinde bakıldığında, Şekil 4.3.'te, 1961-2018 yılları arasında, küresel ekolojik ayak izinin 1961 yılında kişi başına 2,28 küresel hektar gram hektar (gha) olan ekolojik ayak izi, 2018 yılında 2,77 gha düzeyine yükselmiş olup 1961 yılındaki biyokapasite kişi başına 3,12 gha iken, 2018 yılında kişi başına 1,58 gha seviyesine düşmüştür. 1961-1970 döneminde biyokapasite ekolojik ayak izinin üzerinde olduğundan bu dönemde ekolojik rezerv durumu, 1971-2018 döneminde ise biyokapasite ekolojik ayak izinin altında olduğundan ekolojik açık durumundan bahsedilmektedir (Kılınç, 2021).

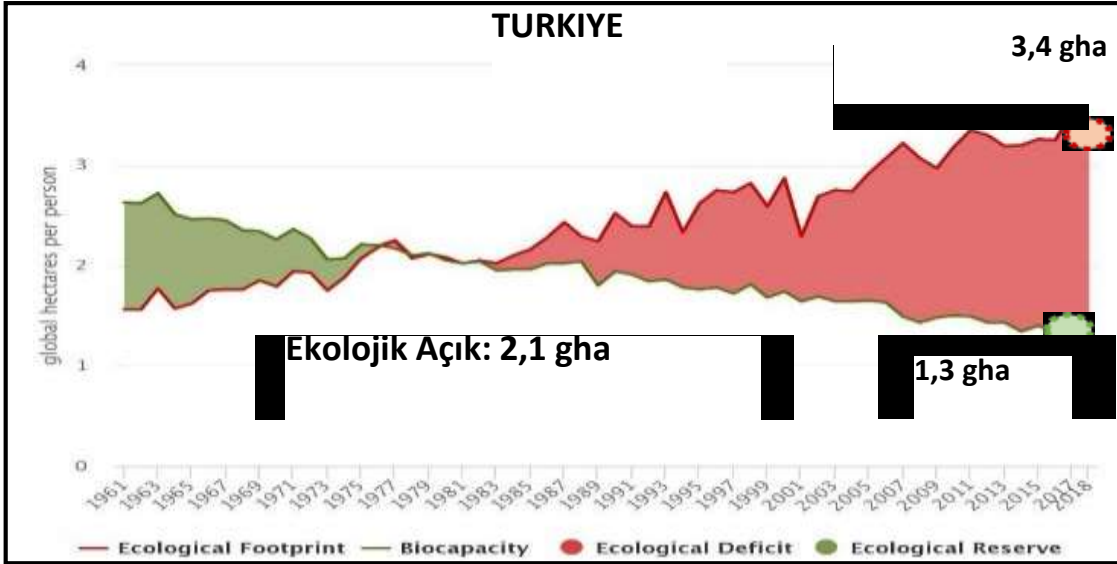


Şekil 4.4. Seçilmiş ülkelerde 2018 yılı küresel ekolojik ayak izi (Global Footprint Network, 2022)

Seçilmiş ülkelerde 2018 yılında üretim alanlarındaki kişi başına düşen küresel ekolojik ayak izi değerleri Şekil 4.4.'te yer almakta olup karadaki karbon talebinin en yüksek değeri aldığı görülmektedir. Tarımsal ve ormanlık alanlardaki ekolojik ayak izinin en yüksek olduğu ülkeler, Çin (1,37 gha) ve Amerika Birleşik Devletleri (0,70 gha), balıkçılık alanında Çin (1,04 gha) ve Amerika Birleşik Devletleri (0,41 gha), yerleşim alanlarında Çin (1,56 gha) ve Hindistan (0,69 gha) ve karbon talebinde Çin (3,90 gha) ve ABD (1,80 gha) şeklindedir Türkiye'nin küresel ekolojik ayak izindeki 2018 yılı değerleri ise tarımsal alanda kişi başına 0,63 gha, balıkçılık alanında 0,259 gha, ormanlık alanlarda 0,26 gha, otlatma alanlarında 0,13 gha, yerleşim alanlarında 0,027 gha ve karbon talebinde 1,66 gha düzeyinde gerçekleşmiştir (Global Footprint Network, 2022).

4.4. Türkiyede Ekolojik Ayak izi

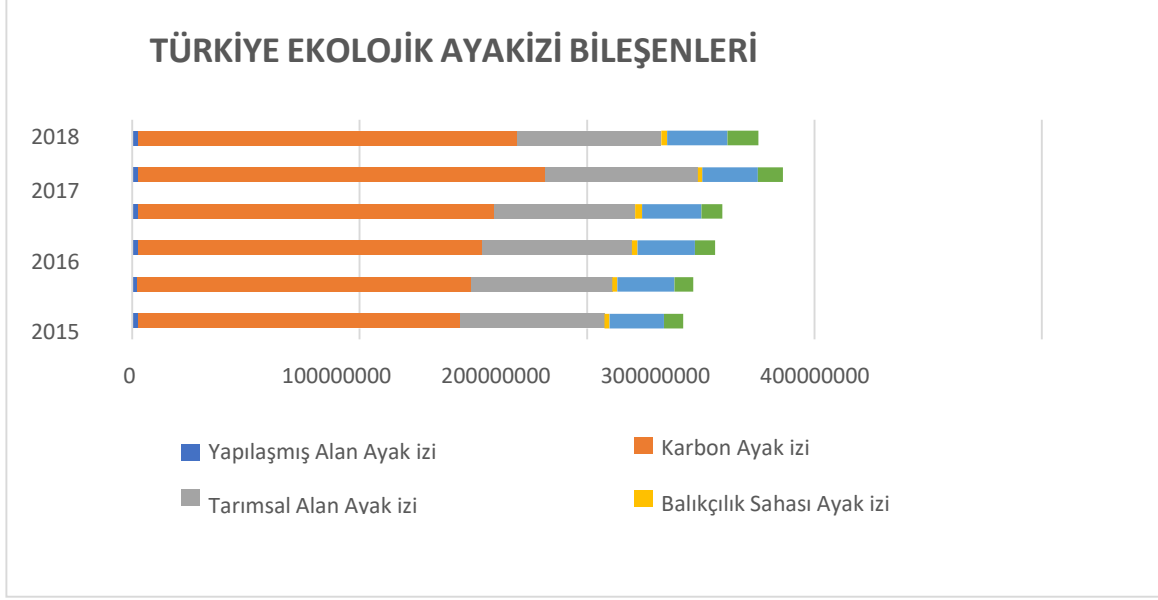
Dünyada olduğu gibi Türkiye'nin de toplam ekolojik ayak izi, gün geçtikçe artmakta ve yaklaşık olarak “yüzde46-49'luk (1,24-1,36 kha/kişi)” bir oranla en büyük paya sahip ayak izidir. Ulusal Ekolojik Ayak izi ve Biyokapasite Hesapları 2022 verilerine göre en son 2018 yılına ait değerler açık erişimle yayınlanmıştır (Global Footprint Network, 2022). Buna göre Türkiye'nin 2018 yılındaki nüfusu 82.340.104 kişi olup kişi başına düşen Ekolojik Ayak izi 3,4 gha ve kişi başına düşen Biyolojik Kapasite 1,3 gha olarak hesaplanmıştır. Ekolojik ayak izinin biyolojik kapasiteden fazla olmasından dolayı 2018 yılı için 2,1 gha biyokapasite açığı ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin yıllara göre ekolojik ayak izi ve biyokapasitesinin gelişim seyri Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Türkiye ekolojik ayak izi 1961–2018 dönemi (Global Footprint Network, 2022)

Türkiye Ekolojik Ayak izi Bileşenleri 2013 ile 2018 yılları arasında göre değerleri Şekil 4.5'te verilmektedir. Bu çalışma kapsamında EAİ bileşenlerinden Karbon Ayak izi' ne odaklanılmıştır. Karbon Ayak izi, atmosfere yayılan sera gazlarının ayak izi hesaplamalarında tek atık olarak değerlendirilmesi sebebiyle diğer ayak izlerinden ayrı olarak incelenmektedir. Türkiye, 1990 yılındaki karbon emisyonları değerlerine göre en fazla artış gösteren ülkedir (WWF, 2012, s. 30). Global Footprint Network, 2022 verilerine göre elde edilen Şekil 4.6. incelendiğinde karbon ayak izi değeri, 2013 yılından 2018 yılına kadar geçen sürede toplam yüzde 17,50 oranında bir artış sergilemiştir.

Karbon ayak izi bileşeni 2017 yılı ile 2018 yılı kıyaslandığında 2017 yılında 146,758,564 gha olan KAI, 2018 yılına gelindiğinde yüzde 7 oranında bir azalma göstererek 141,738,110 gha seviyesine düşmüştür.



Şekil 4.6. Türkiye’de ekolojik ayak izi bileşenlerinin değişimi (Global Footprint Network, 2022)

Çizelge 4.2. Türkiye ekolojik ayak izi bileşenleri (Global Footprint Network, 2022)

	Yapılaşmış Ayak izi	Karbon Ayak izi	Tarım Ayak izi	Balıkçılık Ayak izi	Orman Ayak izi	Otlak Ayak izi
2013	2770617	166555587	63380181	2598175	26379067	13762415
2014	2791215	179081663	66760021	2100971	24395239	11073944
2015	2637345	156693559	61879076	3040568	25972958	9360839
2016	2743642	151333589	65688863	2317865	25430793	8864566
2017	2437141	146758564	61952850	2232212	25020289	8363820
2018	2619939	141738110	63460504	2134592	23774824	8503158
Toplam	15999900	942161072	383121495	14424383	150973170	59928742

4.5. Karbon Ayak izi Hesaplama Yöntemi (IPCC Metodolojisi)

IPCC (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) 1988 yılında Kanada'nın Toronto kentinde düzenlenen Değişen Atmosfer Konferansı sonucunda Birleşmiş Milletler' in iki örgütü olan, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)' nün ortak girişimiyle kurulmuştur. İnsan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere kurulan panel, özerk bir uluslararası kuruluş statüsünde olup panel bünyesinde gelişmiş ülkelerden bilimsel kuruluşlar, enstitüler ve Birleşmiş Milletler' in uzman kuruluşlarından binlerce deneyimli bilim insanı çalışmaktadır. İklim değişikliği ve küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin anlaşılması için gereken bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgilerin değerlendirmesini yaparak İklim Değişikliği Değerlendirme Raporları hazırlanmaktadır. 2011 yılı itibariyle 194 ülke IPCC üyesi olup hazırlanan ilk rapor 1990 yılında yayınlanmıştır. Panelde, yaklaşık beş yılda bir düzenli rapor yayınlanmaktadır (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997). 1992 yılında Rio de Janeiro' da yaklaşık 150 ülke tarafından imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ile küresel olarak çevreye ve ekonomik gelişmeye karşı temel risk ve tehdit unsurunun iklim değişikliği olduğu kanaati edinilmiştir. Sözleşmede temel amaç, iklim sistemine insan etkisi sonucu verilen sera gazları ile oluşacak zararı azaltmaktır. Sözleşme ayrıca küresel bağlamda; periyodik olarak ulusal envanterlerini geliştirmesi, yenilemesi, yayınlaması ve sera gazı emisyon envanterlerinde kıyaslamalı metodolojiler kullanması için ülkelere çağrıda bulunmaktadır. IPCC Kılavuzlarıyla, bu bahsedilen hedefleri tamamlamak isteyen sözleşmeye taraf olan ülkelere yardımcı olunması amaçlanmaktadır (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997). Bu çalışmada hesap ve metot yöntemleri olan 1996 ve 2006 Metodoloji raporlarından faydalanılmıştır. IPCC Kılavuzu çeşitli kitapçıklardan oluşmaktadır. Bunlar, ulusal envanter oluşturmak için, veri toplama ve değerlendirme yöntemi ve elde edilen sonuçların nasıl bildirileceğini içeren raporlama bilgilerini içermektedir.

Sera gazı envanteri hesaplamalarında IPCC şu şekilde ana başlıklar kullanmıştır:

- Enerji
- Endüstriyel İşlemler
- Solvent ve diğer ürünlerin kullanımı

- Tarım
- Yeryüzü coğrafyasının ve ormanların kullanımı
- Atıklar
- Genel rehberlik ve raporlama

Bu çalışmada, “Enerji” başlığı altında, genel, endüstriyel ve ulaşım kaynaklarının neden olduğu emisyonlar bölümünün içeriğinden faydalanılmıştır. Ulaşım sektöründen kaynaklanan emisyonlara ilişkin hesaplama yöntemi alt başlık altında yer almakta ve doğrudan salınma neden olan yakıtın yanmasıyla ilgilidir. Özellikle CO² gazı diğer gazlardan farklı olarak doğrudan yakıtın yakılmasıyla ilişkili olduğundan daha net hesaplanabilmektedir. Yanma sonucunda ortaya çıkan CO² yanmanın doğal ürünü olmasından dolayı kullanılan yakıtın ne kadar verimli yakıldığı da bir göstergesidir. Karbon emisyonu hesaplamalarında, GHG Protokolünde, belirtilen parametrelere bağlı olarak ISO (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu) tarafından geliştirilen, sera gazı emisyonlarının kurum seviyesinde hesaplanması ve raporlanması (ISO 14064-1), sera gazı emisyon azaltmalarının veya uzaklaştırma iyileştirmelerinin hesaplanması, izleme ve raporlanması (ISO 14064-2) ve sera gazı beyanlarının onaylanması ve doğrulanması (ISO 14064-3) kılavuz ve özellikler belirten seriler (Bıyık ve Civelekoğlu, 2018), karbon ayak izi hesaplamaları, yapılan hesaplamaların raporlanması ve doğrulayıcı kuruluş tarafından doğrulanması için gerekli hesaplama yöntemlerini ve ilkeleri belirtir (Sreng, 2016). Ayrıca, 3 kitaptan oluşan IPCC kılavuzlarında Aşama (Tier) yaklaşımları olarak belirtilen hassasiyet derecelerine göre belirlenen 3 farklı hesaplama formüllerinden faydalanılmaktadır (Pekin, 2006). Emisyonları hesaplama metodları kelime manası aşama olan “Tier” şeklinde ifade edilmektedir. Karbon ayak izi hesaplanırken gereken data ve metodolojinin karmaşıklığına göre Tier I, Tier II ya da Tier III yöntemleri kullanılmaktadır. Burada yaklaşımın seviyesini belirleyen faaliyet ve teknoloji detaylarıdır. Tier I metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntem iken, Tier III metodu ise daha karmaşık olan ve uzmanlık gerektiren bir yöntemdir.

