

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAMU BİNALARININ KARBON AYAK İZİ MİKTARINDAKİ ROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERHAT CARFİ

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. HASAN YAMIK

BİLECİK, 2022

10507061

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAMU BİNALARININ KARBON AYAK İZİ MİKTARINDAKİ ROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERHAT CARFİ

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. HASAN YAMIK

BİLECİK, 2022

10507061

BEYAN

“Kamu Binalarının Karbon Ayak İzi Miktarındaki Rolü” adlı yüksek lisans tezi projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.	
DESTEK ALINMIŞTIR	DESTEK ALINMAMIŞTIR X
Destek alındı ise;	
Destekleyen kurum;	
Desteğin Türü	Proje Numarası
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)	
2- TÜBİTAK	
Diğer;.....	
ETİK KURUL onayı var ise;	
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....

Serhat CARFİ

.../.../2022

İmza

.....

ÖN SÖZ

Bu çalışmanın fikir aşamasından tez yazım aşamasına kadar beni anlayışla ve nezaketle karşılayan, cesaretlendiren, kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan YAMIK’a değerli katkı ve emekleri için büyük şükran ve saygılarımı sunarım.

Serhat CARFİ

2022



ÖZET

KAMU BİNALARININ KARBON AYAK İZİ MİKTARINDAKİ ROLÜ

Son yüzyılda sanayi ve teknolojinin çok hızlı bir şekilde gelişmesiyle enerji kaynakları, ülkelerin stratejik ihtiyaçları haline gelmiştir. Çünkü enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar, hem mevcut ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmekte hem de bu yakıtların yanmasıyla çıkan zararlı gazlar çevrenin ve atmosferin doğal dengesini bozarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bilimsel kanıtlarla kabul edilen iklim değişikliğinin, görünür ve hissedilir hale gelmesiyle ülkeler ve uluslararası kuruluşlar, sürdürülebilir bir çevre için hızla çalışmalar ve araştırmalar yaparak çözüm arayışları içinde bulunmuşlardır. Bu kapsamda birçok protokol ve anlaşma yapılarak, sera gazlarını azaltmak ve sınırlandırmak amacıyla, taraf ülkeler kendi imkanları ölçüsünde ulusal katkı beyanları sunarak taahhütlerde bulunmuşlardır. Türkiye de 2015 yılında Ulusal Katkı Beyanı hazırlayarak sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar referans senaryoya (BAU) göre, artışı %30 oranına kadar azaltacağını öngörmüştür. Bu kapsamda Türkiye'deki kamu kurumları, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında kendi kaynaklarının ve faaliyetlerinin mevcut durum analizlerini yapmaları gerekecektir. Bununla birlikte gerekli önlemleri ve planlamaları yaparak özel sektör kuruluşlarına ve topluma örnek olacak ve farkındalığın oluşmasını sağlayacaklardır. Bu düşünceden hareketle, Ankara ilinde örnek bir kamu binası seçilerek, binanın dört yıllık elektrik, su, doğalgaz ve servis araçlarının yakıt verileri doğrultusunda karbon ayak izi ölçümü yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda binanın dört yıllık toplam karbon ayak izi miktarı 630.329,26 kgCO₂e bulunmuştur. Çalışma sonunda, binanın en çok kullandığı elektrik enerjisini fotovoltaik panellerle karşılamak için, binanın çatısına yerleştirilecek panel sayısı ve boyutları hesaplanmıştır. Ayrıca binada yapılacak yenilikler ve gözden geçirilmesi gereken eksiklikler belirtilmiştir. Sonuç olarak fosil yakıtların kullanılmasının, çevre kirliliğine ve dolayısıyla iklim değişikliğine neden olduğu bu çalışmayla bir kez daha ortaya konulmuştur. Bu sebeple kamu binaları başta olmak üzere tüm yapılarda kullanılan fosil yakıtları (doğalgaz, kömür, motorin vb.) bilinçli kullanmak ve azaltmak gereklidir. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması için çalışmalar yapılmalı, yatırımların bu alanlara yönlendirilmesi sağlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Ayak İzi, Yenilenebilir Enerji, Alternatif Enerji Kaynakları, DEFRA

ABSTRACT

THE ROLE OF PUBLIC BUILDINGS IN CARBON FOOTPRINT

In the last century with the rapid development of industry and technology, energy resources have become the strategic needs of countries. Because fossil fuels used as energy sources become unable to respond to current needs and the harmful gases released by the combustion of these fuels disrupt the natural balance of the environment and atmosphere and cause climate change. With climate change, which is accepted by scientific evidence, becoming visible and felt, countries and international organizations have searched for solutions by rapidly working and researching for a sustainable environment. In this context, many protocols and agreements have been made and in order to reduce and limit greenhouse gases, the contracting countries have made commitments by presenting national contribution declarations to the extent of their own possibilities. Turkey also prepared a National Contribution Declaration in 2015 and predicted that it would reduce greenhouse gas emissions by up to 30% according to the reference scenario (BAU) until 2030. In this context, public institutions in Turkey will need to analyze the current situation of their resources and activities within the scope of combating climate change. In addition, by making the necessary measures and planning, they will set an example to private sector organizations and society and ensure that awareness is raised. Based on this idea, a sample public building was selected in Ankara and carbon footprint measurement was made in line with the fuel data of the building's four-year electricity, water, natural gas and service vehicles. As a result of the calculations, the total carbon footprint of the building for four years was found to be 630,329.26 kgCO₂e. At the end of the study, the number and dimensions of panels to be placed on the roof of the building were calculated in order to meet the most used electrical energy of the building with photovoltaic panels. In addition, the innovations to be made in the building and the deficiencies that need to be reviewed are indicated. As a result, it has been revealed once again with this study that the use of fossil fuels causes environmental pollution and therefore climate change. For this reason, it is necessary to consciously use and reduce fossil fuels (natural gas, coal, diesel, etc.) used in all buildings, especially in public buildings. In addition, studies should be carried out for the use of renewable energy sources and ensure that investments should be directed to these areas.

Keywords: Carbon Footprint, Renewable Energy, Alternative Energy Sources, DEFRA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇALIŞMALARI	3
2.1. Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü	3
2.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC).....	3
2.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC).....	4
2.4. Kyoto Protokolü	4
2.5. Paris Anlaşması	5
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	7
3.1. Güneş Enerjisi	8
3.1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları.....	9
3.1.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları	10
3.2. Rüzgâr Enerjisi	10
3.2.1. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları	12
3.2.2. Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları	13
3.3. Jeotermal Enerji Kaynakları	13
3.3.1. Jeotermal Enerji Kaynaklarının Avantajları.....	15

3.3.2. Jeotermal Enerji Kaynaklarının Dezavantajları	16
4. KAYNAK ARAŞTIRMALARI VE LİTERATÜR TARAMASI.....	17
4.1. Karbon Ayak İzi.....	17
4.2. Karbon Ayak İzi Bileşenleri.....	18
4.3. Karbon Ayak İzi Çalışmaları.....	20
4.4. IPCC Metodolojisi.....	28
4.5. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	29
4.5.1. IPCC Tier Yaklaşımları	29
4.5.2. Tier 1 Yaklaşımı	30
4.5.3. Tier 2 Yaklaşımı	30
4.5.4. Tier 3 Yaklaşımı.....	31
4.6. İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (DEFRA).....	31
5. MATERYAL YÖNTEM.....	33
5.1. Örnek Bina Bilgileri.....	33
5.2. Elektrik Tüketimi.....	37
5.3. Elektrik Tüketiminden Kaynaklı Karbon Ayak İzi.....	39
5.4. Doğalgaz Tüketimi	42
5.5. Doğalgaz Tüketiminden Kaynaklı Karbon Ayak İzi	44
5.6. Su Tüketimi	46
5.7. Su Tüketiminden Kaynaklı Karbon Ayak İzi	48
5.8. Personel Servisleri.....	50
5.9. Servis Araçlarından Kaynaklanan Karbon Ayak İzi	51
6. BULGULAR	55
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
7.1. Sonuç.....	57
7.2. Öneriler.....	58

7.2.1. Fotovoltaik Panellerle Elektrik İhtiyacının Karşılanması	58
7.2.2. Bina Ekipmanları, Personel Eğitimi ve Servisleri	59
KAYNAKLAR.....	61



TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli.....	11
Tablo 3.2. Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanım alanları (Lindal diyagramı).	15
Tablo 4.1. Karbon ayak izi parametreleri	19
Tablo 5.1. Ankara ilinin yıllık sıcaklık değerleri.....	34
Tablo 5.2. Emisyon kaynakları ve kapsamaları	37
Tablo 5.3. Dört yıllık elektrik tüketim verileri	38
Tablo 5.4. DEFRA 2021 elektrik emisyon faktörü	40
Tablo 5.5. Yıllara göre elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarları	40
Tablo 5.6. Dört yıllık doğalgaz tüketim verileri.....	43
Tablo 5.7. DEFRA 2021 doğalgaz emisyon faktörü	44
Tablo 5.8. Yıllara göre doğalgaz tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarları	45
Tablo 5.9. Dört yıllık ait su tüketim verileri.....	47
Tablo 5.10. DEFRA 2021 su emisyon faktörü	48
Tablo 5.11. Yıllara göre su tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarları.....	49
Tablo 5.12. Yıllara ait resmi gün sayıları ve katedilen toplam mesafe	52
Tablo 5.13. 17 kişilik araçların yıllara ait toplam yakıt tüketimi	52
Tablo 5.14. 27 kişilik araçların yıllara ait toplam yakıt tüketimi	53
Tablo 5.15. DEFRA 2021 dizel emisyon faktörü.....	53
Tablo 5.16. Servis araçlarından kaynaklı karbon ayak izi miktarları	53
Tablo 6.1. Yıllara göre toplam karbon ayak izi miktarları	55
Tablo 7.1 Toplam karbon ayak izi miktarları	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA).....	9
Şekil 3.2. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA-V1).....	12
Şekil 3.3. Türkiye’de jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası	14
Şekil 4.1. Karbon ayak izini oluşturan unsurlar ve oranları.....	18
Şekil 5.1. Ankara’nın konumunu gösteren harita	33
Şekil 5.2. İklim'e göre bina formları ve optimum yön.....	35
Şekil 5.3. Örnek binanın dış görünüşü	36
Şekil 5.4. Örnek bina bodrum kat planı	36
Şekil 5.5. Örnek bina zemin kat planı	37