Tier I Yaklaşımı (Ulaştırmadan Kaynaklı Karbon Salınımı)

Ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyon değerleri hesaplama metodu, yakıtın yanması üzerine kurulmuştur. Tier I yönteminde, kullanılan yanma teknolojisi hesaba katılmamakta

olup; “eğer x kadar yakıt (ham petrol, kömür, doğal gaz) bir ülkede kullanılıyorsa, bununla orantılı olarak y kadar emisyon çıkacaktır” mantığında hesaplama yapılmaktadır. Özellikle CO² emisyonu hesabı için bu yöntem iyi bir şekilde düzenlenebilmiştir. CO² dışındaki gazlar için basit bir metot geliştirilmiştir. Gerçekte, bu gazların emisyonları için kullanılan yakıt tipi, yanma teknolojisi, çalışma koşulları, kontrol teknolojisi, araç yaşı ve özellikleri gibi veriler kullanılmalıdır. Ancak çoğu ülkenin bu tip detaylı verilere sahip olmadığı gerçeği düşünüldüğünde bu iyileştirmeler yapılmaksızın, yaklaşık bir sonuç vermesi planlanan bir hesaplama yöntemi izlenecektir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

Karbondioksit (CO²) emisyon hesabı

İnsan faaliyetleri ve fosil yakıtların yakılması sonucu açığa çıkan emisyonlar karbonun oksitlenmesinden kaynaklanmaktadır. Karbon dioksit insan faaliyetleri sonucu oluşan en büyük oranlı sera gazıdır. Sanayi devriminden günümüze kadar, radyoaktif ışımaya zorlama diğer bir ifade ile ısı hapsedme özelliği gösteren sera gazı etkisi yüzde60 oranında artış göstermektedir. Aynı zamanda fosil yakıt yakılması, insanfaaliyetleri sonucu oluşan CO² emisyonlarından yüzde 70-90 oranında pay sahibidir (IPCC/UNEP/OECD/IEA,1997). CO² emisyonlarının hesabında izlenen sıralama;

- Her sektörün yakıt tüketim değerleri belirlenir.
- Bu yakıt tüketim değerinin enerji içeriği bulunur.
- Her yakıt grubu için uygun karbon emisyon faktörleri seçilir ve bu değer kullanılarak yakıtın içeriğindeki toplam karbon miktarı bulunur.
- Yanma sırasında oksitlenmeyen karbon miktarı bulunur ve böylece tamamen yanmaya katılan karbon değerine ulaşılır.
- Son olarak net karbon değeri, CO² 'in moleküler ağırlığının karbonun molekulağırlığına oranı yardımıyla, CO² şekline dönüştürülür.

Referans yaklaşımına göre yakıt tüketim değerleri şu denklemlerle bulunmaktadır.

$$\text{Birincil Yakıt Tüketimi} = Pr + Im - Ex - IB - SC \quad (4.1)$$

$$\text{İkincil Yakıt Tüketimi} = Im - Ex - IB - SC \quad (4.2)$$

Burada;

Pr: Üretilen yakıt miktarı,

Im: İthal edilen yakıt miktarı,

Ex: İhraç edilen yakıt miktarı,

IB: Uluslararası kullanıma satılan yakıt miktarı,

SC: Stoklarda meydana gelen değişim miktarı değerlerini ifade etmektedir.

Birincil yakıtlar, kömür, ham petrol, doğalgaz gibi doğada var oldukları şekliyle kullanılan yakıtlardır. İkincil yakıtlar ise, birincil yakıtlardan üretilen benzin, yağlayıcılar gibi yakıt ürünleridir. Hesaplarda birincil yakıtların üretim değeri kullanılırken, ikincil yakıtların üretim değeri hesaba katılmaz. Çünkü zaten ikincil yakıtlar da birincil yakıtlardan üretildiği için tekrar tüketim değerine katılmaz. Ama ithal edilen ikincil yakıtlar varsa o değerler hesaba katılmalıdır. Birincil yakıtlarda üretim değerini hesaba katarken, ikincil yakıtta da üretim hesaba katılsaydı, aynı değer iki kere hesaba katılmış olurdu (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

İkinci adımda, yakıt tüketim değerlerini IPCC Kılavuzunda verilen dönüşüm faktörleri ile çarparak, yakıt grubunun enerji içeriği bulunur. İlk adımda kullanılan yakıt tüketim değerleri enerji biriminde verilmişse (TJ) bu adımda işlem yapmaya gerek yoktur. Ama ilk adımda bulunan yakıt tüketim değerleri kütle cinsinden (kg, ton) verilmişse, net kalori değerlerine göre belirlenmiş olan dönüşüm faktörleri (TJ/kt veya TJ/ton gibi) ile çarpılıp, enerji birimi olan TJ değerine geçiş yapılır. Çizelge 4.3.'te IPCC Kılavuzunda verilmiş ve ülkemiz emisyon hesaplamalarında halen kullanılmakta olan değişkenler; yakıt türü ve yakıt türlerinin içerdikleri net kalori değerleri ve her yakıt türüne ait karbon emisyon faktörleri gösterilmektedir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

Çizelge 4.3. Karbondioksit emisyon hesabında kullanılan yakıt türüne değişkenleri (IPCC, 2006:15)

Yakıt Türü	Net Kalori Değeri (TJ/kt)	Karbon Emisyon Faktörleri(CEF) (tC/TJ)
Benzin	44,3	18,9
Dizel	43	20,2
LPG	47,3	17,2

Bıyık ve Civelekoğlu (2020)'na göre, enerji tüketimi hesabında öncelikle her aracın yakıt tüketimi hesaplanır. Her bir yakıt türü için karbon emisyon faktörleri (CEF) seçilir ve içerdiği enerji kalori değeri ile çarpılır. Böylece yakıt türünün içinde bulunan toplam karbon miktarı hesaplanır. Elde edilen emisyon değeri 1000'e bölünür (ton karbon (tC) cinsinden gigagram (GgC) birimine çevrilir).

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi (t)} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü (TJkt)}$$

Daha sonra yakıtın yanma sırasında oksitlenmeyen karbon miktarı hesaplanır. Hesaplanan toplam karbon miktarı “karbon oksitlenme oranı” ile çarpılarak tamamen yanmaya katılan karbon değeri elde edilerek, yakıt türünden kaynaklanan gerçek karbon emisyon salınımı bulunur.

$$\text{C Emisyonu (GgC)} = \text{C İçeriği (Gg C)} \times \text{C Oksitlenme Oranı}$$

Emisyon hesabının en son adımı ise, oksitlenmiş olan karbon değerini (gerçek karbon emisyon değeri) CO² değerine dönüştürmek için CO² 'in molekül ağırlığının karbonun molekül ağırlığına oranı (44/12) ile bir önceki adımda bulunan karbon emisyon değeri çarpılır. Elde edilen en son aşamadaki değer yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan gerçek CO² emisyonu miktarını oluşturmaktadır (IPCC, 2006, s.12).

$$\text{CO}^2 \text{ (GgC)} = \text{C Emisyonu (GgC)} \times (44/12)$$

Ulaşımından kaynaklı karbon ayak izi hesabında kullanılan yakıtların sıvı olmasından dolayı kayıp oranı oldukça düşüktür (Pekin, 2006, s.18). Oksitlenme esnasında petrol ürünleri

yüzde1 oranında azalma göstererek 0,99 oranında, gaz halinde bulunan yakıtlar ise 0,995 oranında kayıp göstermektedir. Tier I yöntemleriyle, Tier II ve III arasındaki temel fark, yakıtın kullanıldığı yanma teknolojisi hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmeden, rahatlıkla elde edilebilen yakıt tüketim veya dağıtım değerlerinin kullanılmasıdır. Genel olarak Tier II yaklaşımıyla, uygun emisyon faktörleri kullanılabilir şekilde yakıt tüketim gruplarını ayırmak amaçlanmaktadır. Tier III aşamasında ise ulaştırma sektöründe yakıt tüketim değerlerinden farklı olarak araçların yaptıkları yol uzunluğu veya ton-km biriminde taşınan yük değeri gibi unsurlar hesaba katılarak, bunlara uygun emisyon faktörleri yardımıyla hesaplama yapılmaktadır (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

4.6. Ulaşım Kaynaklı Kirlilik ile Kent Merkezi İlişkisi

Kentlerde ve özellikle kent merkezlerinde görülen hızlı nüfus artışları, artan taşıt sahipliği, enerji tüketimi ve karbon ayak izi miktarı beraberinde ulaşım, altyapı ve çevre sorunlarını getirmektedir. Kent merkezi işlevsel özellikleri ile kentin diğer bölgelerinden farklılaşmakta ve en yoğun arazi kullanıma sahip, kent içi toplu ulaşımın odak noktası haline gelmiştir. Özellikle araç trafiğinin yoğun olduğu kent merkezi iş alanlarında, motorlu taşıt kaynaklı kirliliğin etkileri daha çok gözlemlenmektedir. Yolculuk üretim ve çekim alanlarının odak noktasında bulunan kent merkezinin; genelde ulaşım sisteminin unsurları bakımından, özde ise taşıtlar tarafından nasıl kirliliğe maruz kaldığını anlayabilmek için bazı detaylardan bahsetmek gerekmektedir. Kentiçi ulaşımın neden olduğu kirlilik, kentsel ekolojik yaklaşımlar çerçevesinde değerlendirilirken iki kuşak çevre sorunu karşımıza çıkmaktadır. Bunlar, 1. ve 2. Kuşak sorunlardır. Kaplan'dan aktaran Ulvi (2011:34) çalışmasına göre, "*1. kuşak sorunlar, yerel düzeyde hijyen sorunları olarak daha üst düzeylerde ise kentsel veya kent bölgesel çevre sorunu olarak ortaya çıkmaktadır. Yerleşme özelliği bulunduğundan bu algılanabilirliği dolayısı ile geleneksel olarak ulaşım sorunları bunlardan ibaret olarak görülmüştür*". Birinci kuşak sorunlara örnek olarak trafik sıkışıklığı verilmektedir.



Şekil 4.7. Kentsel ekolojik yaklaşımlar çerçevesinde çevre sorunu (Orijinal, 2022)

2. kuşak sorunları incelediğimizde ise; Kaplan'dan aktaran Ulvi (2011) çalışmasında ifade ettiği üzere, *“tüketici ve tüketim oranı ilişkin, kentsel fizik mekanda dağınık ancak çok sayıda kirleticinin oluşturduğu çevre sorunlarıdır.”* Taşıt trafiğinden ortaya çıkan emisyonlar ikincikuşak sorunlara örnek olarak verilebilir. Bu sorunları önleme amacıyla alınacak tedbirler ise

1. kuşak sorunlar için, sorun giderici önlemler, buna karşılık 2. kuşak sorunlar için sorunun ortaya çıkmasını önleyici önlemlerdir.

Birinci kuşak sorunlardan, ikinci kuşak sorunlara doğru gidildikçe, çevre sorunlarının, yerel etki alanı, küresel etki alanına dönüşmekte ve etki çapında büyüme görülmektedir. Ulvi (2011:34)'e göre, *“yerselleşmiş somut bir sorunun ele alınabileceği biçimde belli, sınırlı bir teknik uygulama yetmemekte, daha kapsamlı irdeleme ve çözüm gerekmektedir, yani holistik bir yaklaşım gerekmektedir ki, böyle bir yaklaşım kentsel ekolojinin yapı taşlarından birisini oluşturmaktadır”*.

Trafik kaynaklı başlıca hava kirleticileri azot oksitler (NO_x), partikül madde (PM) ve karbon monoksit (CO) olarak bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında ulaşımdan kaynaklı karbon ayak izi hesaplanması özelinde trafik kaynaklı başlıca hava kirleticilerinden biri olan karbon içerikli gaz salınımlarına odaklanılmıştır. Örneğin Çizelge 4.4. incelendiğinde otomobilin, otobüse göre, otobüsünde demiryolu taşımacılığına göre baskın şekilde CO (karbon monoksit) kirleticilik oranlarının fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Ulaşım türüne göre yolcu taşımacılığının meydana getirdiği kirlilik miktarı (Dündar ve Kolay, 2021)

Araç Türü	CO	Partikül Madde
Otomobil (benzin)	14,40	0,01
Otomobil (dizel)	1,40	0,18
Otobüs	0,60	0,20
Demiryolu	0,06	0,08

Sera gazı emisyonu karbondioksit, metan ve diazotoksit gazlarından kaynaklı emisyonların ayrı ayrı hesaplanması ve bunların CO² eşdeğerine dönüştürüldükten sonra toplanması ile elde edilmektedir. Söz konusu emisyonların hesaplanmasında IPCC kılavuzundan alınan ve ülkemiz emisyon hesaplamalarında hala kullanılan dönüşüm faktörleri Çizelge 4.5.'de verilmektedir.