GRAFİKLER LİSTESİ

Sayfa No

Grafik 5.1. Binanın elektrik tüketim dağılımı	38
Grafik 5.2. Binanın elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi dağılımı.....	41
Grafik 5.3. Binanın doğalgaz tüketim dağılımı.....	43
Grafik 5.4. Binanın doğalgaz tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi dağılımı	45
Grafik 5.5. Binanın su tüketim dağılımı.....	47
Grafik 5.6. Binanın su tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi dağılımı	50
Grafik 6.1. Toplam emisyonların yüzdelik dağılımları.....	58
Grafik 7.1. Toplam emisyonların yüzdelik dağılımları.....	58

KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ

Kısaltmalar

AAT	:Atık su Arıtma Tesisİ
ATY	: Atıklardan Türetİlmİş Yakıt
BAU	: Business As Usual (Referans Senaryo)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DEFRA	: İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı
EBYÜ	: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
EF	: Emisyon Faktörü
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GHG	: Sera Gazı Protokolü
IPCC	: Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KP	: Kyoto Protokolü
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MLF	: Çok Taraflı Fon
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NMVOC	: Metan Olmayan Uçucu Organik Bileşen
NNGA	: Avustralya Enerji ve Çevre Bakanlığı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü

Simgeler

CH ₄	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CO _{2e}	: Karbondioksit Eşdeğeri
EtCO _{2e}	: Emisyon Ton Karbondioksit Eşdeğeri
Gg	: Gigagram
HFCs	: Hidroflorokarbonlar
kgCO ₂	: Kilogram Karbondioksit
kgCO _{2e}	: Kilogram Karbondioksit Eşdeğeri
kWh	: Kilowattsaat
MW	: Megawatt
m ³	: Metre Küp
NF ₃	: Azot Triflorür
NO _x	: Nitrik Oksit
N ₂ O	: Azot Oksit
PCFs	: Perflorokarbonlar
SO ₂	: Sülfür Dioksit
SF ₆	: Sülfür Hekzaflüorür
tCO ₂	: Ton Karbondioksit
tCO _{2e}	: Ton Karbondioksit Eşdeğeri

1. GİRİŞ

İnsanları diğer canlılardan ayıran temel özellikler; zekâsı, mantığı ve fiziksel kabiliyetleri ile ihtiyaç duyacağı aletleri yapma becerileridir. İnsanlar ilk çağlarda, avlanmalarını, besin maddeleri üreticiliğini, barınma alanlarını ve güvenliklerini sağlamak amacıyla çeşitli alet ve hırdavat yaparak, kendilerini korumayı sağlamış ve bu becerileriyle doğayla mücadele ederek hayatta kalmayı başarmışlardır. Bununla birlikte insanlar, bir arada yaşayarak öğrendikleri bilgi ve becerileri başkalarına aktarmışlardır. Yazı ve kâğıdın bulunması, bilgi ve becerilerin depolanmasını sağlayarak uzak mesafelerdeki insanların da bu bilgilere ulaşmasını sağlamıştır. Bilgilerin yazı ve kâğıt yoluyla depolanması, nesiller arasında da bilgi aktarımını sağlayarak, insanoğlunun giderek daha hızlı bir şekilde gelişmesine ortam hazırlamıştır.

İnsanlar enerji kaynağı olarak ilk başlarda odun ateşi ve rüzgâr gücünden faydalanmışlardır. Her geçen yüzyılda yeni buluşlar yaparak gelişen toplumlar, enerjiye daha fazla ihtiyaç duymuşlardır. Özellikle güç üretimi ve aktarımı konusunda, kömürle çalışan buharlı motorlar ile içten yanmalı motorların bulunması, sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesine sağlamıştır. Sanayi devrimi sonucunda oluşan fabrikalaşma ile seri üretim hızla artmaya devam etmiştir. Sanayi devrimi, elektriğin icadı ve teknolojinin gelişimiyle üretim ve tüketim hızla artarak enerji talebini zirveye ulaştırmıştır.

Son yüzyıllarda enerji kaynağı olarak kullanılan kömür, benzin, motorin, lng, doğalgaz gibi fosil yakıtlar yeterli düzeyde üretilip piyasalara verilse de bu tip yakıtlar sonsuz ve tükenmeyen enerji kaynakları değildir. Miktarları yakın zamanda talepleri karşılayamayacak seviyeye inecektir. Ayrıca fosil yakıtların tükenmesinden ziyade başka bir önemli konu, bu yakıtların kullanılması sonucunda çevre kirliliğinin oluşmasıdır. Dünyamızın sürdürülebilirliği açısından fosil yakıtların kullanımı sonucunda oluşan zararlı gazlar sebebiyle, yeryüzünün kirlenmesinin yanı sıra atmosferin doğal yapısının zarar görerek dünyanın ısıl dengesinin de bozulduğu anlaşılmıştır.

Aslında fosil yakıtların kullanılması sonucunda oluşan gazlardan biri olan karbondioksit ve diğer sera gazları, dünyanın oluşumundan beri atmosferde bulunmaktadır. Atmosferin içerisinde bulunan karbondioksit ve diğer gazlar, güneşten ve yeryüzünden gelen ısıyı atmosferin içerisinde tutarak ısıl dengeyi oluşturmakta ve dünyamızı yaşanabilir bir yer kılmaktadırlar. Ancak son iki yüzyılda hem insanların günlük yaşamında hem de sanayi ve endüstride çok fazla enerji tüketilmesiyle oluşan zararlı gazlar atmosferdeki doğal denge

sınırının aşılmasına sebep olmuştur. Atmosfere salınan zararlı gazlar, normalin üstünde ısının atmosferde tutulmasına neden olup yer yüzeyinin küresel ortalama sıcaklığı artırmaktadır. Küresel ortalama sıcaklığının artması; doğal dengenin bozulmasına ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Sonuçta, günümüzde insanların günlük olarak harcadıkları enerji, üretilen ve tüketilen her malın oluşturduğu sera gazları dünyamızın geleceğini tehlike altında tutmaya artarak devam etmektedir (Yalova ÇSB, 2016).

Artan enerji ihtiyacının fosil yakıtlarla sürdürülebilir olmayacağı, belirli bir süre sonra bu kaynakların yetmeyeceği, zamanla tükeneceğinin bilindiği ve ayrıca fosil yakıtların çevreye verdiği tahribatın bilimsel olarak kanıtlandığı göz önüne alındığında, artık yeni kaynakların devreye alınması gerektiği kabul edilen bir gerçektir. Yeni kaynakların araştırılması ve devreye alınması aşamasında, çevre kirliliği ve iklim değişikliğine neden olmayan yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır.

Son yıllarda iklim değişikliğinin etkilerini durdurmak, azaltmak ve çözüm üretmek için çok sayıda araştırma ve planlama yapılmıştır. Bu kapsamda, gelişmiş ülkeler ve uluslararası kuruluşlar bir araya gelerek iklim değişikliğiyle mücadeleyi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını sağlamak için birçok protokol ve anlaşma yapmıştır. Türkiye iklim değişikliğiyle mücadeleye paydaş olarak katkı sunmak için 7 Ekim 2021’de Paris Anlaşması’nı onaylayarak kabul etmiştir.

Türkiye, Paris Anlaşması’nı kabul ettikten sonra iklim değişikliğiyle ilgili çalışmalar hızlı bir şekilde yapılmaya başlanmış ve alınması gereken önlemler belirlenmiştir. Bu kapsamda, Türkiye’deki kamu binalarının mevcut durum analizini yapabilmek ve yeni yapılacak kamu binalarının proje aşamasında ne gibi yenilikler ve önlemler alınması gerekeceğini görmek için; Ankara ilinde örnek bir kamu binası seçilerek, binanın elektrik, su ve doğalgaz tüketimleriyle, servis araçlarının tükettiği yakıtlar sonucunda oluşan karbon ayak izi ölçümü yapılmıştır. Çalışma sonunda binada yapılması gereken önleyici faaliyetler sıralanmış ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak fotovoltaik panellerden faydalanılması gerektiği belirtilmiştir.

2. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇALIŞMALARI

2.1. Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü

Ozon tabakasında incelmeye sebep olan maddelerin azaltılması kapsamında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların ilki diyebileceğimiz “Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi” 1985 yılında imzalanmıştır. Sözleşme imzalandıktan sonra, atmosferi korumak amacıyla zararlı maddelerin kullanılmasının ve üretilmesinin belirli çerçeveler içerisinde kontrol altında tutulmasını sağlamak amacıyla, “Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü” 1987 yılında kabul edilmiştir. İlerleyen süreçlerde protokoldeki azaltım taahhütleri artırılarak iyileştirmeler yapılmış ve bu taahhütlerde güncellemeler yapılmıştır. İmzalanan anlaşma maddelerine eklemeler yapılarak yapılan güncellemeler ek önlemler alınmasına olanak sağlayıp yeni maddelerin de denetim altına alınmasını sağlamıştır.

Montreal Protokolü’ne 196 ülke taraf olmuştur. Protokol, çevre hassasiyeti ve alınması gereken önlemler konusunda oluşturulmuş çok taraflı ve geniş kapsamlı bir anlaşmadır. Gelişmiş ülkelerin katkıları ile 1990 yılında Londra’da Montreal Protokolü’nün tarafları tarafından uygulanabilmesi için Çok Taraflı Fon (MLF) oluşturulmuştur.

Montreal Protokolü ile ozon tabakasının incelme sebepleri ve bu incelmeye sebep olan maddelerin araştırıldığı dönemlerde, araştırma sonuçlarının henüz kesinlik kazanılamamış bilimsel sonuçlarıyla çok taraflı bir anlaşma metni oluşturularak bu maddelerin kısıtlanması öngörülmüştür. Ozon tabakasının incelmesinin önlenmesi amacıyla uygulamaya konan bu model, iklim değişikliğini önleme çalışmalarında bir nevi emsal görevi görmüştür. Bu kapsamda Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin (UNFCCC) düzenlenmesi ve kabul edilmesinden önce Montreal Protokolü’nün kabul edilip farkındalık oluşturması bir dönüm noktası olmaktadır (Dışişleri Bakanlığı, 2022).

2.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)

1988 yılında Birleşmiş Milletler’e bağlı olarak faaliyetlerini yürüten iki kuruluş tarafından, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) düzenlenmiştir. Bu uzman kuruluşlar, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) olup, iklim değişikliği konusunda karar vericilere yol göstermek için çalışmalar yapmaktadır. Yapılan çalışmalara örnek olarak; sosyo-ekonomik bilgi ve çalışmaların değerlendirilmesi, mevcut bilimsel ve teknik çalışmalar olarak sıralanabilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, 2022).

2.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), 1992 yılında kabul edilip 21 Mart 1994 tarihinde imzalanarak yürürlüğe konmuştur. İklim değişikliğine karşı küresel olarak tepki oluşturmak amacıyla oluşturulmuştur. 194 taraflı olarak imzalanan sözleşme, neredeyse tüm ülkelerin katılımına ulaşmıştır denebilir. Bu sözleşme ile atmosferde oluşan sera gazlarının iklim sistemi üzerinde oluşturduğu etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurma amaçlanmaktadır. UNFCCC iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında, yükümlülükleri ve kuralları belirleyen çerçeve sözleşme niteliğindedir. Sözleşme ile iklim sisteminin, başta sanayi ve endüstri olmak üzere çeşitli sektörlerden kaynaklanan karbondioksit ve diğer sera gazı salımlarından etkilenebileceği kabul edilmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı , 2022).

2.4. Kyoto Protokolü

UNFCCC, iklim değişikliğiyle mücadelede kendisinden sonra yapılacak çalışmaların ilk temel adımını teşkil etmiştir. Ancak önlemler alınmadığı ve farkındalıklar oluşmadığı için, sera gazı emisyonları artışı sürerek, iklim değişikliği etkileri küresel olarak daha fazla görünür hale gelmiştir. Bunun üzerine önleyici tedbirler ile çeşitli farkındalık faaliyetleri üzerine araştırmalar yapılarak çözüm arayışlarına devam edilmiştir. Bu kapsamda, gelişmiş ülkelerin bağlayıcı yükümlülükler üstlenmeleri gerektiği hissedilmiştir. Ülkelerin bazı yükümlülükler üstlenmelerini sağlamak amacıyla alınacak önlemler müzakere edilmeye başlanmıştır. Bunun sonucunda UNFCCC'yi imzalayan ülkeler, sözleşmenin niteliklerini güçlendirmek amacıyla bir araya gelip Kyoto Protokolü (KP) için çalışmaya başlamışlardır. Bu araştırma ve müzakere çalışmaları 1997 yılında tamamlanmış ve 3. Taraflar Konferansı Kyoto'da yapılarak kabul edilmiştir. 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne, halen 191 ülkeyle beraber Avrupa Birliği de taraf olarak yer almaktadır.

Kyoto Protokolü'nde, firmalar ve işletmeler tarafından karbon ayak izi raporlanması ve hesaplanması gereken gazlar aşağıda sıralanmıştır.

- Karbon dioksit (CO₂)
- Metan (CH₄)
- Azot oksit (N₂O)
- Hidroflorokarbonlar (HFCs)
- Perflorokarbonlar (PCFs)
- Sülfür hekzaflüorür (SF₆)

- Azot triflorür (NF₃)

Protokole taraf ülkeler, ürettikleri sera gazlarında azaltım ya da kontrollü artış yükümlülüklerini üstlenmişlerdir. Yükümlülüğü olan ülkeler birinci taahhüt dönemini kapsayan 2008-2012 yıllarında emisyon oranlarını 1990 yıllarındaki seviyelerinin %5 altına düşürmeyi hedeflemişlerdir. Sera gazı emisyonlarını belirtilen hedeflere düşürmeleri için yükümlülüğü olan her ülke, çeşitli oranlarda azaltım ve sınırlandırmalar öngörmüştür (Dışişleri Bakanlığı, 2022).

2.5. Paris Anlaşması

Dünya çapında toplam sera gazı emisyonunun %55'ini oluşturan ülkelerin bir araya gelerek anlaşmadaki maddeleri kabul ve taahhüt etmeleri sonucunda, 4 Kasım 2016 tarihinde Paris Anlaşması imzalanmıştır. Türkiye de bu anlaşmaya taraf olup, 175 ülkenin temsilcisiyle beraber 22 Nisan 2016 tarihinde New York'ta düzenlenen törende bu anlaşmayı imzalamıştır.

Paris anlaşması, iklim değişikliğiyle mücadele edilirken yoksulluğun azaltılması ve sürdürülebilir kalkınmayı amaç edinmektedir. Bu sebeple UNFCCC'nin uygulamalarını da destekleyerek geliştirmeyi hedef olarak görmektedir. Anlaşma yürürlüğe girdikten sonra yapılacak çalışmalarla küresel ortalama sıcaklığını sanayileşme öncesi dönemlere göre 2 °C altında tutmayı planlamıştır. Bu plana ek olarak mümkünse bu artışı 1,5 °C altına indirmeye yönelik yapılacak çabaların ve çalışmaların sürdürülmesi plan dahilindedir. İklim değişikliği sonucu oluşan olumsuz etkilere karşı uyumun sağlanabilmesi ve iklim direncinin artırılması için çaba sarfedilmesi gerektiği belirtilmektedir. Sera gazı emisyonunu azaltarak ya da düşük tutarak kalkınmanın sağlanması ve bunlar gerçekleştirilirken, gıda üretiminde bir aksama olmaması ya da üretimin zarar görmemesi hedefler arasında yer almaktadır. Aynı zamanda düşük emisyonlu kalkınmayı desteklemek için finans akışının istikrarlı bir şekilde sürdürülmesi gerektiği belirtilmektedir.

Anlaşmada açıklanan hedeflere ulaşmak için yapılacak çalışmalar sırasında prensip olarak "Ortak Fakat Farklılaştırılmış Sorumluluklar ve Göreceli Kabiliyetler" ilkesi kabul edilmiştir. Bu ilkeye göre, taraf ülkelerin kendi imkanları ölçüsünde küresel iklim değişikliğiyle mücadele eylemlerine katkı sunmaları amaçlanmıştır. Ülkelerin anlaşma uyarınca "Ortak Fakat Farklılaştırılmış Sorumluluklar ve Göreceli Kabiliyetler" ilkesi gereği gerçekleştirmeleri gereken faaliyetleri 5 yılda bir sözleşme sekreteryasına sunmaları gerekmektedir. Ulusal Katkı Beyanı adı verilen beyanlarında uyum, finans, azaltım, kapasite inşası ve teknoloji transferi

konularında anlaşmanın temel hedeflerini yerine getirmeyi sağlayacak faaliyetleri yer almaktadır.

Türkiye bu kapsamda yaptığı ve yapacağı faaliyetlerin yer aldığı Ulusal Katkı Beyanını hazırlayarak 30 Eylül 2015 tarihi itibariyle sekretaryaya sunmuştur. Türkiye'nin hazırladığı beyanda, sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar mevcut referans senaryoya (BAU) göre, %21 oranına kadar azaltılacağı öngörülmüştür.

Türkiye Büyük Millet Meclisi, “Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun”u onaylayarak uygun bulmuş ve Kanun 7 Ekim 2021 tarihinde Resmî Gazete’de yayınlanıp yürürlüğe girmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı , 2022).



3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

İnsan nüfusunun Türkiye’de ve dünyada her geçen gün artması, sanayi ve teknolojinin sürekli gelişmesi enerji ihtiyacına olan talebi sürekli artmaktadır. Gelişen insan konforuyla beraber enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık her geçen gün giderek artmaya devam etmektedir. Artan enerji ihtiyacının kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerji ile karşılanması, insan sağlığını ve çevreyi daha fazla etkilemeye devam ederek sürdürülebilir bir dünyanın önündeki bir tehdit haline gelmiştir. Geleneksel enerji kaynaklarının sanayi, ulaştırma ve konutlarda yaygın olarak kullanılması, fosil yakıt sorununu ve çevre kirliliğini daha da karmaşık bir hale getirmektedir. Fosil yakıtlar, genel olarak hayvan ve bitki kalıntılarının uzunca bir zaman toprak altında kalarak, basınca ve yüksek sıcaklıklara maruz kalmasıyla oluşmaktadır. Dünyamızdaki fosil yakıtların, hayvansal ve bitkisel atıkların çok uzun bir zaman diliminde fosilleşerek oluştuğunu düşünürsek teorik olarak yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak fosil kaynakların istismar edilerek, hızlı bir şekilde çıkarılıp enerji kaynağı olarak kullanılması sonucunda, çok yakın bir gelecekte bu kaynakların tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalınacağı kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu sebeple fosil yakıtların dünyamızda sonsuz olmadığı, yakın gelecekte tükeneceği ve ayrıca çevreye verdiği zararın ne kadar büyük olduğu göz önüne alındığında, devletler tarafından ulusal ve uluslararası ölçekte alternatif enerji kaynakları arayışına gidildiği, ancak iklim değişikliğiyle mücadelede henüz yeterli bir seviyede olmadığı anlaşılmaktadır. Fosil yakıtların hem kısıtlı olması hem de çevreye verdiği tahribat bilimsel olarak kanıtlandığından, artan nüfusun ve gelişen sanayinin ihtiyacı olan enerjiyi, geleneksel enerji kaynaklarına alternatif ve emisyonsuz kaynaklardan karşılamak bir zorunluluk haline gelmiştir. Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları olarak aşağıdaki enerji kaynakları gösterilmektedir.