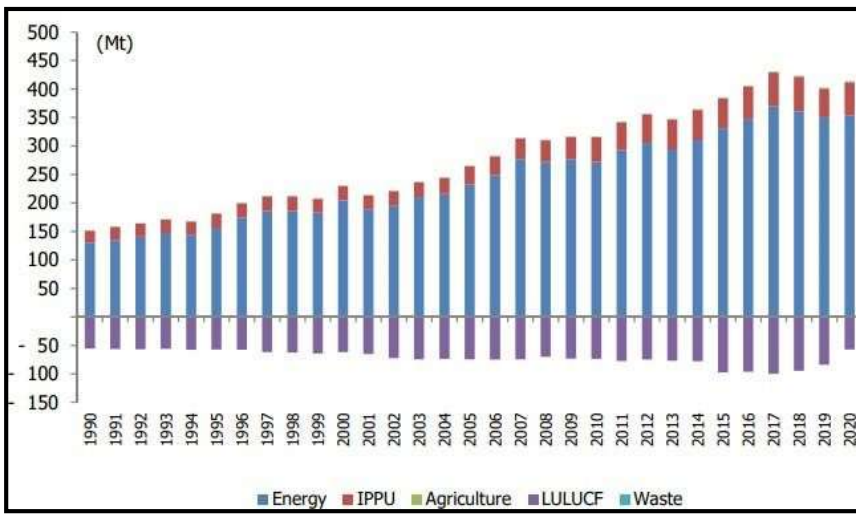
Çizelge 4.5. IPCC metodolojisi emisyon ve dönüşüm faktörleri (Pekin, 2006)

Yakıt türü	CO ² Emisyon Faktörü (t C/TJ)	Dönüşüm Faktörü (TJ/Gg)
Benzin	18,9	44,3
Dizel (motorin)	20,2	43
LPG	17,2	47,3

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 2021 yılında güncellenen hava kirliliği eşik değerlerini esas alan rapora göre dünya çapında şehirlerin yüzde 97' sinde bu eşik değerlerin aşılmış olduğu görülmektedir. Kent merkezlerinde hava kirliliğinin kaynağı yüzde 30-45 oranı ile motorlu taşıtlardır. Pan, Yao ve Yang (2016) çalışmasında ifade ettiği üzere, Çin'in başkenti Pekin'de emisyonların yaklaşık 1/3'ünün motorlu taşıtlardan kaynaklı salındığı belirtilmektedir. Taşıtların emisyonları; sürüş düzenleri, hız ve trafik sıkışıklığı, aracın tipi, boyutu, yaşı, egzoz muayenesi ve emisyon kontrol ekipmanı ve bakımından etkilenmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017).

Ulaşım hizmetlerine yönelik artan talep, daha yüksek trafik yoğunluğuna ve sonuç olarak doğal çevremiz için ağırlaştırılmış risklere yol açmaktadır. Ulaşım faaliyetleri sonucu tüketilen yakıtlardan kaynaklanan emisyon miktarları, küresel bağlamda sera gazlarının yaklaşık olarak yüzde 20'sini oluşturmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2020 yılına ilişkin sera gazı emisyonu verileri sonuçlarına göre; 2020 yılı toplam sera gazı

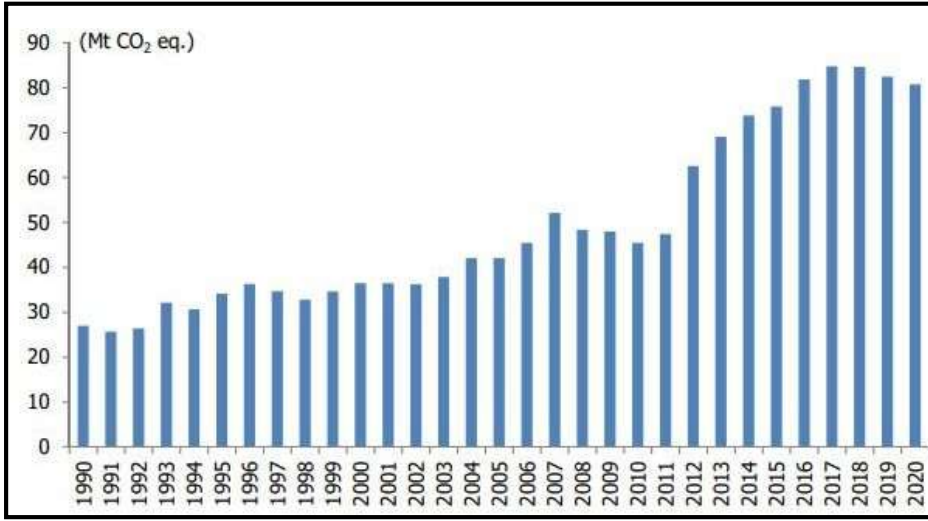
emisyonu, 2019 yılına göre yüzde 3,1 oranında artarak 523,9 milyon ton (Mt) CO² eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Sektörel bağlamda ele aldığımızda ise 2020 yılında toplam emisyonlarda CO² eşdeğeri olarak ilk sırada yüzde 70,2 ile enerji kaynaklı emisyonlar yer alırken, bunu sırasıyla yüzde 14 ile tarım, yüzde 12,7 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, yüzde 3,1 ile atık sektörü takip etmiştir. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton karbondioksit eşdeğeri iken, 2019 yılında 6,2 ton ve 2020 yılında ise 6,3 ton karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Araştırmaları Derneği, 2022).



Şekil 4.8. Sektörlere göre 1990-2020 yılları karbon emisyonu (Türkiye sera gazı envanteri 1990-2020 Raporu, 2022)

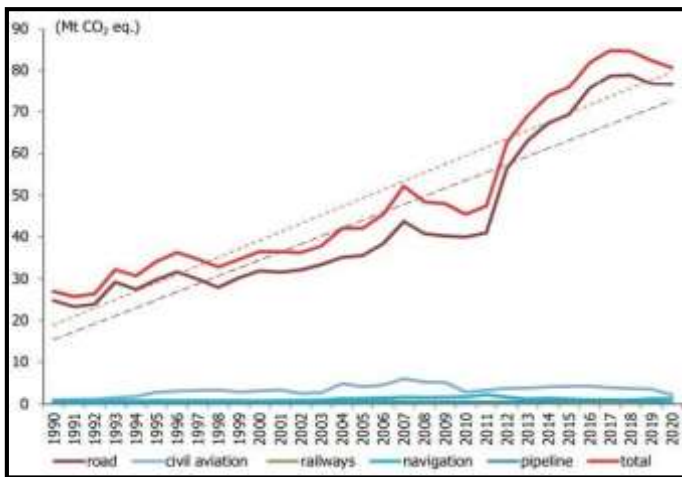
Türkiye Sera Gazı Envanteri 1990-2020 Raporu (2022)'e göre, Türkiye'de sektörlere göre CO² emisyonlarındaki eğilim Şekil 10'da gösterilmekte olup emisyonlardaki artış eğiliminin ana itici gücü olan enerji sektörünün CO² emisyonlarına hakim olduğu görülmektedir. 2020 yılında enerji sektörü toplam CO² emisyonlarının yüzde 85,4'ünden, endüstriden kaynaklı emisyonlar ise toplam CO² emisyonlarının yüzde 14,2'sinden kaynaklı olduğu ve tarım ve atık sektörlerinin ise önemli miktarda CO² emisyonuna neden olmadığı görülmektedir. 2020 yılında CO² emisyonları 413,4 Mt değerindedir. Bu değer 2019 yılındaki seviyesinin yüzde 2,9 üzerinde ve 1990 yılındaki seviyesinin ise yüzde 72,6 üzerindedir.

Sektörel bağlamda yakıt tüketiminin artmasına neden olan tüm uygulamalar iklim değişikliği üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Toplam ulaştırma emisyonları, karayolu, demiryolu, deniz taşımacılığı, havacılık ve diğer ulaştırma türlerine ayrılabilir. Ulaştırma ile ilgili sera gazı emisyonlarına, uluslararası havacılık ve deniz taşımacılığı dahil değildir.



Şekil 4.9. Ulaşım sektörü için 1990-2020 yılları karbon emisyonu (Türkiye sera gazı envanteri 1990-2020 Raporu, 2022)

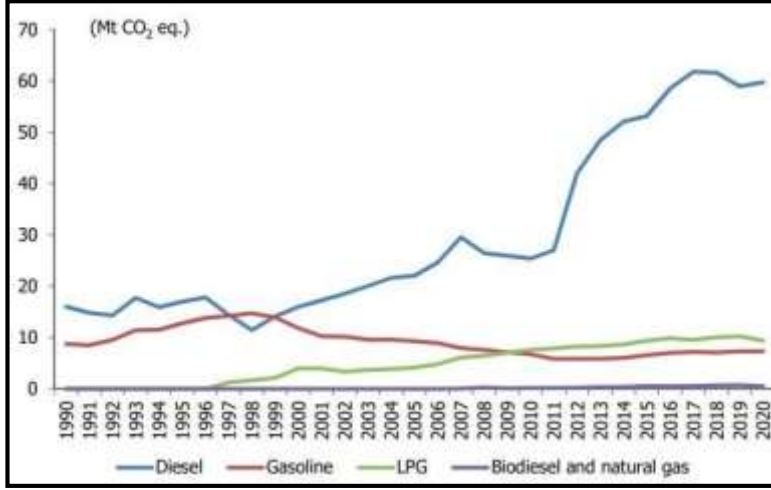
Ulaşım kaynaklı emisyonlar Şekil 4.10’da yıllara göre incelendiğinde ise Türkiye Sera Gazı Envanteri 1990-2020 Raporu (2022)’nda belirtildiği üzere, 2020 yılı 1990 yılına göre kıyaslandığında yüzde 199,2 daha yüksek emisyon değerine sahiptir. Yıllık ortalama emisyonlara açısından incelendiğinde ise yüzde 6,4’ten fazla bir artış görülmektedir. 2020 yılında ulaşım kaynaklı emisyonlar 80,7 Mt CO₂ değerinde olup emisyonların toplam yakıt yanması içindeki oranı 1990 yılında yüzde 20 iken 2020 yılında yüzde 22,5 oranına yükselmiştir.



Şekil 4.10. Taşıma moduna göre 1990-2020 yılları karbon emisyonu (Türkiye sera gazı envanteri 1990-2020 Raporu, 2022)

Taşıma modlarına göre sera gazı emisyonları Şekil 4.10’da verilmiştir. Karayolu taşımacılığı, kategorideki en baskın emisyon kaynağıdır. Bu çalışma kapsamında karayolu

taşımacılığında kaynaklanan emisyonlara odaklanılmıştır. 2019 yılında ulaşım kaynaklı 82 Mt CO² salınımının yüzde 93'ü karayolu ulaşımı, yüzde 4,5'i yurtiçi havayolu ulaşımından ve yaklaşık olarak yüzde 1'i de demiryolu taşımacılığı kaynaklıdır. 2020 yılına gelindiğinde ise ulaşım kaynaklı 81 Mt CO² salınımının yüzde 95'i karayolu ulaşımı ve yaklaşık olarak yüzde 3'ü yurtiçi havayolu taşımacılığı kaynaklıdır (TÜİK, 2021:109).



Şekil 4.11. Motorlu kara taşıtlarının yakıt türüne göre sera gazı emisyonları (TÜİK, 2021)

Türkiye Sera Gazı Envanteri 1990-2020 Raporu (2022)'na göre, 1990 yılından 2020 yılına motorlu kara taşıtlarının yakıt türüne göre CO² emisyonları değerleri Şekil 4.11'de gösterilmektedir. 2016 yılında emisyonların en yüksek miktarı yüzde 77,4 ile motorin (dizel) yakıt türü kullanan araçlardan kaynaklanmıştır. Yine 2016 yılında sırasıyla yüzde 13,1 emisyon miktarı ile LPG yakıt türü ve yüzde 9,2 emisyon miktarı ile benzin yakıt türünü kullanan araçlar izlemiştir. Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi' ne (2018) göre baz alınan 2016 yılı verilerinde toplam motorlu araç filosunun yüzde 49'u dizel, yüzde 21,5'i LPG ve yüzde 29,1'i benzinle çalışan araçlardan oluşmaktadır. 1990-2015 yılları arasında karayolu taşımacılığı diğer ulaşım türlerine göre en çok salım yapan karbon ayak izi kaynağı olmuştur. Bu değer 1990 yılında yüzde 92 oranında iken 2004 yılında bu değer yüzde 83'e düşmüştür. Şekil 4.11'de Türkiye'de karayolu taşımacılığında yakıt türlerine göre karbon ayak izi dağılımları gösterilmiştir. 1997 yılına kadar karayolu taşımacılığında akaryakıt olarak sadece dizel ve benzin kullanılmıştır. LPG'nin kullanımı 1997 yılında başlamış ve tüketim giderek artmıştır. Ardından benzin tüketimi azalırken, dizel yakıt tüketimi ve LPG tüketimi artmıştır. 2007' den 2010' a kadar, küresel ekonomik kriz nedeniyle dizel yakıt tüketimi azalmıştır. Bundan sonraki yıllarda dizel yakıt tüketiminde dikkate değer bir artış görülmüştür. 2011

yılında 27.035 kt CO₂ eşdeğeri iken 2015 yılında 53,169 kt CO₂ eşdeğeri ile dizel yakıttan kaynaklanan sera gazı emisyonlarında büyük bir artış olmuştur. Bu durum yüzde 97'lik bir artış anlamına gelmektedir (TÜİK, 2015).