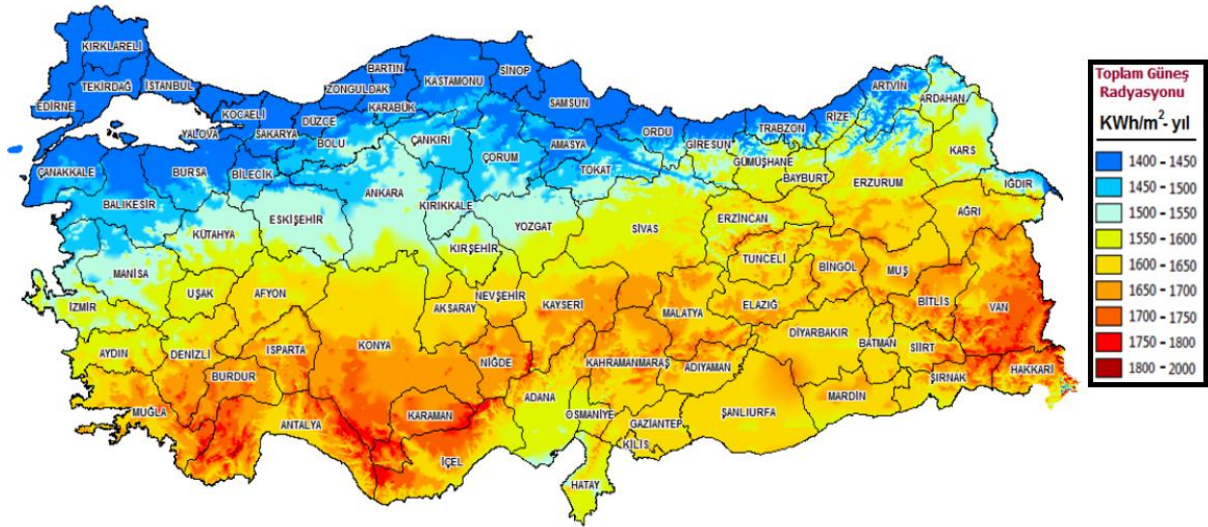
- Güneş Enerjisi
- Rüzgâr Enerjisi
- Biyokütle Enerjisi
- Jeotermal Enerji
- Hidroelektrik Enerji
- Hidrojen Enerjisi
- Dalga Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal kaynaklardan elde edilir. Sürdürülebilirliği olan, temiz ve tükenmez enerji kaynaklarıdır. Doğal kaynaklardan elde edildiği için fosil yakıtlar gibi zamanla tükenmezler. Çevre kirliliği ya hiç olmadığından ya da çok düşük düzeyde olduğundan, karbon emisyonunu azaltır ve birçok farklı alanda kullanılabilir. Yukarıda maddeler halinde verilen yenilenebilir enerji kaynaklarından, Türkiye’de önemli potansiyele sahip, bina ve konutlarda, daha çok uygulanabilirliği olan yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynakları detaylı bir şekilde ele alınarak, mevcut durumlarından aşağıda bahsedilmiştir.

3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten dünyaya ışıma sonucu gelen ışınların direkt olarak ya da dolaylı yollardan elde edildiği bir enerji türüdür. Çevreyi kirlilemez, gürültüsüz, temiz ve en bol bulunan bir enerji türüdür. Yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji türü olan güneş enerjisi, bilimsel tanımlamayla; güneşin çekirdeğinde hidrojen gazının helyuma dönüşmesi (füzyon süreci) ile açığa çıkan ışıma enerjisi olarak tanımlanabilir. Güneşten gelen enerji, yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ W güce sahiptir. Bu güç dünyadaki tüm enerji ihtiyacını karşılayacak seviyededir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Türkiye coğrafi konum olarak Kuzey Yarımküre’de bulunup, 36° - 42° kuzey enlemleri ile 26° - 45° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli, bulunduğu coğrafi konum özelliğinden dolayı yüksektir. Bu özelliği, dünyadaki birçok ülkenin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelinden fazladır. Türkiye, güneş kuşağı içinde yer almaktadır. Bu avantajlı durumuna rağmen, doğal ve yenilenebilir bir enerji olan güneş enerjisinden, yeterince faydalanamamaktadır (Vikipedi, 2022).



Şekil 3. 1. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA).

Kaynak: (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

Şekil 3.1’de bulunan Türkiye enerji potansiyeli haritasında, güneşten gelen ışımanın hangi bölgelerde ve şehirlerde, ne düzeyde olduğu farklı renklerle gösterilmektedir. Açık ve koyu kırmızı renklerle gösterilen yerler, maksimum düzeyde ısıma enerjisinden yararlanılabilecek alanlardır. Radyasyon değerleri 1600-1800 kwh/m²-yıl arasındaki en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olan bölge Güney Doğu Anadolu Bölgesi iken, en düşük potansiyele sahip bölgeler 1400-1500 kwh/m²-yıl ile Karadeniz ve Marmara bölgeleri olduğu görülmektedir. Haritadaki en düşük potansiyele sahip olan bölgelerin bile, Avrupa’nın bazı bölgelerindeki en yüksek güneş enerjisi potansiyelinden daha yüksek olduğu bilinmektedir (Kaynar, 2020, s. 48-54). Şekil 3.1’deki Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre, güneşten gelen ısıma sonucu, Türkiye’de oluşan ortalama yıllık güneşlenme süresi 2741,07 saat olup, ortalama yıllık toplam ışıınım değeri ise 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

3.1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

- Güneş enerjisi, canlılar için gerekli temel enerji kaynağıdır.
- Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Dış kaynaklara bağımlı olmadığı için her ülke kullanabilir.
- Güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağının kullanılmasında, farklı bir yakıta ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Fotovoltaik güneş panelleri kullanılarak, güneş enerjisinden elektrik üretimi gerçekleştirmek mümkündür. Bu fotovoltaik panellerle elektrik üretimi gerçekleştirirken

ve bu elektriğin kullanımı sırasında, çevreye herhangi bir olumsuz etki oluşmamaktadır.

- Isıl güneş teknolojileriyle güneş ışınlarının yoğunlaştırılması sonucunda üretilen enerji; konutlar ve binalarda, endüstriyel işletmelerde, sanayide ve seralarda; havalandırma, ısıtma, soğutma ve çeşitli makinelerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi olarak kullanılabilir.
- Dünyada mevcut tüketilen enerji kaynaklarının büyük bir kısmının, güneşten gelen ışımanın yerkürede çeşitli tepkimeler oluşturarak enerji kaynaklarını oluşturduğu bilinmektedir.

3.1.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

- Elektrik üretimi için kurulacak paneller için geniş arazilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, güneşlenme oranına bağlı olarak iklim şartlarından etkilenmektedir.
- Güneş enerjisinden üretilen enerjiyi dağıtmak ve depolamak için oluşan ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.
- Güneş panellerinden oluşturulacak elektrik üretim verimi %12-20 civarında olduğu için verimi düşüktür.
- Gölge durumlarında ciddi verim kaybı görülebilmektedir.

3.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, farklı kaynaklarda benzer tanımlarla ifade edilse de genel olarak, güneşin yaydığı radyasyonun, dünyanın her yerinde eşit olmamasından kaynaklanan sıcaklık farklarıyla oluşan hava hareketleri olarak ifade edilebilir. Dünyanın şekli, yüzey şekilleri, yüzeyin bulunduğu bölgenin bulutlanma seviyesi ve güneşi görme açısıyla, güneş ışınlarının dünyanın yüzeyine farklı etkileri söz konusudur. Güneşten gelen radyasyonun etkisiyle farklı bölgelerde farklı sıcaklıklar oluşur ve böylece sıcak havayla soğuk havanın yer değişiminin etkisiyle farklı basınç bölgeleri oluşarak rüzgârın oluşmasını sağlar. Güneşten dünyaya gelen enerjinin yaklaşık olarak %2'sinin rüzgâr enerjisine dönüştüğü bilinmektedir.

Milattan önceleri bile rüzgâr tanımının bilinmemesine rağmen rüzgâr gücünden yani enerjisinden farklı alanlarda faydalandığı bilinmektedir. Örnek vermek gerekirse, yelkenli gemiler, su kuyularından su çıkarma, yel değirmenleri ve tarımda sulama olarak sıralanabilir (Durak ve Özer, 2008, s. 1-2).

Basit bir tanımla, itme gücü bulunan rüzgârın önüne dönme kabiliyeti olan bir engel yerleştirilmekte, rüzgâr ise bu engele çarptığında, rüzgârda bulunan kinetik enerji dönme

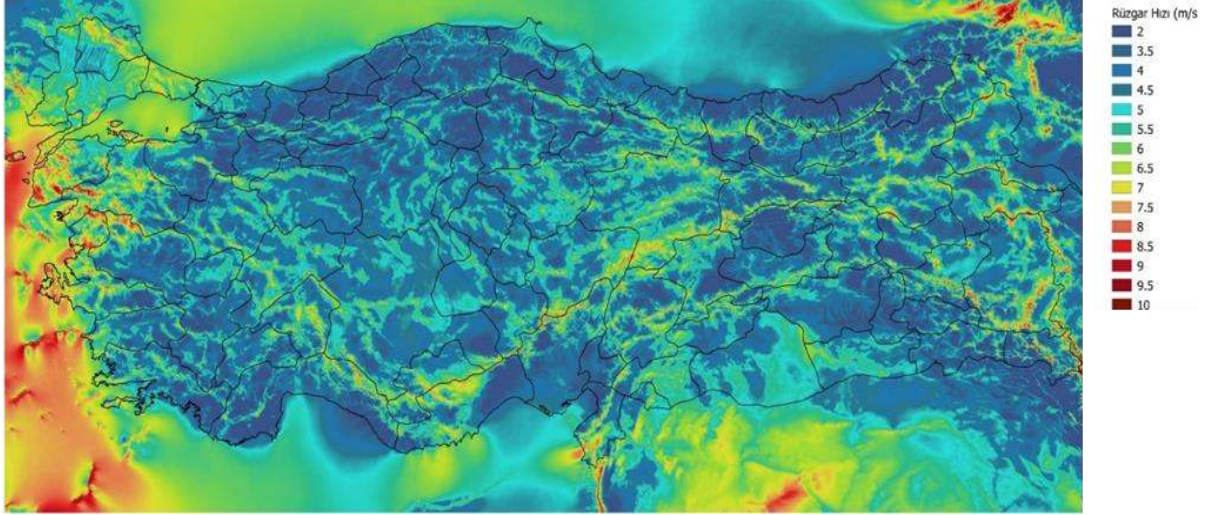
kabiliyeti olan bu engelin hareket ederek dönmesini sağlamaktadır. Bu şekilde rüzgârda bulunan kinetik enerji mekanik enerjiye çevrilmiş olur. Oluşan bu mekanik enerji jeneratör vasıtasıyla da elektrik enerjisine çevrilir. Günümüzde oluşturulan bu sistemlere rüzgâr türbinleri denmektedir ve piyasada farklı çeşitleri bulunmaktadır.

Rüzgâr enerjisi ticari olarak düşünüldüğünde temiz, arazi dostu, uygulama esnekliği ve düşük maliyetli olmasından dolayı en elverişli yenilenebilir enerji türlerinden biridir. Türkiye’de ve dünyada rüzgâr enerji kaynaklarının, sayılan özelliklerinden dolayı ilgi her geçen gün artmaktadır. Türkiye, rüzgâr enerji potansiyeli fazla olan ülkelerdendir. Türkiye’de 2006 yılında hazırlanmış Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlasına (REPA) göre, Türkiye’de kurulabilecek rüzgâr santralleri, 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzerinde rüzgâr hızı oluşması koşullarıyla kurulabilecek rüzgâr santrallerinin, kilometrekare başına 5 mega watt (MW) gücünde olacağı kabul edilmiştir. Oluşturulan bu kabuller doğrultusunda, sayısal rüzgâr akışı ve hava tahmini modelleri kullanılarak Türkiye’nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası hazırlanmıştır. Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık olarak 48.000 MW olarak belirlenmiş olup Tablo 3.1’de detaylı bir şekilde gösterilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Tablo 3. 1. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli

Rüzgâr Sınıfı	Yıllık Güç Yoğunluğu (W/m ²)	Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Kapasite (MW)
4	400-500	7,0-7,5	29.259,36
5	500-600	7,5-8,0	12.994,32
6	600-800	8,0-9,0	5.399,92
6	>800	>9,0	195,84
Toplam Kapasite			47.849,44

Türkiye’de, 100 metre yükseklikte yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımına ait harita aşağıdaki Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3. 2. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA-V1)

Kaynak: (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022)

3.2.1. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları

- Rüzgâr enerjisi temiz, çevreci, sürekliliği olan ve doğrudan kullanılabilen, yakıtı rüzgâr olduğundan yakıt maliyeti olmayan, yerli bir enerji türüdür. Kullanıldığında fosil yakıtların tüketimini azalttığı için atmosferin kirlenmesini azaltmaktadır.
- Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi gerçekleşirken, çevreye hiçbir sera gazı ya da zararlı gazlar salınmamaktadır.
- Türkiye'nin rüzgâr enerji potansiyeli yüksek olduğu için, yeterince yatırım ve teşvikler uygulandığında önemli bir seviyede temiz enerji piyasaya sürülebilecektir.
- Rüzgâr enerji sektörü, bulunduğu bölgede istihdam yaratarak işsizliği azaltmaya katkı sağlamaktadır.
- Kırsal alanlarda elektrik üretimi için kiralanın veya satın alınan araziler, bu yörelerde yaşayan insanlara önemli bir gelir kaynağı oluşturmaktadır.
- Geleneksel elektrik üretimi için oluşturulan altyapı, şebeke yatırımları ve güç santralleri, pahalı ve zordur. Ancak rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi, göreceli olarak daha hızlı ve ucuz devreye alınabilmektedir.
- Rüzgâr enerjisinden sadece ticari amaçla faydalanılması düşünülmemelidir. Konutların veya kırsal alanlardaki müstakil evlerin ihtiyaçları için de kullanımı kolaylıkla olabilmektedir.
- Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi sağlanırken, havanın aydınlık veya karanlık olması önem arz etmemektedir.

3.2.2. Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları

- Rüzgâr türbinlerinden elektrik üretimi için rüzgâr hızının optimum seviyede olması gerekir. Rüzgâr hızı belirli seviyelerin üstündeyse çalışmaz veya zarar görür. Rüzgâr hızı belirli seviyelerin altında kalırsa rüzgâr türbinleri çalışmaz.
- Her ne kadar ilk yatırım teşvikleri olsa bile, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için kurulan türbinlerin maliyeti yüksektir.
- Ticari anlamda kurulan rüzgâr türbinleri yüksek yerlerde veya uzak bölgelerde kuruldukları için, şebekeye bağlantı problemi vardır.
- Rüzgâr türbinlerinin gürültü problemi vardır. Yakın yerlerdeki yerleşim alanları bu gürültüden rahatsızlık duyma durumu oluşmaktadır.
- Rüzgâr hızı belirli alanlarda ve bölgelerde uygun olmaktadır. Bu sebeple doğru ölçümlere ve rüzgâr haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Rüzgâr türbinlerinin göç yollarının üstünde kurulması, kuş sürülerine zarar verdiği ve göç yollarının değiştirilmesine yol açtığı düşünülmektedir.

3.3. Jeotermal Enerji Kaynakları

Jeotermal enerji, yer yüzeyinin farklı derinliklerinde mevcut birikmiş ısının etkisiyle, sıcaklıkları yerel atmosferik sıcaklıkların üzerine çıkan, içerisinde erimiş halde bulunan mineral ve tuzlar ile sıcak su, buhar ve gaz şeklinde yerüstüne taşınan ısı enerjisi olarak tanımlanabilmektedir. Jeotermal akışkanı oluşturan sıcak su, buhar ve gaz, atmosferik koşullar dünyada devam ettiği sürece bu enerji kaynakları yenilenmektedir. Jeotermal kaynakların ısı kaynağını dünyanın merkezinde bulunan magma oluşturmaktadır. Sıcaklığı yaklaşık olarak 4200 °C olan magma, dünyanın merkezinde eriyik halde bulunmaktadır. Yeryüzündeki çatlaklar ve kırıklar ile yüzeyden süzülen akışkanlar yeraltının derinliklerindeki magmanın etkisiyle ısındıktan sonra bu akışkanlar fay hatları ile yüzeye yükselerek yenilenebilir enerji kaynağı olarak tarif edilen jeotermal kaynakların oluşma süreci tamamlanır. Çatlakların ve kırıkların olmadığı bölgelerde yer yüzeyine kendiliğinden çıkamayan jeotermal kaynaklar, sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkarılmaktadır (Arslan, 2001, s. 22).

Jeotermal kaynaklar, eski çağlardan bu yana kaplıca olarak kullanılmış ve hastalıklara iyi geldiği düşünülerek bu kaplıcalar tedavi amaçlı olarak faaliyet göstermiştir. Milattan önce Çinliler ve Romalıların milattan önce, ısınma ve temizlenme amacıyla bu kaynaklardan faydalandıkları bilinmektedir. (Vikipedi, 2022). İlkel yollarla ısıtma amaçlı olarak da kullanıldığı bilinmektedir. Sanayinin gelişmesi ve teknolojinin ilerlemesiyle, ilk olarak 20.

Kaynak: (Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022)

Türkiye’de bulunan jeotermal kaynakların %90’ı, düşük ve orta sıcaklıkta bulunmaktadır. Bu kaynaklar doğrudan uygulanarak ısıtmada, termal turizmde ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir. Kaynakların %10’u ise dolaylı uygulanarak elektrik enerjisi elde etmek için uygundur (Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022).

Tablo 3. 2. Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanım alanları (Lindal diyagramı).

Sıcaklık (°C)	Kullanım Alanları
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması, elektrik üretimi, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170	Diatomitlerin kurutulması, ağır su ve hidrojen sülfid eldesi
160	Kereste kurutmacılığı ve balık kurutmacılığı
150	Bayer's metodu ile alüminyum eldesi
140	Konservcılık ve çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması
130	Şeker endüstrisi ve tuz endüstrisi
120	Distilasyonla temiz su elde edilmesi
110	Çimento kurutmacılığı
100	Organik maddeleri kurutma (Deniz yosunu, çimen, sebze), yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma (stok balık)
80	Yer ve sera ısıtmacılığı
70	Soğutma (Alt sıcaklık limiti)
60	Sera, ahır ve kümes ısıtmacılığı
50	Mantar yetiştirme ve balneolojik hamamlar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermentasyonlar ve damıtma
20	Balık çiftlikleri

Kaynak: (Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2022)

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak jeotermal akışkanların farklı sıcaklıklarda kullanım alanlarını göstermek amacıyla Tablo 3.2'de Lindal Diyagramı oluşturulmuştur. Diyagram incelendiğinde, bir jeotermal kaynağın sıcaklığına bağlı olarak ikinci bir işte kullanılabildiği görülmektedir. Örnek vermek gerekirse, yüksek sıcaklardaki akışkanın elektrik üretiminde kullanılmasından sonra bu akışkanın sıcaklığı düştüğünde, soğutma veya ısıtma alanında da kullanılabilmektedir.