4.7. Kentsel Yol Ağaçlarının Karbon Ayak İzi İlişkisi

Kent merkezlerinde yaygın olarak görülen ulaşım kaynaklı kirlilikle mücadelede emisyon salınımlarını azaltma ve kontrol etmenin yanısıra biyokapasite artırımı ile kent ağaçlandırmalarının ve planlanmasının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Kentsel peyzaj ve kentsel yeşil alan artırımı ile karbon ayak izini azaltıcı çalışmalara değinilmektedir. Bu hususta literatürdeki benzer çalışmalar incelenmektedir. Kent merkezlerinde toplu ulaşım kaynaklı hava kirliliği ve emisyon salınımı hem ekolojik açıdan hem de kent estetiği açısından ele alındığında kent kullanıcılarının yaşam kalitesini artırmak için kent ağaçları ve kentsel yeşil alan oldukça büyük öneme sahiptir. Hem kent planlaması hem de ulaşım planlaması açısından son derece önemli olan açık ve yeşil alanlar, kentsel ısı koridoru etkisini azaltma, karbon yakalama ve absorbe etme gibi kent ekosisteminin iyileştirilmesi ve geliştirilmesinde büyük rol üstlenmektedir.

Toplu taşıma kaynaklı ekolojik ayak izinin, çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması için emisyon azaltıcı tedbirlerin alınmasının yanı sıra yapılabilecek en önemli çalışmalardan birisi de biyokapasite artırımına yönelik ağaç dikme çalışmalarıdır.

Araştırma neticesinde;

- Ağaçlar dünyanın karbon döngüsünde temel bir dengeleyici olup beraberinde iklim değişikliğinin neden olduğu olumsuz etkilerle mücadele etmektedir.
- Ağaçlar, büyük bir karbon yutağı olmalarının yanı sıra ormanlık alanların oluşturulması ile yıllık olarak 2,1 milyar ton karbondioksidi absorbe edebilecek kapasiteye sahiptirler.
- 1 hektar iğne yapraklı ormanlık alan yılda 30 ton, geniş yapraklı orman alanları ise yılda 16 ton oksijen üretmekte olup iğne yapraklı ağaçlar geniş yapraklı ağaçlara göre yaklaşık 2 kat daha fazla karbon salınımı absorbe etmektedir.
- 100 yaşındaki bir kayın ağacı, saatte 40 kişinin çıkardığı 2,35 kilogram karbondioksidi yok etmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, 2023).

referans alınmıştır.

Çizelge 4.6. Ağaç yapısına göre karbon miktarının hesaplanması (Yolasıǧmaz, Çavdar, Demirci ve Aydın, 2016:47)

Ağaç Türü	Hesaplama Yöntemi ve Katsayılar
Geniş Yapraklı	Dikili Gövde hacmi x 0,640 x 1,25
İğne Yapraklı	Dikili Gövde hacmi x 0,473 x 1,20

Gül, Tuǧluer ve Akkuş (2021) tarafından yapılan araştırmada, kentsel yol ağaçlarının karbon depolama miktarlarına yönelik çalışmalar incelendiğinde yol ağaçlarının ağaç başına tuttıkları karbon miktarı yıllık ortalama 15,2 kgC şeklinde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Ağaç türü yaprak karbon depolama miktarı (Gül, Tuǧluer ve Akkuş, 2021)

Ağaç Türleri	Ağaç başına ortalama yaprak karbon depolama miktarı (kg)
Lübnan sediri (<i>Cedrus libani</i>)	4,87
Beyaz dut (<i>Morus alba</i>)	4,68
Anadolu karaçamı (<i>pinus nigra</i> subsp. <i>Pallasiana</i>)	3,88
Arizona servisi (<i>cupressus arizonica</i>)	3,47
Çınar yapraklı akçağaç (<i>acer platanoides</i>)	2,36
Beyaz çiçekli yalancı akasya (<i>robinia pseudoacacia</i>)	2,35
Doǧu çınarı (<i>platanus orientalis</i>)	2,09
Beyaz çiçekli yalancı akasya (<i>robinia pseudoacacia</i>)	1,82
Sarıçam (<i>pinus sylvestris</i>)	0,39

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

5.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi

Ankara merkezi kentin başkentlik özelliği kazanmasıyla hızlı bir yapılaşma sürecine girmiş ve Lörcher, Jansen planlarıyla bugünkü Kızılay-Sıhhiye merkez hattı ortaya çıkarılarak, tarihi kent merkezi önemini yitirmeye başlamıştır. Ankara’da ticaret işlevleri yoğunlukla yol boyunca yoğunlaşmış, ticaret merkez hareketlenmeleri erişilebilirliğin yüksek olduğu kavşak noktalarında düğümlenmiş ve merkezi iş alanı ile genelde yol boyu oluşan alt merkezler etki hizmet alanı oluşturmuşlardır. Bu zamandan itibaren gerçekleştirilen planlama çalışmaları günümüz Ankara kent formunun temelini oluşturmaktadır.

Sat, Gürel Üçer, Varol ve Yenigül (2017) ‘e ifade ettiği üzere, kompakt organik form ekseninde gelişen Lörcher (1924), Jansen (1932), Yücel – Uybadin (1957) planları, kentin ana merkezinde (Ankara metropoliten kenti) çekirdek alanın oluşturmaktadır. 1923 yılından bu zamana doğru Ankara Metropoliten kent merkezi Ulus Meydanını Çankaya’ya bağlayan Atatürk Bulvarı, ana ulaşım aksı olmuştur (Sat vd., 2017). Tüm toplu taşıma hatları bu merkezde birleşen ulaşım ağları, kentte yoğun arazi kullanım türlerini bu merkezde bir araya toplamıştır. Sat vd. (2017)’e göre, “artan yoğun arazi kullanım alanları beraberinde çarpık kentleşme ve çöküntü alanlarına dönüşen kent, tek merkezli forma sahip alanlar haline dönüşmüştür.”

1990 Metropoliten Alan Nazım Planı ele alındığında ise, metropoliten kenti desantralize edilmiş ve kent çeper alanları oluşturulmuştur. Kentin, çanak formunda gelişim göstermesi neticesinde çanaktan dışarıya doğru koridorlar oluşturulup desantralize edilerek kent formunun neden olduğu sorunların önüne geçmek amaçlanmıştır.

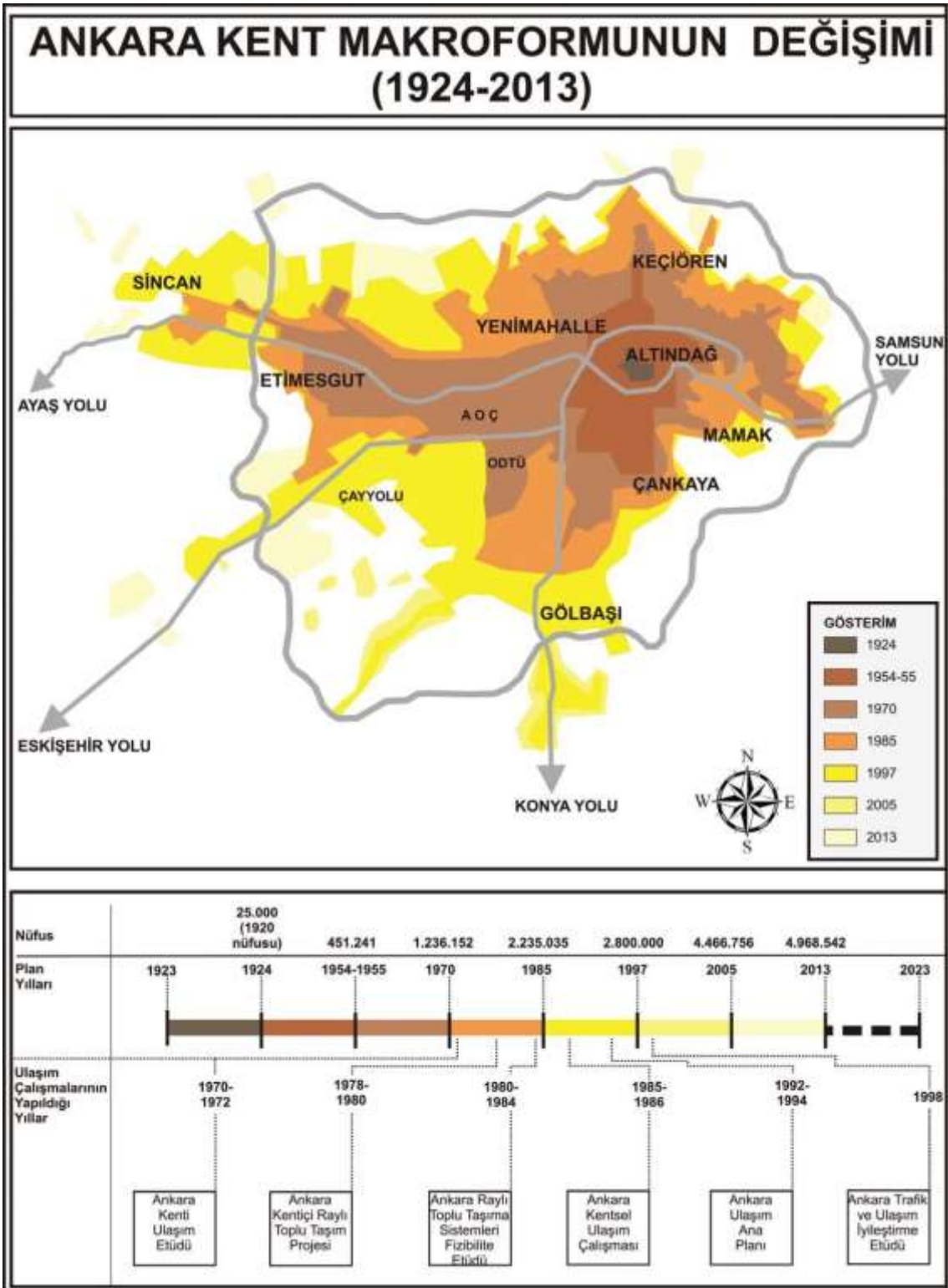
Kentin temel faaliyetlerinin yer aldığı, çekirdek alanı, tek merkezli yapısı itibariyle kentsel formula yeniden ele alınmıştır. Bu bağlamda, günlük ticaret aktivitelerinin Merkezi İş Alanı (M.İ.A.)’ nın dışına kaydırılarak mevcut ve yeni alt merkezlerin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. M.İ.A.’ nın yönetsel, kültürel ve diğer ticaret aktivitelerinde ihtisaslaşması, kentin tek merkezli kentsel gelişme eğilimi yerini çok merkezli gelişim kentsel gelişim modeline dönüştüreceği ileri sürülmüştür (Sat vd., 2017). Üst ölçekli planların onanmasında

yaşanan sorunlardan dolayı 1990 Nazım Planı'ndan sonra, 1990 yılından 2007 yılına kadar geçen sürede metropoliten kentin, yayılma süreci üst ölçek planın bulunmadığı, mevzi planlar dönemi olarak adlandırılmaktadır.

Ankara Büyükşehir Belediyesi kent içi ulaşım sorunlarına çözüm üretmek temeliyle Ulaşım Ana Planı ile bu projelere altlık oluşturma sebebiyle Kentsel Gelişme Planı hazırlatmaya odaklanmıştır. Bu bağlamda 2015 yılı hedefi ile 1/100.000 ölçekli Yapısal Plan üzerinde yoğunlaşmıştır. Planda merkezden çevreye doğru yıldız gibi (ışınsal) kent formu önerisi ile yollar birbirlerine ana arterlerle bağlanmıştır. Böylece kentin desantralizasyona ihtiyacı olduğunu savunulmuştur. 1990 Nazım İmar Plan kararlarında önerilen batı gelişme koridoruna ilave olarak kuzey, kuzeydoğu ve güneyde desantralize yapılaşma öngörölmüş ve çevre yolu önerisine yer verilmiştir.

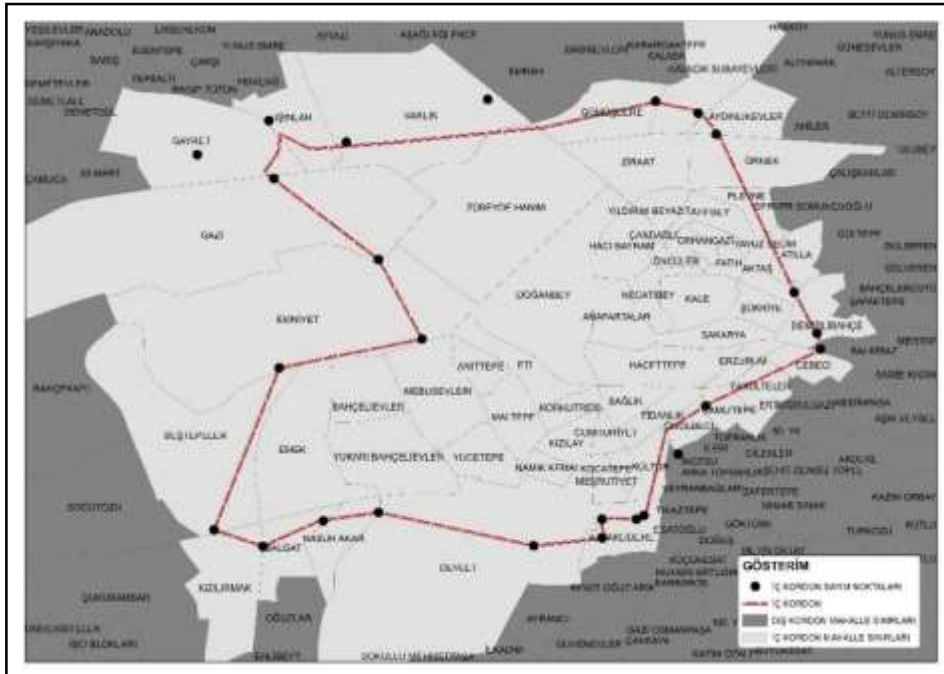
Hızlı kentleşme süreci ve değişen sosyo-kültürel aktivitelerin beraberinde artan araç sahipliliği ile bireysel ulaşım artmış ve yeni gelişme alanlarında toplu ulaşım sistemi eksikliği ortaya çıkmıştır. Metropoliten kentin bütünüyle ele alındığı 2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı'nda, (Ankara Büyükşehir Belediyesi, 2006) kentsel forma yönelik bütünleşik kompakt bir kent formu temelinde, arazi kullanım ve planlama kararları ile ulaşımaya yönelik stratejiler bir bütün olarak ele alınmıştır. Bu plan ile çok merkezli kentsel gelişme desteklenmiş ve toplu taşıma sisteminin ve ulaşım talep yönetiminin geliştirilmesine yönelik yaklaşımlar ön plana çıkmaya başlamıştır.