3.3.1. Jeotermal Enerji Kaynaklarının Avantajları

- Yeraltından çıkarılan doğal bir kaynaktır. İşlenmesi gibi bir durum söz konusu değildir. Çevresel etkileri fosil yakıtlara göre çok düşük olduğundan sifıra yakın emisyonu sahiptir.
- Jeotermal kaynaklar, temiz ve yenilenebilir enerji kaynağıdır. Enerji ihtiyacı olarak dışa bağımlılığı azaltır.
- Sahip olduğu ısı ve sıcaklık sayesinde elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma gibi çok farklı alanlarda kullanılabilir.

- Jeotermal enerji rüzgâr, yağmur ve güneş gibi günlük meteorolojik olaylardan etkilenmeden tüm yıl boyunca enerji kaynağı olarak kullanılabilir.
- Jeotermal enerji kaynakları, kurulumu kolay ve verimi yüksek bir doğal kaynaktır.
- Jeotermal enerjinin kullanımı için kurulan sistemlerin bakımı kolay ve gürültüsüzdür.

3.3.2. Jeotermal Enerji Kaynaklarının Dezavantajları

- Jeotermal enerji kaynaklarının sondajı sırasında, işletmenin test aşamasında ve tesis sınırlarında gürültü oluşmaktadır. Elektrik üretimi esnasında trafo, elektrik santrali ve soğutma kulesinde gürültü meydana gelebilmektedir.
- Jeotermal enerjiden elektrik üretimi için kurulan tesislerin kuruluş maliyeti yüksektir.
- Jeotermal enerji sahaları yerleşim yerlerinden uzakta ise dağıtımı zor ve maliyetli olmaktadır. Bu sebeple tesisler yerleşim bölgelerine yakın olması gerekmektedir.
- Oluşturulan sahalar depremi tetikleme riski taşımaktadır.
- Jeotermal enerji sahaları geniş arazi alanlarını kaplamaktadır.
- Kuyu sahaları çökme riski taşımaktadır.
- Jeotermal kaynakların yapılarında nispeten az da olsa zararlı kimyasallar barınmaktadır.

4. KAYNAK ARAŞTIRMALARI VE LİTERATÜR TARAMASI

4.1. Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi, her insanın ısınma, ulaşım, enerji tüketimi veya satın aldığı her türlü mal veya ürün sonucunda atmosfere yayılmasına sebep olduğu karbon miktarını tarif üzere kullanılan bir terimdir (Yalova ÇSB, 2016). Çeşitli kaynaklar ve uzmanlar tarafından karbon ayak izi tanımlamaları aşağıdaki gibidir.

Karbon ayak izi, herhangi bir canlının kütlesiyle ve ayak büyüklüğüyle ilişkili olarak zamana bağlı olarak değişebilen bir izdir (Özer, 2002, s. 82-84).

Karbon ayak izi, insanların küresel ısınmaya neden olduğu kişisel olumsuz katkılarının ölçülmesi olarak tanımlamıştır (Tatar, 2010, s. 1-82).

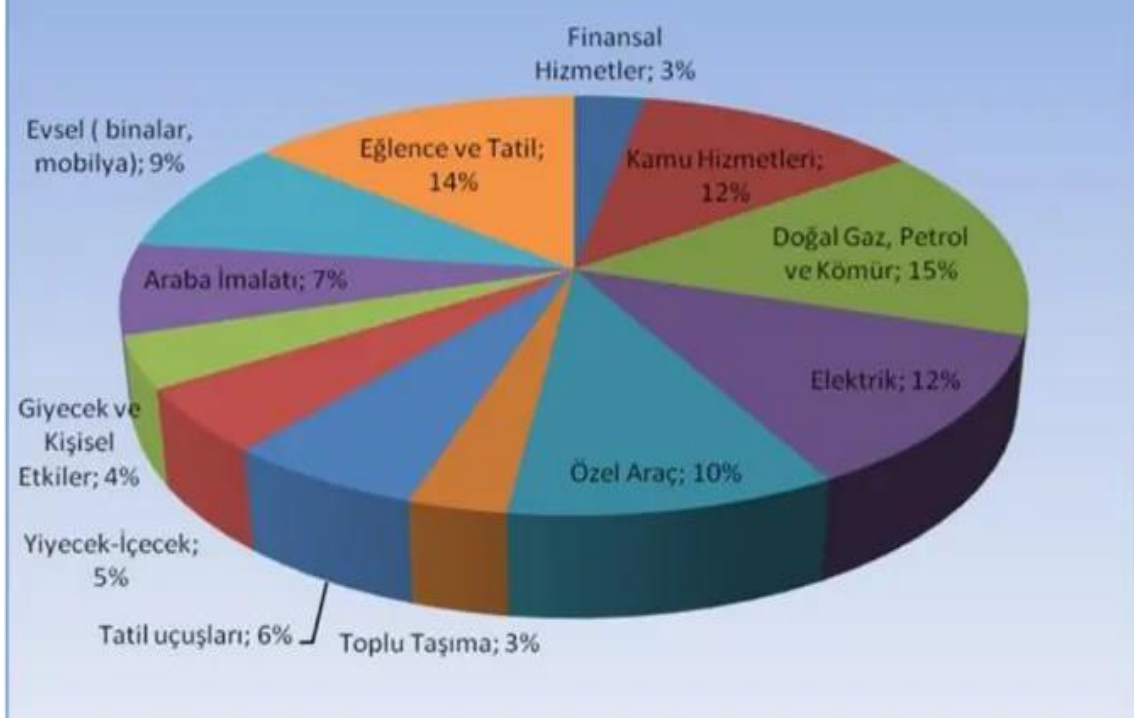
Birey etkinliklerinin; karbondioksit cinsinden üretilen sera gazı miktarı olarak çevreye verilen zararın ölçüsü, karbon ayak izi olarak tanımlanmaktadır (Bekiroğlu, 2011, s. 6).

Karbon ayak izi, insanların hayatı boyunca ihtiyaçlarını sağlamak için tüketeceği ya da satın alacağı; ürünlerin ise üretiminden, kullanımına ve bertarafına kadar tüketeceği enerjinin üretimi ve kullanımı sırasında oluşan emisyonların atmosfere yayılması sonucunda meydana gelen karbon veya karbon eşdeğeri olarak miktarlarına denir (Balta, 2020, s. 9-10).

Küresel olarak en önemli sorunlardan birinin, iklim değişikliği olduğu ve bunun oluşum sebepleri, günlük yaşantının hemen her evresini etkilediğinden, bu sorunun öncelikli olarak ele alınıp çözüm üretilmesi gerekmektedir. Gelişmiş ülkelerde yeni enerji politikalarının planlanması ve uygulanması öncesinde dikkate alınan önemli kriterlerden biri de, ülkelerindeki karbon salınımını azaltmak ya da düşük seviyede tutmaktır. Ayrıca sürdürülebilir kalkınma sağlanılmaya çalışılırken, iklim değişikliğine neden olmamak gerektiği Birleşmiş Milletler çalışmalarında belirtilmektedir. Sera gazlarının ölçüm çalışmalarının ölçütü olarak, genel olarak tarif etmek için karbon ayak izi kavramı ortaya çıkmaktadır. Genel kavram olan karbon ayak izi, yapılan her türlü faaliyet sonucunda atmosfere yayılmasına sebep olunan sera gazı emisyonlarının karbondioksit cinsinden hesaplanması ve ifade edilmesidir (Wiedmann & Minx, 2008, s. 1-11)

4.2. Karbon Ayak İzi Bileşenleri

Karbon ayak izi, kurum veya kuruluşlara ve şirketlere, gönüllü veya zorunlu emisyon taahhütlerini sağlamak, sera gazı emisyon ticaret mekanizmalarına katılımı sağlamak ve iklim değişikliğine etkilerini ortaya koymak üzere hesaplanmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda karbon ayak izini oluşturan unsurlar ve yüzdelik oranları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. Karbon ayak izini oluşturan unsurlar ve oranları

Kaynak: (Argun, Ergüç, & Sarı, 2019, s. 289)

Kişisel ve kurumsal olarak karbon ayak izi ölçümünü hesaplamak mümkündür. Kişisel karbon ayak izi, insanların aktiviteleri sonucunda yarattıkları emisyonların ölçüsüdür ve ikiye ayrılmaktadır (Kitzes, Peller, Goldfinger, & Wackemagel, 2007, s. 1-9)

Birincil karbon ayak izi, yaşam alanlarında ya da ulaşımında kullanılan enerji (elektrik, ısıtma, soğutma, yakıt) veya başka ihtiyaçlar için kullanılan fosil yakıtlar sonucunda oluşan doğrudan CO₂ emisyonu bu kategoride yer almaktadır.

İkincil karbon ayak izi ise, kişilerin kullandıkları ürünlerin imalatından en son haline kadar olan süreçteki, yani tüm yaşam döngüsündeki dolaylı emisyonların, karbondioksit cinsinden belirtilmesidir (Kitzes, Peller, Goldfinger, & Wackemagel, 2007, s. 1-9). Jones ve Kammen (2011)’in yaptıkları bir araştırmada, listeledikleri karbon ayak izi ile ilgili parametreler Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1. Karbon ayak izi parametreleri

Parametre	Birincil Ayak İzi	İkincil Ayak İzi
Ulaşım	Yakıt	Otomobil Toplu Taşıma Hava Ulaşımı
Barınma	Doğalgaz	Elektrik Isınma Su ve Atık
Gıda		Et Tahıl Meyve Sebze
Ürün		Kişisel bakım Giyim Ev ürünleri
Hizmet		Eğitim Sağlık Eğlence

Kaynak: (Hanehalkı Karbon Ayak İzi Farkındalığı Araştırması, 2028, s. 1)

Kurumların yıl içindeki faaliyetleri sonucu oluşan emisyonları hesaplamak için GHG ve IPCC gibi standartların da ifade ettiği gibi 3 kapsam ile değerlendirme yapılmaktadır.

Kapsam-1; Kurumun bünyesinde bulunan araçlar tarafından kullanılan yakıtlar ile enerji ve ısınma ihtiyacı için kullanılan fosil yakıtlardan oluşan karbon ayak izi miktarları bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Kapsam-2; Kurumun kullandığı elektrik enerjisinden, soğutma, sıcak su ihtiyacından dolayı oluşturulan emisyonlar, yani dolaylı olarak üretilen emisyonlardan kaynaklanan karbon ayak izi bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Kapsam-3 ise genelde dışarıdan alınan hizmetler olduğu için hesaplanması en zor olan kapsamdır. Bu kapsamda oluşan emisyonlar direkt kurumum emisyonu olmayıp, diğer dolaylı karbon ayak izleridir. Dışarıdan alınan ulaşım hizmeti, kurum veya kuruluşun atıklarından kaynaklanan emisyonlar ve dışarıdan alınan yemek hizmeti gibi faaliyetler bu kapsam dâhilindedir (Turanlı, 2015).

İklim değişikliğinin maliyetini araştıran Lord Stern, oluşturulan emisyonların küresel ekonomiye etki ederek oluşan maliyeti araştırarak “Stern Değerlendirmesi” olarak adlandırılan

bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmayı İngiliz hükümetinin talebi üzerine yapan Lord Stern, Stern değerlendirmesi olarak adlandırılan çalışmada, küresel iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında oluşacak maliyetleri denetleyebilmesi için alınacak önlemler ve eylemler, zamanında ve erken süreçlerde devreye girmesi gerektiğini vurgulamıştır (Stern, 2006).

Sera gazı emisyonlarının artmasıyla, dünyada birçok ülke, kuruluş ve şirket, faaliyetlerini yeniden gözden geçirip değerlendirerek, hizmet ve ürünlerini düşük emisyonlu oluşturmak amacıyla yenilikçi teknolojiler ve girişimler uygulamaya koymaya başlamışlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyellerinden faydalanarak, düşük karbon ekonomisini oluşturup, karbon emisyonunu en aza indirme hedeflenmektedir. Bu kapsamda özel sektör, tüketici alışkanlıklarının değiştirilmesinden teknolojik yenilikçiliğin gerçekleştirilmesine kadar, değişen birçok alanda etkin çalışmalar yürüterek, sürdürülebilir ve düşük emisyonlu karbon ekonomisine geçişi sağlamalıdır.

4.3. Karbon Ayak İzi Çalışmaları

Son yıllarda dünyanın birçok ülkesinde ve Türkiye’de, iklim değişikliğini azaltmak için çalışmalar artmıştır. Bu çalışmaların bir ayağını da yapı sektörünün sebep olduğu kirleticiler oluşturduğu için, bu yapılardaki kirletici oranının analizi yapılması gerçeği, bu alandaki araştırmaları hızlandırmıştır. Bu sebeple Türkiye’de çeşitli fabrikalar, oteller, üniversiteler ve konutlar için karbon ayak izi ölçümü yapılmış ve çıkan sonuçlara göre, çözüm ve öneriler sunulmuştur. Yapılan çalışmalarda enerji simülasyonu, enerji verimliliği, karbon salımı, çevresel etkiler ve karbon ayak izi konu başlıklarıyla araştırmalar yapılmıştır. Farklı ülkelerde ve Türkiye’de yapılan karbon ayak izi çalışmaları, açık literatürden faydalanılarak aşağıda kısaca anlatılmaya çalışılmıştır.

Kneifel, J. (2010), yaptığı araştırmasında farklı tasarım yaklaşımlarıyla yeni yapılan ticari binalarda, yaşam döngüsü süresince yapılabilecek enerji tasarrufu ve karbon emisyonlarındaki azalmaları gözlemlemiştir. Yaptığı çalışmada, 16 ilde 12 örnek bina seçip, toplamda 576 adet enerji simülasyonu gerçekleştirmiştir. Her bina ve yer kombinasyonu için 3 farklı bina tasarımı uygulamıştır. Farklı tasarımlarla yaptığı çalışma sonucunda, yeni yapılan binalardaki enerji sarfiyatının, ortalama olarak %20-30 oranında azaltılabileceğini gözlemlemiştir. Ayrıca, bu sonuçlarla enerji tasarrufu sağlanılabildiğinden, maddi açıdan kar sağlanmakla birlikte, binaların karbon ayak izlerinin de ortalama olarak %16 oranında azaltıldığını hesaplamıştır (Kneifel, 2010).

Bora, O. (2019), belediye Atıksu Arıtma Tesislerinin (AAT) analizini yaparak, enerji tüketimlerinin ve karbon ayak izlerinin ne değerlerde olduğu ve nasıl azaltılabileceğini göstermek için 2019 yılında yüksek lisans çalışması yapmıştır. Yaptığı çalışmada 105 varsayımsal Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) modeli oluşturmuştur. Bu modelleri kullanarak oluşturduğu simülasyonlardaki AAT'lerin enerji tüketimini, karbon ayak izini ve oluşturdukları çamur üretimini hesaplamıştır. Oluşturulan modellerdeki AAT'lerin, enerji tüketimleri 0,002 kWh/m³ ile 0,89 kWh/m³ arasında olduğu, karbon ayak izlerinin ise 588 kgCO₂e/saat ile 5.697 kgCO₂e/saat arasında olduğunu hesaplamıştır. Bununla birlikte, Bursa Doğu Evsel Atıksu Arıtma Tesisi'ni kullanarak, gerçek bir AAT'nin optimizasyon çalışmasını yapmıştır. Yaptığı simülasyon temelli optimizasyon çalışmada, karbon ayak izinin ve enerji tüketiminin %10 civarında azaltılabileceğini göstermiştir (Bora, 2019).

Perdeli, C. (2018), yaptığı çalışmada, Bursa ilinin Nilüfer ilçesinde altı mahalleyi pilot mahal olarak belirlemiş ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) veri tabanını kullanarak bu alanlarda bulunan konutların karbon ayak izini ölçmüştür. Karbon ayak izi ölçümünde, gerçek doğalgaz ve elektrik tüketim değerlerini kullanmıştır. Altı mahalleden seçtiği örnek konutları merkezi ısıtma sistemi, bölgesel ısıtma sistemi ve tekil (kombili) ısıtma sistemi olarak belirlemiştir. Çalışması 2014-2017 arasını kapsamış ve bu aralıktaki her yıl için hesaplamalar yapmıştır. Hesaplamalar sonucunda, 2014-2017 arasında örnek konutların karbon ayak izi miktarları 93,14 ktCO₂ ile 119,52 ktCO₂ arasında olduğu, konutlardaki kişi başına düşen karbon ayak izi miktarları ise 0,99 tCO₂ ile 1,27 tCO₂ arasında değiştiğini bulmuştur. Hesaplamalar sonucunda çıkan değerlerin daha iyi gözlemlenebilmesi ve değerlendirilmesi için CBS tabanlı derinlemesine analiz yapmış ve bulunan sonuçlar ile ileride yapılacak çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir (Perdeli, 2018).

Karakaş, K. (2021), Erzurum İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nden (AAT) kaynaklanan sera gazı emisyon kaynaklarını araştırmak ve bu emisyonların hangi proseslerden kaynaklandığını belirlemek için yaptığı yüksek lisans çalışmada, anaerobik stabilizasyon havuzu için UNFCCC metodolojisini, biyolojik arıtım ve ileri arıtım prosesleri için IPCC metodolojisini kullanarak sonuca ulaşmaya çalışmıştır. Kimyasal madde tüketiminde emisyon faktörü için Avustralya Enerji ve Çevre Bakanlığı'ndan (NGA (2014)), elektrik tüketimi için ise Türkiye'ye özgü emisyon faktörlerinden yararlanmıştır. Biyogazdan oluşan elektrik enerjisi sonucunda, önlenen emisyon miktarı ve biyogazın yakılması sonucu oluşan karbon emisyon miktarı için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı enerji kaynaklarının alt ısı değerleri ve petrol eşdeğer çevrim katsayıları

tablosundaki değerleri kullanarak hesaplama yapmıştır. Yaptığı hesaplamalar sonucunda, doğrudan sera gazı emisyon miktarı 2018 yılında 11949 tCO_{2e}, 2019 yılında ise bu değeri 55723 tCO_{2e} olarak hesaplamıştır. Dolaylı sera gazı emisyon miktarı 2018 yılında 5287 tCO_{2e}, 2019 yılında ise biyogazdan oluşan elektrik enerjisi sonucunda önlenen emisyon ve biyogazın yakılması sonucu oluşan karbon emisyon değerleri tesis verilerinden elde edilemediği için 0 kabul etmiştir ve sonucu 3906 tCO_{2e} olarak hesaplamıştır. Yaptığı alışma sonucunda Erzurum AAT için karbon ayak izi hesaplamasında, toplam sera gazı emisyonu 2018 yılında 17236 tCO_{2e}, 2019 yılında ise 59629 tCO_{2e} olarak hesaplamıştır. Sonuç olarak yaptığı çalışma neticesinde, atıksu arıtma tesislerinde biyolojik proseslerin iyi işletilememesi ve proje kriterlerine uygun çalışılamaması sonucunda sera gazı emisyon miktarının fazla olduğunu bulmuştur. Arıtma çamurundan elde edilen biyogazın kojenerasyonu sonucu elektrik enerjisi üretilmekte ve tesisin belli oranda elektrik enerjisi karşılanmaktadır. Bunun sonucunda karbon emisyonunda belli bir azalım göröleceğini, tesislerde koagölasyon ve flokülasyon için kullanılan kimyasal madde sarfiyatının azalması ve karbon emisyonunun azaltımı için yardımcı olacağını belirtmiştir (Karakuş, 2021).