Günümüzde Ankara Metropoliten Alanı ve yakın çevresi incelendiğinde, kırsal/yarı kentsel/kentsel nitelikli olmak üzere heterojen bir yapıdan oluştuğu görölmektedir. Metropoliten kentin etkisinde kalan köy niteliğindeki toplu taşıma ile desteklenmeyen kırsal yerleşim alanları, mecburen mahalle niteliği kazanmıştır (Ankara Ulaşım Ana Planı Çalışması, AUAP, 2014).



Şekil 5.1. Ankara ili yıllara göre kent makroformunun değişimi (AUAP,2014)

Çalışma alanının merkezi iş alanı özelliği gösteren genel yapısı incelendiğinde tek merkezli yapısı ve toplu taşımının odak noktası olduğu görülmektedir. 2013 yılında Gazi Üniversitesi ve EGO Müdürlüğü Ankara kentinin ulaşım yapısını göz önünde bulundurarak, kent merkezi iş alanında dış kordon, iç kordon ve perde hattı trafik sayım kesitlerini belirlemişlerdir. Bu kesitler yapılan saha çalışmalarıyla 15 adet dış kordon, 25 adet iç kordon ve 17 adet perde hattındaki sayım kesitlerinin yerinde incelenmesiyle kesinleştirilmiştir. Toplamda 57 adet kesitte trafik sayımı gerçekleştirilmiştir (Ankara Ulaşım Ana Planı, 2014). Yapılan ulaşım çalışmalarında İç kordon hattının belirlenip trafik taşıt sayımının yapılması ve taşıt doluluğunun tespit edilmesi kent merkezine olan talebin ölçülmesi için önemlidir.



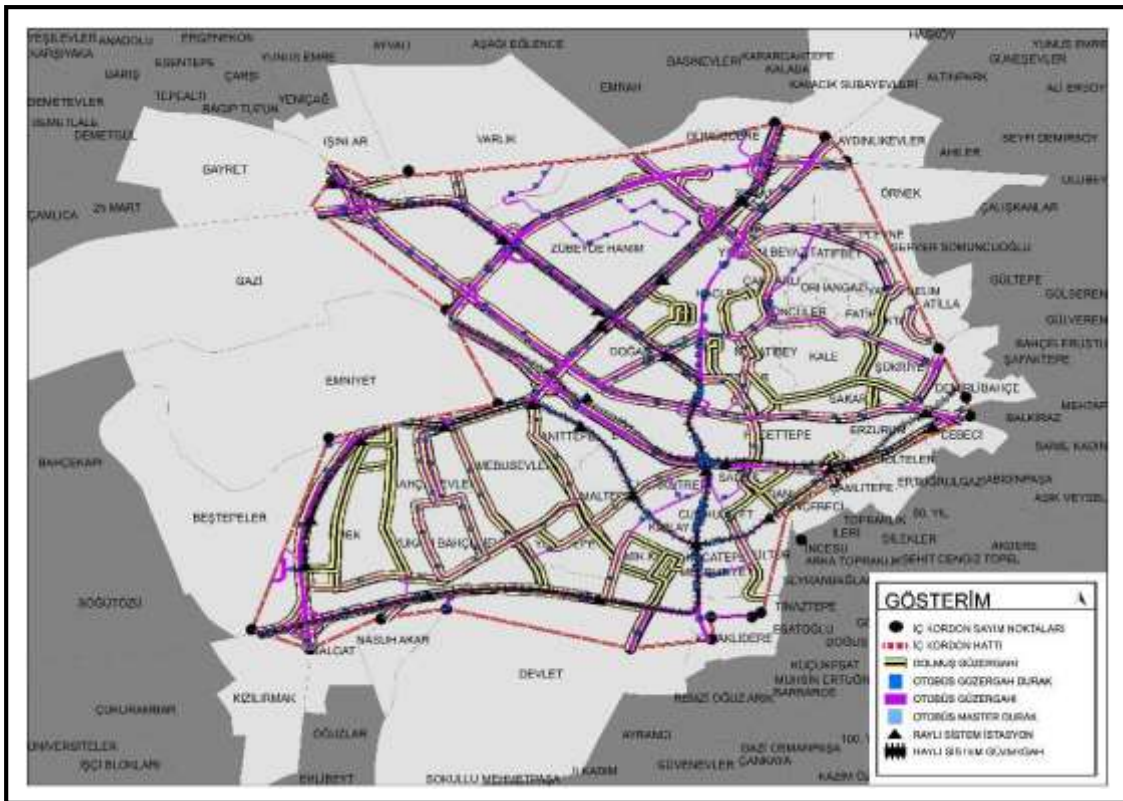
Şekil 5.3. Ankara ili M.İ.A. /iç kordon hattı alan sınırı

Ankara Ulaşım Ana Planı (2014)'na göre, iç kordon hattı dış çeperinde Devlet, Nasuh Akar, Balgat, Kızılırmak, Beştepeler, Emniyet, Gazi, Gayret, Işınlar, Varlık, Gümüşdere, Subayevleri, Aydınlikevler, Örnek, Plevne, Atilla, Yavuz Selim, Demirlibağçe, Cebeci, Fakülteler, Çamlitepe, Öncebeci ve Kavaklıdere mahalleleri bulunmaktadır. İç kordon hattı iç çeperinde ise, Emek, Bahçelievler, Yüce-tepe, Namık Kemal, Maltepe, Anıttepe, Mebusevleri, Korkutreis, Sağlık, Kocatepe, Kültür, Meşrutiyet, Kızılay, Cumhuriyet, Eti, Fidanlık, Hacettepe, Anafartalar, Doğanbey, Hacı Bayram, Öncüler, Sakarya, Erzurum, Kale, Necatibey, Fatih, Aktaş, Çandarlı, Orhangazi, Şükriye, Yıldırım Beyazıt, Zübeyde Hanım, Ziraat ve Atıf bey mahallelerinin yer aldığı bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

5.2. İç Kordon Hattı Toplu Taşıma Analizi

Çalışma kapsamında karbon ayak izi hesaplanması için Ankara kenti metropolitan alanında seçilen Merkezi İş Alanı İç Kordon hattı içerisinde hizmet veren toplu ulaşım türlerinin niceliksel ve niteliksel özellikleri incelenmiştir. M.İ.A. İç Kordon hattına ilişkin mevcut ulaşım altyapısına dair veriler toplanmıştır. Bu veriler toplu taşıma araçları için hat uzunluğu, sefer sıklığı ve yakıt türünün incelenmesi şeklindedir. Karşılaştırmalı karbon ayak izi hesabında, çalışma alanında değerlendirmeye alınan toplu taşıma türleri sırasıyla EGO otobüsü ve raylı sistem türlerinden Ankaray, metro ve banliyö hatlarıdır.

Uygulanan araştırma metodunda, çalışma alanında 2013 yılı ile 2021 yılında ortak bulunan toplu taşıma hatlarına ilişkin tespitler, Ankara Ulaşım Ana Planı (2014) verilerinden, Ankara Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama ve Koordinasyon Hizmetleri Şube Müdürlüğü'nden, Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin EGO Genel Müdürlüğü web sayfalarından ve EGO Şehir İçi Bilgi Sistemi'nden temin edilerek Şekil 4.2.1.'de gösterilen İç Kordon Hattı Toplu Taşıma Analizi hazırlanmıştır.



Şekil 5.4. İç kordon hattı toplu taşıma analizi, 2022

Gerçekleştirilen araştırma ve yapılan analiz sonuçları neticesinde iç kordon hattında 2013 yılı ve 2021 yılına ilişkin ortak yakıt türünü, sefer sayısını ve katettiği yol (km)'u belirleyebildiğimiz; 46 adet lastik tekerlekli (EGO) otobüs hattı ve Ankaray hafif raylı sistem ve metro ağır raylı sistem veri setini oluşturmaktadır. Bu çalışmada 2011 yılı Ağustos ayından 2013 yılı Temmuz ayına kadar banliyö hattı seferlerine ara verilmesinden dolayı yolcu taşımacılığı yapılmadığı için banliyö hattı hesaplamalara dahil edilmemiştir.

İç kordon hattı içerisinde 2013 yılı ile 2021 yılına ait ortak toplu taşıma hatlarına ilişkin detaylı bilgilere değinecek olursak;

EGO Otobüs Hattı

Çalışma alanı sınırları içerisinde lastik tekerlekli diye tabir edilen hala kullanılan (ortak) EGO otobüs hatlarına ait 2013 yılı ve 2021 yılı verileri incelendiğinde; ele alınan yıllara göre model yılını ve yakıt türünü belirleyebildiğimiz ortak 46 adet EGO otobüs hattı bulunmaktadır. Ortak bulunan 46 adet EGO otobüs hattı profilini ele alacak olursak;

- 20 adeti 2006-2009 yılı modelli olup 19 adeti CNG' li (Doğalgaz) ve 1 adeti dizel yakıt teknolojisi ile çalışmaktadır.
- 26 adeti 2010-2013 model yıllına sahip olup kullanılan yakıt teknolojileri ele alındığında, 10 adeti dizel ve 16 adeti CNG yakıt teknolojisi ile çalışmaktadır.
- Toplamda 46 adet EGO otobüsünün 11 adeti dizel yakıt türüne, 35 adet CNG' li yakıt türüne sahip olduğu tespit edilmiştir (ABB Ulaşım Dairesi Başkanlığı, 2021).

Veriler dahilinde oluşturulan Çizelge 5.1. incelendiğinde; 2013 yılında iç kordon hattında toplam 1946 km'lik güzergahta dolaşım sağlayan 46 adet EGO otobüsleri günlük toplam 2100 sefer düzenlemiştir. 2021 yılına gelindiğinde ise, iç kordon hattında toplam 1987 km'lik güzergahta dolaşım sağlayan 46 adet EGO otobüsleri günlük toplam 1900 sefer düzenlemiştir.

Çizelge 5.1. 2013-2021 yılları ortak ego otobüs hatları (AUAP,2014, ABB Ulaşım Dairesi)

SEFER SAYISI 2013	HAT UZUN. 2013	HAT NO	SEFER SAYISI 2021	HAT UZUN. 2021	MODEL YILI	YAKIT TÜRÜ
100	25	114	12	23	2006	DİZEL
62	13	202	18	13	2007	CNG
50	24	203	46	25	2008	CNG
26	11	252	32	31	2013	CNG
74	29	261	57	29	2009	CNG
51	37	268	34	36	2013	CNG
49	33	277	54	32	2009	CNG
17	29	279	64	29	2007	CNG
70	38	284	60	37	2010	CNG
43	39	312	59	39	2013	DİZEL
54	36	322	22	36	2013	DİZEL
39	37	340	37	36	2012	DİZEL
55	43	355	61	42	2013	DİZEL
29	44	357	29	44	2010	CNG
43	19	375	42	19	2009	CNG
52	25	383	60	25	2012	DİZEL
16	90	397	10	94	2009	CNG
38	41	414	42	22	2012	CNG
45	29	415	54	29	2013	CNG
23	51	438	21	64	2009	CNG
50	38	443	55	37	2010	CNG
50	32	446	55	33	2009	CNG
17	29	279	64	29	2007	CNG
70	38	284	60	37	2010	CNG
43	39	312	59	39	2013	DİZEL
54	36	322	22	36	2013	DİZEL
39	37	340	37	36	2012	DİZEL
55	43	355	61	42	2013	DİZEL
29	44	357	29	44	2010	CNG
43	19	375	42	19	2009	CNG
52	25	383	60	25	2012	DİZEL
16	90	397	10	94	2009	CNG
38	41	414	42	22	2012	CNG
45	29	415	54	29	2013	CNG
23	51	438	21	64	2009	CNG
50	38	443	55	37	2010	CNG
50	32	446	55	33	2009	CNG
47	25	450	24	49	2010	CNG
60	89	487	43	91	2010	CNG
31	79	501	14	78	2011	CNG
17	64	505	16	64	2009	CNG
57	64	514	53	67	2012	CNG
51	72	515	30	74	2009	CNG
55	60	533	33	60	2009	CNG
78	59	540	40	58	2007	CNG
44	80	557	52	85	2009	CNG
2100	1946		1900	1987		

Raylı sistemler

İç Kordon hattı içerisinde yer alan raylı sistemler başlığı altında ele alınan Ankaray ve metro (M1, M2 ve M3 hattı) hatları bir diğer karşılaştırmalı veri setini oluşturmaktadır. Kent içi ulaşım hizmeti sağlayan 2021 yılına ait raylı sistem hatları ile yapımı tamamlanan 2013 yılına ait ortak raylı sistem hatlarına ilişkin veriler Çizelge 5.2.'de sunulmaktadır.

Ankaray hafif raylı sistem hattı, 2021 yılında günde 18 saat çalışmakta ve zirve saatlerde sefer sıklığı 4-10 dakika arasında olup, çalışma kapsamında 6 dk olan gün boyu sefer sıklığı baz alındığında aylık 5,400 sefer sayısı düzenlemiştir. Ankaray hafif raylı sistem hattı, 2013 yılında hat uzunluğu 8,527 km ve aylık 5,122 tur gerçekleştirmiştir (AUAP, Ankara Kenti Genel Yapısı Kitapçığı 2014, s. 195). Gerek 2013 yılı gerekse 2021 yılında baz alınan aylık sefer sayısı girdisinde “Ekim Ayı” verilerinden faydalanılmıştır.

Metro ağır raylı sisteminde, 2013 ve 2021 yılında faaliyette olan M1, M2 ve M3 hatlarının servis aralıkları 90 saniye olup gün boyu yapılan sefer sıklıkları ise 8 dakika ile 9 dakikada bir gerçekleştirilmektedir. 2013 yılındaki toplam metro sistemi 46,611 km hat uzunluğunda aylık 4,923 sefer düzenlenmiştir. 2021 yılı verileri incelendiğinde, 46,420 km hat uzunluğunda aylık 5,442 sefer düzenlenmiştir. Raylı sistemlerde kullanılan araçlar (Ankaray ve metro) elektrik enerjisi ile çalışmaktadır.

Çizelge 5.2. 2013-2021 yılları Ankaray-Metro hattı bilgileri

Sefer sayısı 2013	Hat uzun. 2013	Hat türü	Sefer sayısı 2021	Hat uzun. 2013	Yakıt türü
5,122	8,527	Ankaray	5,400	7,826	Elektrik
4,923	46,611	Metro	5,442	46,420	Elektrik
10,045	55,138	TOPLAM	10,852	54,246	

5.3. Tier II Yaklaşımı ile Toplu Taşıma Kaynaklı CO² Emisyonu Hesaplaması

Bu çalışmada detaylı olarak anlatılan emisyon hesaplama metodolojisine göre, Ankara Metropolitan kenti, M.İ.A. iç kordon hattında yer alan 2013-2021 yılları ortak toplu taşıma hatları kaynaklı karşılaştırmalı karbon ayak izi değişimi Tier II yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Ortak hatların yakıt türü verileri, iç kordon hattı içerisindeki hat uzunluğu (km) ve sefer sayısı verilerinden faydalanılarak hesaplamalar yapılmıştır. İç kordon hattında yer alan 2013 yılı ile 2021 yılı toplu taşıma araçlarından olan EGO otobüsleri ve raylı sistemin (Ankaray ve metro hattı) emisyon salınımı ve karbon ayak izi miktarları karakterize edilmiştir. Karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında gerekli olan veriler, EGO, EGO Cepte Uygulaması, 2014 Ulaşım Ana Planı verileri ve resmi kurumlardan elde edilmiştir. Çalışmada EGO otobüsleri ve raylı sistemin CO² emisyon değerleri, kullanılan yakıt tüketim değerlerine ve kullanılan yakıt türünün içerdiği karbon değerine bağlı olarak belirlenmiştir. EGO otobüsleri ve raylı sistemin (Ankaray ve metro hattı) iç kordon hattı içerisinde 2013 yılı ile 2021 yılına ait 100 km'deki yakıt türü tüketim değerlerine ulaşıldıktan sonra her toplu taşıma hattının iç kordon hattı içerisinde katettiği mesafe (km) ve kullanılan yakıt türüne göre hatların tükettiği yakıt miktarları aşağıda verilen formül 1 ile hesaplanmıştır.

Yakıt tüketimi= sefer sayısı x hat uzunluğu x (yüzde 45)

Yukarıda verilen formülde yer alan yüzde 45 değeri; dizel yakıt kullanan otobüslerin 100 kilometrede ortalama 45 litre mazot yakması ile açığa çıkan enerjinin yanma teknolojisine göre hesaplanmasına ilişkin olup bu değer CNG yakıt kullanan otobüsler için ortalama 60 metreküp doğalgaz yakıt tüketimi yanma teknolojisine göre hesaplandığında yüzde 60 olarak baz alınmıştır. Burada 1 m³ doğal gaz 1,1 litre benzine veya 1,0 litre motorine eşit olduğu referans alınarak hesaplanmıştır.

Buna göre 2013 yılı, dizel yakıt kullanan EGO Otobüslerinin tükettiği yakıt miktarı 5,053 lt iken aynı yılda CNG yakıt kullanan otobüsler 30,575 lt yakıt tüketmiştir. 2021 yılına gelindiğinde ise tüketilen dizel yakıt miktarı 3,943 lt, tüketilen CNG yakıt miktarı 26,071 lt olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama yöntemi kullanılarak CNG' li yakıt türü kullanan 2013 ve 2021 yılı ortak EGO otobüs hatlarının tükettikleri yakıt miktarları hesaplanmıştır.

Elde edilen temel veriler dahilinde Tier II hesaplama yöntemi ile CO² emisyonu hesabı yapılmıştır. Örnek olarak 2021 yılında dizel yakıt kullanan otobüslerden kaynaklanan CO² emisyon miktarı çalışma metodolojisinde yer verilen formüller kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Otobüs Dizel Yakıt Tüketimi 2021} = 7763 \text{ lt Dizel Dönüşüm Faktörü} = 43 \text{ TJ/kt}$$

$$\begin{aligned} \text{Enerji Tüketimi} &= 7763 \times 43 \times 10^{-3} = 333 \text{ TJ} \\ \text{Dizelin Karbon Emisyon Faktörü} &= 20,2 \text{ t C/TJ} \\ \text{Karbon İçeriği} &= 334 \times 20,2 = 6,747 \text{ t C} \\ \text{Karbon İçeriği} &= 6,747 \times 10^{-3} = 6,7 \text{ Gg C} \\ \text{Dizelin Karbon Oksitlenme Oranı} &= 0,99 \end{aligned}$$

$$\text{Gerçek Karbon Emisyonu} = 6,7 \times 0,99 = 6,63 \text{ Gg C}$$

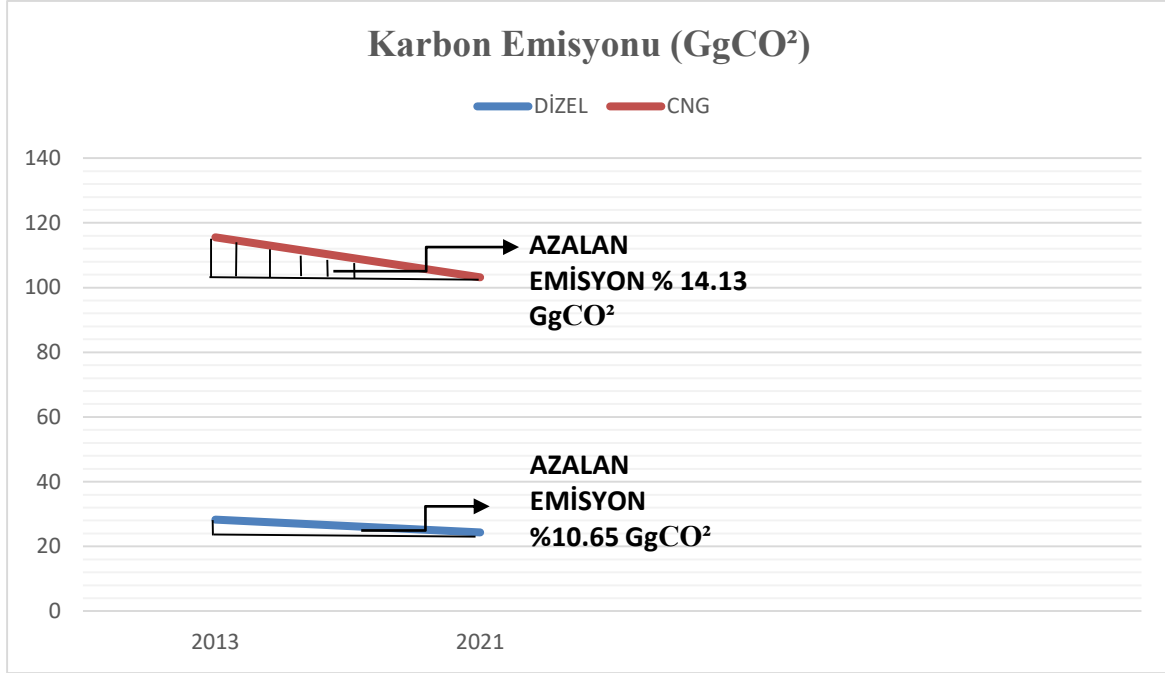
$$\text{Karbondiyoksit Emisyonu} = 6,63 \times 44/12 = 24,31 \text{ Gg CO}_2$$

EGO otobüsü hatlarına ilişkin diğer emisyon değerleri Çizelge 5.3. 'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Tier II yöntemi ile EGO otobüsü hatlarına ilişkin CO² emisyon hesabı

HAT TÜRÜ	TÜKETİLEN YAKIT (t)		ENERJİ TÜKETİMİ (TJ)		GERÇEK KARBON EMİSYONU (Gg C)		KARBONDİOKSİT EMİSYONU (Gg CO ²)	
	2013	2021	2013	2021	2013	2021	2013	2021
Otobüs(Dizel)	8,981	7,763	386	334	7,8	6,7	28,30	24,31
Otobüs(CNG)	39,108	34,935	1,850	1,652	31,5	28,1	115,5	103,2
TOPLAM	48,089	42,698	2,236	1,986	39,3	34,8	144	128

EGO Otobüsü hatları verileri incelendiğinde, 2013 yılında otobüs hatları toplam 48,089 t yakıt tüketmiştir. 2021 yılına gelindiğinde ise, 42,698 t yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Otobüs hatları 2013 yılında toplam 2,236 Tj, 2021 yılında ise toplam 1,986 Tj enerji harcamıştır. İç kordon hattında 2013 yılına göre 2021 yılında artan motor teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte dizel otobüslerin emisyon salınımlarında yüzde 10,65 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. Yine 2013 yılına göre 2021 yılında CNG'li otobüslerden kaynaklı emisyon değerlerinde Şekil 5.5. 'te gösterildiği gibi yüzde 14,13 oranında bir azalma gözlenmiştir.



Şekil 5.5. 2013-2021yılı EGO otobüsü karbon ayak izi değişimi

Bu azalmanın sebepleri arasında 2021 yılında 22 adet dizel otobüsün elektrikli araca dönüştürülmesinden elde edilen emisyon tasarrufu ve dizel yakıt türü kullanan otobüs yerine 3 adet yeni elektrikli otobüs kullanımından kaynaklı emisyon tasarrufu, düzenlenen otobüs sefer sayısındaki azalma, doğalgaz ve elektrikli otobüs kullanımının artması, ilçe özel toplu taşıma araçlarının artması, servis araçlarının artması, raylı sistemin kullanımı ve etkinliğinin artması, taşıt teknolojilerindeki dönüşüm ve pandemi nedenli yolculuk sayılarında azalma gösterilebilir.

Türkiye genelinde 1 MWh (birim) net elektrik üretimi başına ortalama 0,440 ton CO² sera gazı emisyonu salınmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Bir başka ifadeyle, Erden Özsoy (2015)'un çalışmasında belirttiği üzere, elektrik tüketimi ürün ve hizmetlerin tamamının üretiminde ana girdi olarak yer aldığından, bu aşamada emisyonların azaltılmasına yönelik alınacak tedbirler ve geliştirilen teknolojiler son derece önemlidir. Örneğin, elektriğin fosil yakıtlar yerine yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi onu oluşturan diğer zararlı bileşenlerin de azalmasına yardımcı olmaktadır.

Pampal, Avşar ve Özcan'ın (2009) çalışmasına göre, elektrikli her taşıtın prensipte düşük karbon emisyonlu olabileceğine dair yaygın bir algı olmasına rağmen elektrikli taşıtların yol açtığı karbon emisyonu, elektrik üretiminin fosil yakıtlara ne kadar bağlı olduğuyla

alakalıdır. Sertsöz ve Kuşdoğan (2012) çalışmasında, raylı sistemlerin yıllık olarak tükettiği karbondioksit miktarı 0,971 kilogram/kilowattsaat olduğu ve 1 kWh elektrik enerjisi üretmek için ihtiyaç duyulan kömür miktarının 0,450 kg karbondioksit salınımına neden olduğu referans alınmıştır. Bu bilgiler ışığında; raylı sistemlerin yıllık harcadığı toplam enerji x kömürün 1 kWh enerji üretmek için salınım yaptığı CO² miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Ankaray'ın yıllık harcadığı toplam yakıt tüketimi (2021) = 507,124,800 kWh

Ankaray'ın yıllık CO² salınım miktarı (2021) = Y.Y.T.x0.971 kg/kWh= 492,418 GgCO²

Ankaray'ın yıllık harcadığı toplam yakıt tüketimi (2013) = 524,103,528 kWh

Ankaray'ın yıllık CO² salınım miktarı (2013) = Y.Y.T.x0.971 kg/kWh= 508,904 GgCO²

Metro'nun yıllık harcadığı toplam yakıt tüketimi (2021) = 3,031,411,680 kWh

Metro'nun yıllık CO² salınım miktarı (2021) = Y.Y.T.x0.971 kg/kWh=2,943,500 GgCO²

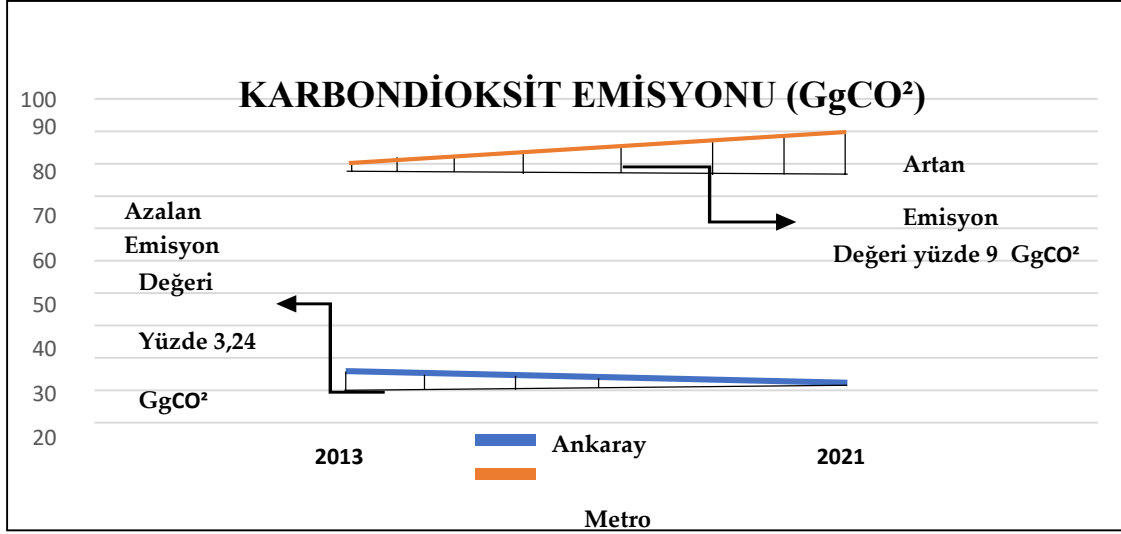
Metro'nun yıllık harcadığı toplam yakıt tüketimi (2013) = 2,753,591,436 kWh

Metro'nun yıllık CO² salınım miktarı (2013) = Y.Y.T.x0.971 kg/kWh=2,673,737 GgCO²

Çizelge 5.4. Raylı sistem hatlarına ilişkin CO² emisyon hesabı

HAT TÜRÜ	YILLIK TÜKETİLEN YAKIT (t)		CO ² SALINIM MİKTARI (GgCO ²)	
	2013	2021	2013	2021
Ankaray	524,103,528	507,124,800	508,904	492,418
Metro	2,753,591,436	3,031,411,680	2,673,737	2,943,500
TOPLAM	3,277,694,964	3,538,536,480	3,182,641	3,435,918

Raylı sistem hatlarına ilişkin yıllık CO² emisyon hesabı verilen Şekil 5.7. incelendiğinde; 2013 yılında raylı sistemlerin yıllık toplam salınım miktarı 3,182,641 GgCO² olup, 2021 yılında ise bu değer yüzde 8 oranında bir artış sergileyerek 3,435,918 GgCO² 'dir.



Şekil 5.6. 2013-2021 Raylı sistem türüne göre karbon ayak izi değişimi

Ankaray ve metro hattı özelinde 2013 ve 2021 yılı salınım miktarına değinecek olursak; Ankaray' dan kaynaklı CO² emisyonu 2013 yılında 508,904 GgCO² değerinden yüzde 3,24 oranında bir azalma göstererek, 2021 yılında 492,418 GgCO² 'e düşmüştür. Metro kullanımından kaynaklı CO² emisyonu 2013 yılında 2,673,737 GgCO² değerinden yüzde 9 oranında bir artış sergileyerek, 2021 yılında 2,943,500 GgCO² değerine yükselmiştir. Karbon ayak izi değişimine ilişkin veriler yukarıda Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. Metro kullanımının (M1,M2,M3) Ankaray kullanımına göre artması, metro hattının güzergahının konut yerleşim alanlarını gezmesi, pandemi döneminde Ankaray hattının kapalı mekan olmasından dolayı metro hattı 2021 yılında Ankaray hattına göre daha fazla sefer düzenlenmiştir.

5.4. Bağımlı Örneklem T Testi Analizi

T testi, istatistikte sıklıkla kullanılan parametrik bir testtir. Parametrik bir test olduğu için de ortalamaları karşılaştırmaya yöneliktir. T-testi sürekli değişkenlerin veya grupların arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek, ya da gözlenen ortalama değer varsayılan ya da öngörülen değerden farklı olup olmadığını test etmek için kullanılır (Ulvi, 2011). Çalışma kapsamında ortak EGO hatlarına ait veriler ve buna bağlı değişkenler analiz edilmektedir. Bu çalışmada temel seviyede Excel 2016 programı ile korelasyon analizi için SPSS 23 programı kullanılmıştır.

Çalışmada M.İ.A. İç kordon hattında hizmet veren Ankara Büyükşehir Belediyesi'ne ait otobüslerin (EGO) 2013 yılı ile 2021 yılı arasındaki sefer sayıları, hat uzunlukları ve emisyon değerleri (gr) bakımından incelemesi yapılmıştır. Burada analiz yapılırken hem 2013 hem de 2021 yılı için ele alınan otobüs hatları birbirinin aynısıdır. Yapılan testlerin hepsinde anlam düzeyi(α) yüzde 5 olarak alınmıştır.

Çizelge 5.5. Değişkenlere ilişkin betimsel istatistikler

	Minimum	Maksimum	Toplam	Ortalama	Std. Sapma
Sefer Sayısı 2013	7	100	1848	47,3846	19,51735
Sefer Sayısı 2021	9	64	1451	37,2051	17,67868
Hat Uzunluğ u2013	11,00	114,00	1662,00	42,6154	23,48305
Hat Uzunluğ u2021	11,00	112,00	1667,00	42,7436	24,67869
Emisyon 2013	88,20	2403,00	33601,15	861,5679	508,92352
Emisyon 2021	60,75	1989,00	26225,10	672,4385	431,76214

Çizelge 5.5.'e göre 2013 yılında belli bir hat için maksimum sefer sayısı 100 iken 2021 yılında bu sayı 64'e düşmüştür. Ancak Hat Uzunlukları bakımından Ortalama olarak neredeyse aynı düzeyde kalmıştır. Emisyon değerleri bakımından ise 2013 yılında 861,57 olurken 2021 yılında 672,4385 olarak ölçülmüştür. Çizelge 5.5.'den elde edilen bulgular için yapılan istatistiksel analiz incelenen hipotezler sırasıyla aşağıdaki gibidir.

H₀: 2013 yılındaki ortalama sefer sayısı ile 2021 yılındaki ortalama sefer sayısı arasında anlamlı bir fark yoktur.

H₁: 2013 yılındaki ortalama sefer sayısı ile 2021 yılındaki ortalama sefer sayısı arasında anlamlı bir fark vardır.

Burada 2013 yılı ile 2021 yılı arasındaki hatların sefer sayılarına ilişkin farkların ortalaması 10,18 km ve standart sapması da 23,05 km olarak elde edilmiştir. Yapılan bağımlı örneklem t testi neticesinde, t test istatistiği 2,76 ve p-değeri 0,01 olarak hesaplanmıştır. Buna göre p-değeri=0,01 < α =0,05 olduğundan yukarıda verilen H₀ yokluk hipotezi reddedilmiştir.

Yani, 2013 yılı ile 2021 yılına ait sefer sayıları ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Başka bir ifade ile Ankara İli M.İ.A., iç kordon hattında 2021 yılı 2013 yılı ile kıyaslandığında daha az sayıda sefer düzenlemektedir.

H0: 2013 yılındaki ortalama hat uzunluğu ile 2021 yılındaki ortalama hat uzunluğu arasında anlamlı bir fark yoktur.

H1: 2013 yılındaki ortalama hat uzunluğu ile 2021 yılındaki ortalama hat uzunluğu arasında anlamlı bir fark vardır.

Burada 2013 yılı ile 2021 yılı arasındaki hat uzunluğuna ilişkin farkların ortalaması -0,13 km ve standart sapması da 7,80 km olarak elde edilmiştir.

Yapılan bağımlı örneklem t testi neticesinde, t test istatistiği -0,103 ve p-değeri 0,92 olarak hesaplanmıştır. Buna göre p-değeri=0,92 > $\alpha=0,05$ olduğundan yukarıda verilen H0 yokluk hipotezi reddedilememiştir. Yani, 2013 yılı ile 2021 yılına ait hat uzunlukları ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamsızdır. Başka bir ifade ile Ankara İli M.İ.A., iç kordon hattında 2021 yılındaki ortalama hat uzunluğu ile 2013 yılındaki ortalama hat uzunluğu anlamlı bir farklılık göstermemektedir.

H0: 2013 yılındaki ortalama emisyon değeri ile 2021 yılındaki ortalama emisyon değeri arasında anlamlı bir fark yoktur.

H1: 2013 yılındaki ortalama emisyon değeri ile 2021 yılındaki ortalama emisyon değeri arasında anlamlı bir fark vardır.

Bu testin sonucu araştırmayı destekler nitelikte olup, sonuç olarak 2013-2021 yıllarında iç kordon hattında hareket eden ortak EGO otobüslerinin hat uzunlukları değişmemiştir. 2021 yılı 2013 yılına göre daha az sayıda sefer düzenlemesine sahip olup bunun sonucunda 2021 yılı emisyon salınımı 2013 yılına göre azalma trendi göstermiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, ulaşılan veriler dahilinde emisyon hesaplamalarında Tier II yaklaşımı ve bağımlı örneklem T testi kullanılmıştır. Söz konusu hesaplamalara göre;

EGO Otobüs Hattı

2013 yılında Tier II yaklaşımı ile hesaplanan emisyon toplam 144 Gg CO² olan otobüs kullanımından dolayı karbon ayak izi değeri yüzde 11.1 oranında düşüş ile 2021 yılına gelindiğinde emisyon miktarı 128 Gg CO² ' e düşmüştür. 2013 yılı ile 2021 yılı karbon ayak izi miktarı karşılaştırıldığında; 2021 yılında, dizel otobüs kullanımı kaynaklı emisyon değerinde yüzde 10,65'lik bir azalma, CNG'li otobüs kullanımıkaynaklı emisyon değerinde yüzde 14,13'lik bir azalma gözlenmiştir. 2013 yılı ile 2021 yılında en çok araç sayısına sahip olan ve bu nedenle sayısal anlamda en fazla emisyon salınımı yayan otobüslerin CNG (doğalgaz) yakıtlı otobüsler olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın doğalgazın (CNG) fiyatı dizelin fiyatının yarısı kadar olması ve CNG yakıtlı otobüs kullanımının dizel yakıt kullanımına göre yüzde 30-35'lik bir kazanç sağlaması nedeniyle otobüsfilosunda CNG' li yakıt türü kullanımlı otobüs sayılarının fazla olması yine dizel-benzin kullanımına göre emisyon salınımında avantaj sağlamaktadır.

Azalan emisyon değerlerinin sebepleri incelendiğinde; 2021 yılında 22 adet dizel otobüsün elektrikli aracadönüştürülmesinden elde edilen emisyon tasarrufu ve dizel yakıt türü kullanan otobüs yerine 3 adet yeni elektrikli otobüs kullanımından kaynaklı emisyon tasarrufu, düzenlenen otobüs sefer sayısındaki azalma, doğalgaz ve elektrikli otobüs kullanımının artması, ilçe özel toplu taşıma araçlarının artması, servis araçlarının artması, raylı sistemin kullanımı ve etkinliğinin artması, taşıt teknolojilerindeki dönüşüm ve pandemi nedenli yolculuk sayılarında azalma gösterilebilir. Bağımlı Örneklem T testi sonuçları baz alındığında sonuçlar araştırmayı destekler nitelikte olup, sonuç olarak 2013-2021 yıllarında iç kordon hattında hareket eden ortak EGO otobüslerinin hat uzunlukları değişmemiştir. 2021 yılı 2013 yılına göre daha az sayıda sefer düzenlemesine sahip olup bunun sonucunda 2021 yılı emisyon salınımı 2013 yılına göre azalma trendi göstermiştir

Raylı sistem hattı

2021 yılında, Ankaray hafif raylı sistem hattı 2013 yılına göre yüzde 3,24 oranında azalma sergileyerek 492,418 GgCO² emisyon salınımı göstermiştir. Yine 2021 yılına kıyasla 2013 yılı Metro ağır raylı sistem hattı emisyon salınımı incelendiğinde, 2013 yılı emisyon değeri yüzde 9 oranında bir artış sergileyerek 2021 yılında 2,943,500 GgCO² emisyon değerine ulaşmıştır.

Metro hattı kullanımının (M1, M2, M3) Ankaray kullanımına göre artması, metro hattının güzergahının konut yerleşim alanlarını gezmesi nedeniyle ev-iş ve ev-okul yolculuklarında daha fazla tercih edilmesi, metro güzergahının açık alanlarda devam etmesi ile yolcular tarafından daha fazla tercih edilmesi, yolculara seyir keyfi sunması, pandemi döneminde Ankaray hattının kapalı mekanda yolculuk sunması gibi nedenlerden dolayı metro hattında 2021 yılında Ankaray hattına göre daha fazla sefer düzenlenmiştir.

Bu sonuçlar günümüz için ümit verici olsa da, kentiçi ulaşım sistemlerinin ana odağı olan merkezi iş alanlarında ivedilikle çevreye duyarlı ulaşım sistemlerinin oluşturulması ve kentsel açık yeşil alan ve kentsel yol ağaçları dikimi gerekmektedir.

Gerçekleştirilen veriler analiz edildiğinde; lastik tekerlekli EGO otobüsünün dizel ve CNG'li araçlarının, Ankaray ve metro hatlarının km başına yaydıkları karbon salınımı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre; 2021 yılı verilerine göre;

- 2021 yılında, 379 km yol kateden dizel EGO otobüsleri toplam 24,310 kgCO² karbon salınımına neden olmuştur. Araçların km başına yaydıkları emisyon, 1 km=64,14 kgCO² dir. Yani hat uzunluğunun 1 km artması nedeniyle doğaya 64,14 kgCO² salınacak olup bu karbondioksidi absorbe edebilecek kentsel yol ağaçları dikkate alınacak olursak; Gül, Tuğluer ve Akkuş (2021) tarafından yapılan araştırmada, kentsel yol ağaçlarının karbon depolama miktarlarına yönelik çalışmalar incelendiğinde yol ağaçlarının ağaç başına tuttıkları karbon miktarı yıllık ortalama 15,2 kgC şeklinde hesaplanmıştır. Buna göre araç km başına; $64,14/15,2 = 4,21$ ağaç dikmemiz gerekmektedir.

- 2021 yılında 1608 km yol kateden CNG'li EGO otobüsü toplam 103,200 kgCO² karbon salınımına neden olmuştur. Araçların km başına yaydıkları emisyon, 1 km=64,17 kgCO² dir. Araç km başına $64,17/15,2=4,22$ kentsel yol ağacı dikmemiz gerekmektedir.
- 2021 yılında 7,826 km yol kateden Ankaray hattı toplam 492,418 GgCO² karbon salınımına neden olmuştur. Araçların km başına yaydıkları emisyon, 1 km=63 kgCO² dir. Araç km başına $63/15,2=4,14$ kentsel yol ağacı dikmemiz gerekmektedir.
- 2021 yılında 46,420 km yol kateden metro hattı toplam 2,943,500 GgCO² karbon salınımına neden olmuştur. Araçların km başına yaydıkları emisyon, 1 km=64,41 kgCO² dir. Araç km başına $64,41/15,2=4,17$ kentsel yol ağacı dikmemiz gerekmektedir.
- Katedilen yol km araç başına harcanılan karbon ayak izi lastik tekerlekli araçlarda raylı sisteme göre daha fazladır. Böylelikle araştırmanın ana hipotezi doğrulanmıştır.
- Bireysel olarak otobüs metro ve Ankaray hattının karbon ayak izini ele aldığımızda km başına en büyük karbon ayak izi metro, daha sonra otobüs ve en az Ankaray'a aittir.

6.2. Öneriler

Toplu taşıma kaynaklı karbon ayak izinin, çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması için emisyon azaltıcı tedbirlerin alınmasının yanı sıra yapılabilecek en önemli çalışmalardan birisi de kentsel yeşil alan ve salınımı absorbe edebilecek ağaç kapasitesinin artırımına yönelik ağaç dikme çalışmalarıdır. Bu çalışmada hesaplanan karbon ayak izinin etkilerinin azaltılmasında hem kent planlaması hem de ulaşım planlamasına yönelik öneriler geliştirilmiştir. Gül, Tuğluer ve Akkuş (2021) tarafından yapılan çalışmada, kentsel yol ağaçlarının karbon depolama miktarlarına yönelik çalışmalar incelendiğinde yol ağaçlarının ağaç başına tuttıkları karbon miktarı yıllık ortalama 15,2 kg C şeklinde hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında 2021'de M.İ.A. İçkordon hattı içerisinde EGO otobüslerinin neden olduğu hesaplanan 128 Gg C salınımını tutmak amacıyla yaklaşık 8,500 ağaç dikilmesi gerekmektedir (128 gigagram = 1,280,000 kilogram / 15,2 kg C = 8421 adet ağaç). Yine 2021

yılı Ankaray ve metro hattından kaynaklı 3,435,928 Gg C salınımını tutmak amacıyla 226,047 ağaç dikmek gerekmektedir.

- Dikilmesi önerilen yani daha fazla karbon salınımını absorbe edebilmek için iğne yapraklı Lübnan Sediri, Beyaz dut, Anadolu karaçamı, Çınar yapraklı akçaağaç ağacı dikimi ve açık yeşil alanlar oluşturulması önerilmektedir.
- Dikilmesi önerilen ağaçların yer seçimi hususunda ilgili toplu taşıma türüne yakın olması önem arz etmektedir. Çünkü ağaç ne kadar taşıt türüne yakın olursa karbon salınımını absorbe etme oranı o kadar artmaktadır.
- Otobüsler yol güzergahlarında hareket ettikleri için bu ulaşım koridorlarına emisyon salınımından daha az etkilenmesi için ayırt edici ve perdeleyici ağaçlandırma çalışmalarına önem verilmelidir.
- Asfalt yerine sürdürülebilir elemanlar tercih edilmelidir. Kent merkezleri ile keşisen alanlarda dönüştürülmüş taş ve tuğla, kırsal alanlarda ise sıkıştırılmış toprak kullanılması önerilmelidir.
- Yenilenebilir yakıt kaynaklarını kullanan ve düşük emisyon salınımı sağlayan temiz araçların kullanımı desteklenmelidir.
- Yeşil alanlar ile bağlantılı tramvay ağlarının geliştirilmesi, yayaları ve bisiklet kullanıcılarını teşvik edecek faaliyetler sağlanması önerilmektedir.
- Daha verimli bir şehir içi otobüs ağı modeli, dönüştürülmüş ve yeni otobüslerin devreye girmesiyle eski otobüsler trafikten kaldırılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Akıllı, H., Kemahlı, F., Okudan, K. ve Polat, F. (2008). Ekolojik ayak izinin kavramsal içeriği ve Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde bireysel ekolojik ayak izi hesaplaması. *Akdeniz İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 08 (15), 1-25.
2. Apaydın, Ş. (2020). Küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri: Türkiye örneği. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 23-42.
3. Atabey, T. (2013). *Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 20-24.
4. Aydın, F. ve Oral, M. (2019). Türkiye'de karayolu ulaşımının tarihsel gelişimi. *Journal of Awareness*, 3(5), 257-266.
5. 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.
6. Binboğa, G. ve Ünal, A. (2018). Sürdürülebilirlik ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin karbon ayak izinin hesaplanmasına yönelik bir araştırma. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (21), 187-202.
7. Carteni, A. (2018). A cost-benefit analysis based on the carbon footprint derived from plug-in hybrid electric buses for urban public transport services. *Article in WSEAS Transactions on Environment and Development*, (14), 125-135.
8. Cengiz Gökçe, G. ve Barış, M. Emin. (2015). Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED)-stratejik çevresel değerlendirme (SÇD) ilişkisi ve peyzaj planlama sürecinde stratejik çevresel değerlendirmenin önemi. *Uluslararası Bilim Kültürü ve Spor Dergisi (IntJSCS)*, (3), 782-792.
9. Chang, C.C., Liao, Y.T. ve Chang, Y.W. (2019). *Life cycle assessment of carbon footprint in public transportation - a case study of bus route no. 2 in Tainan City, Taiwan*. Presented at the 14th Global Production and Management Congress, Taiwan, 388-395.
10. Civelekoğlu, G. ve Bıyık, Y. (2020). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması. *Bilge Uluslararası Bilim ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 78-87.
11. Civelekoğlu, G. ve Bıyık, Y. (2018). Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. *Bilge Uluslararası Bilim ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 157-166.
12. Demirci, M. (2015). Kentsel iklim değişikliği yönetişimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (46), 75-100.

13. Dündar, A. O. ve Kolay, A. (2021). Karayolu yük ve yolcu taşımacılığının çevresel sürdürülebilirlik bakımından değerlendirilmesi ve Konya İli sera gazı emisyonunun hesaplanması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 317-334.
14. Erden Özsoy, C. ve Dinç, A. (2016): Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik ayak izi. *Finans Politik veEkonomik Yorumlar*, (619), 35-55.
15. Erdoğan, H. T. (2016). Ulaşım hizmetlerinin ekonomik kalkınma üzerine etkisi. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 187-215.
16. Gül, A., Tuğluer, M. ve Akkuş, F. G. (2021). Kentsel yol ağaçları envanteri ve karbon tutma kapasitesinin belirlenmesi. *Türkiye Orman Bilimleri Dergisi*, 5(2), 516-535.
17. IPCC (2006). *IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz İlkeler*. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, Paris.
18. Kaplan, H. (2009) Ankara'da çevre dostu ulaşım tür ve düzenlemelerinin yeri yerel yönetim ulaşım uygulamaları yönünden bir irdeleme, *Dosya11: Yerel Yönetimler: Ulaşım ve Su Dergisi*, 55-70.
19. Karadağ, A. (2009). Kentsel ekoloji : kentsel çevre analizlerinde coğrafi yaklaşım. *Ege Coğrafya Dergisi*, 18(1-2), 31-47.
20. Kılınç, E. C. (2021). Ekolojik ayak izi-enerji ar-ge harcamaları ilişkisi: OECD ülkeleri örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 527-541.
21. Latuszynska, M. ve Strulak-Wójcikiewicz, R. (2013). *A model for assessing the environmental impact of transport*. Proceedings conference of the polish society of operation and systems research, operations research and decisions, Poland, 67-80.
22. Li, H., Hao, Y., Xie, C., Han, Y. ve Wang, Z. (2022). Emerging technologies and policies for carbon-neutral transportation. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(1), 329-334.
23. Mızık, E.T. ve Yiğit Avdan Z. (2020). Sürdürülebilirliğin temel taşı: ekolojik ayak izi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 451-467.
24. Önder, H.G. ve Akdemir, F. (2021). Ulaşım modlarının çeşitliliği bağlamında erişebilirlik analizi: Ankara Metropolü İçin Yeni Bir Yaklaşım. *Kent Akademisi Dergisi*, 14(1), 102-121.
25. Özkaynak, A. (2020). *Ev-iş yolculuklarına bağlı karbon ayak izinin lojistik model ile incelenmesi: İstanbul için bir değerlendirme çalışması*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-23.

26. Pan, L., Yao, E., ve Yang, Y. (2016). Impact analysis of traffic-related air pollution based on real-time traffic and basic meteorological information. *Journal of Environmental Management*, 183(3), 510-520.
27. Pampal, S., Avşar, N. ve Özcan, E.A. (2009). Dikimevi Beşevler hattındaki otobüs ve raylı sistemin karşılaştırması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 293-302.
28. Pekin, M.A. (2006). *Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 64-78.
29. Sat, N.A., Gürel Üçer, Z. A., Varol, Ç. ve Yenigül, S.B. (2017). Sürdürülebilir kentler için çok merkezli gelişme: Ankara Metropolitan Kenti için bir değerlendirme. *Ankara Araştırmalı Dergisi*, 5(1), 98-107
30. Sel, A. ve Göktolga, Z. G. (2020). 11. Kalkınma Planı çerçevesinde sektörel CO² salımı değerleri projeksiyonu. *Akdeniz İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(2), 158-168.
31. Sertsöz, M. ve Kuşdoğan, Ş. (2012). *Raylı sistemlerde çevresel etki ve yolcu sayısının enerji tüketimine etkileri*. ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.
32. Sreng, R. (2016). *Otomotiv endüstrisinde karbon ayak izi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 16-19.
33. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023). Ulusal sera gazı emisyon envanteri. *Türkiye Emisyon Envanteri Raporu*. Ankara, 33-37.
34. Ulvi, H. (2011). *Kapalı bir havzada milli parkların ulaşım sisteminin çevre duyarlı modellenmesi için bir yöntem: Beyşehir ve Kızıldağ Milli Parkları örnelemi*. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 8-20.
35. Uysal Oğuz, C. (2010). İklim değişikliği ile mücadelede yerel yönetimlerin rolü: Seattle örneği. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 17(2), 25-41.
36. Üreden, A. ve Özden, S. (2018). Kurumsal Karbon Ayak İzi Nasıl Hesaplanır: Teorik Bir Çalışma. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 98-108.
37. Ünlü, D. (2019). Biyoyakıt bütanolün metal organik kafes (mof) içeren karışıkmatrisli uio-66/pva membranlar kullanılarak pervaporasyon prosesi ile dehidrasyonu. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 275-285.
38. Yang, C.H., Lee, K.C. ve Chen, H.C. (2016). Incorporate activity-based cost constraints and carbon footprint into sustainable public transport infrastructure project decisions. *Cleaner Production Journal*, (133), 1154-1166.

39. Yang, C., D, McCollum., R, McCarthy ve Leighty, W. (2009). Meeting an 80yüzde reduction in greenhouse gas emissions from transportation by 2050: A case study in California. *Transport Research Part D Transport and Environment Journal*, 14(3), 147-156.
40. Yalılı Kılıç, M., Dönmez, T. ve Adalı, S. (2021). Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(3), 943-955.
41. Yıldım, K. (2013). Ankara'nın Batı Koridorundaki Kentsel Gelişimin ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Değerlendirilmesi: Ankara Lojistik Üssü ve Sanayi Bölgeleri Örnekleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (13), 1-22.
42. Yolaşmaz H.A., Çavdar B., Demirci U. ve Aydın İ.Z. (2016). İki farklı yöntemle göre karbon birikiminin tahmin edilmesi: Artvin Orman İşletme Şefliği örneği. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 17(1) , 43-51.



Gazili olmak ayrıcalıktır