Üreden, A. (2019), yüksek lisans tez çalışması ile ankırı Karatekin Üniversitesi'nin karbon ayak izi hesaplamasını gerçekleştirmiştir. Çalışmada elektrik tüketimi, ısınma kaynaklı benzin ve motorin tüketimi, yangın tüplerinin sebep olduğu salım, soğutucu ve iklimlendirme makinelerinden kaynaklı salım, personel seyahatleri, uçak-otobüs ve özel araç, toplu taşımaların sebep olduğu salım, kâğıt atıklarından kaynaklı salımlar dikkate alınmıştır. Yaptığı hesaplamalar neticesinde, toplam salım miktarı 5.633,13 EtCO_{2e}/yıl olarak hesaplamıştır. alışmasında en yüksek salım miktarının 2.527,72 EtCO_{2e}/yıl olarak elektrik tüketiminden kaynaklandığı bulmuştur. Üniversitenin gerçekleşen toplam salım miktarının üniversitedeki personel sayısına bölünmesiyle, kişi başına düşen ortalama salım miktarı 4,54 EtCO_{2e}/yıl olarak hesaplamıştır. Yaptığı hesaplamalar sonucunda elde ettiği bulgulara göre, emisyon salımını azaltmak için çeşitli tasarruf önlemlerinin alınmasıyla beraber, en yüksek salım miktarına sahip elektrik tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından, özellikle güneş enerjisinden faydalanılması gerektiğini önermiştir. Ayrıca ağaçlandırmanın karbon yutucu özelliği düşünölerek, ağaçlandırma yapılması önerilerinde bulunmuştur (Üreden, 2019).

şahin, M. (2019), yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında, örnek bir imento fabrikası seçmiştir. Seçtiği bu fabrika, yıllık olarak 5 milyon ton imento üretimi ve yine 5 milyon ton civarında klinker üretim kapasitesine sahiptir. Çimento üretimi sırasında oluşan emisyonları hesaplayıp, bu sonucu alternatif senaryolar üreterek azaltmayı hedeflemiştir. Örnek

çimento fabrikasının emisyon kaynakları olarak, taşkömürü, fuel oil, klinker üretimi, petrokok, farindeki karbonat olmayan karbondan kaynaklanan emisyonlar, atıklardan türetilmiş yakıt (ATY), motorin, doğalgaz, atık yağ, kurutulmuş arıtma çamuru gibi yakıtlar nedeniyle oluştuğunu sıralamıştır. Yaptığı çalışmada, 2017 yılında toplam emisyon miktarı 3.528.674 tCO₂ ve 2018 yılında ise toplam emisyon miktarı 3.594.136 tCO₂ olduğu sonucuna varmıştır. Toplam CO₂ emisyonun miktarlarının %35-40'ının taş kömürü ve petrokok kullanımından, %60-65'inin ise klinker üretimi sırasında oluştuğunu hesaplamıştır. Oluşan emisyon değerlerini azaltmak için 2 farklı senaryo denemiştir. Birinci senaryoda üretimde doğalgaz miktarını artırarak 2017 yılında 3.419.850 tCO₂ bulmuştur. İkinci senaryoda ATY miktarını artırarak 2017 yılında 3.499.021 tCO₂ sonucuna ulaşıldığını gözlemlemiştir. Araştırma sonucunda alternatif yakıtların kullanılmasıyla CO₂ miktarının önemli ölçüde azaltılacağını gözlemlemiştir (Şahin, 2019).

Doğan, N. (2019), yaptığı yüksek lisans çalışmasında kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon üzerine faaliyet gösteren bir tekstil fabrikasında karbon ayak izi hesabı yapmıştır. Çalışmanın özellikle tekstil sektörüne örnek oluşturmak ve firmaların karbon salınımını azaltmak için alabilecek önlemlerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Tier-1 metoduna göre yapılan hesaplamalarda Kapsam-1 (Doğrudan Emisyon), Kapsam-2 (Dolaylı Emisyonlar) ve Kapsam-3 (Diğer Emisyonlar) hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Kapsam-1 hesabında doğalgaz ve motorin gibi fosil yakıt kaynaklı yakıtlardan açığa çıkan emisyonlar, Kapsam-2 hesabında elektrik kullanımından açığa çıkan emisyonlar ve Kapsam-3 hesabında ise hammadde, endüstriyel atık ve taşımacılıktan ileri gelen emisyonlar ile her bir ünite için hesaplamalar yapmıştır. Kumaş boyama ünitesinden atmosfere salınan karbon ayak izi miktarı 1 kg kumaş için 4,61 kgCO₂e/kg ürün, İplik boyama ünitesinden atmosfere salınan karbon ayak izi miktarı 1 kg kumaş için 2,22 kgCO₂e/kg ürün, baskı ünitesinden atmosfere salınan karbon ayak izi miktarı 1 kg kumaş için 3,31 kgCO₂e/kg ürün ve konfeksiyon ünitesinden atmosfere salınan karbon ayak izi miktarı 1 kg kumaş için 7,25 kgCO₂e/kg ürün olduğu sonucuna varmıştır. Çalışma sonucunda işletmenin alacağı önlemleri şu şekilde sıralamıştır;

- Giyim süresi dolan kumaşlar tekrar hammadde olarak kullanılmalıdır.
- Renkli ve baskılı kumaşlar yerine tek renk ve baskısız giyim özendirilmelidir.
- Fabrikalarda kullanılan makineler, her sene revize edilmeli ve birkaç senelik periyotlar ile yenilenmelidir.
- Kömür yerine doğalgaz kullanımına geçilmelidir.

- Yenilenebilir enerji kaynakları, fabrika arazisi içerisinde değerlendirilebilir.
- Sıcak su tankları ve boya makineleri yalıtılmalıdır.
- Enerji tasarruflu aydınlatmalar kullanılmalıdır (Doğan, 2019).

Balta, M. (2020), “Endüstri Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Enerji Verimliliği” konulu tez çalışmasında, sektör olarak pompa üretim sektörünü seçmiştir. 2018 yılında seçilen fabrikada pompaların tasarım, üretim ve test aşamalarında, ürün başına oluşan karbon emisyonunu ölçerek değerlendirme yapmaya çalışmıştır. Sera gazı emisyonlarının ölçümünde Tier 1 yöntemini kullanmıştır. Yaptığı hesaplamalar sonucunda 2018 yılında tesiste üretimden kaynaklanan karbon ayak izi miktarını 1.391,53 tCO₂e olarak bulmuştur. Karbon emisyonuna sebep olan elektrik enerjisi %69 ile ilk sırada olduğunu gözlemlemiştir. Bunun sebebinin de pompaların test aşamasında kullanılan elektrikten olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışma sonucunda yaptığı tespitler olarak, tesisin karbon yutağı oluşturarak karbon ayak izini karşılaması için gereken ağaç sayısını 125.827 adet olarak bulmuştur. Yine yıllık satılan pompa adetlerini dikkate alarak tesiste bir adet pompanın üretiminden kaynaklanan emisyonu eşdeğer karbon yutağı oluşturmak için 5 adet ağaç dikilmesi öngörülmüştür. Yapılan bu önlemlerle karbon yutağı oluşturup nötr bir tesisin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Ancak yapılması gereken, öncelikle tesiste %69 oranı ile en yüksek tüketimin olduğu elektrik enerjinin kullanımına yönelik önleyici iyileştirme çalışmaları olacağını tavsiye etmiştir. (Balta, 2020).

Ahmet, B. (2019), Bursa bölgesinde yaptığı yüksek lisans çalışmasında, hayvancılık sektöründe faaliyet gösteren 3 değişik işletmedeki karbon ayak izinin belirlenmesi amacıyla 100 başlık büyükbaş, 180 başlık koyun ve 12.000 baş tavukçuluk işletmelerinde çalışmalarını yürütmüştür. Seçilen işletmelerde 1 litre süt, 1 kg et ve 1 kg yumurtayı birim olarak almıştır. Çalışma kapsamında tesislerdeki gübre yönetiminden ve enterik fermantasyondan kaynaklanan metan gazı emisyonunu bulmak için Tier 1 ve Tier 2 hesaplama yönteminden faydalanarak çözüme ulaşmıştır. Araştırma sonucunda ise Tier 1 metodu için 0,4215 kgCO₂e/1 lt süt, 0,0912 kgCO₂e/1 kg et, 0,3834 kgCO₂e/1 kg yumurta bulmuştur. Tier 2 metoduyla ise 1,0693 kgCO₂e/1 lt süt, 0,1002 kgCO₂e/1 kg et, 0,3834 kgCO₂e/1 kg yumurta olarak sonuca ulaşmıştır. Bulduğu sonuçlar sonucunda, tesiste gübre işletim sistemlerinin iyi planlanması ve enterik fermantasyonun azaltımı için yem rasyonuna, kaliteli ve enerji açısından yüksek besinler eklenmesinin uygun olacağını belirtmiştir (Ahmet, 2019).

Özlem, B. (2013), yüksek lisans tez konusu olarak örnek bir kâğıt üretim tesisini seçerek, 2011 yılında tesisten alınan verilerle karbon ayak izini belirlemiştir. İki fabrikadan oluşan tesisin idari binası, arıtma tesisi ve enerji santrali, her iki fabrikaya ortak olarak hizmet

vermektedir. Yaptığı çalışmayı fabrikaların kâğıt üretim bölümlerinde gerçekleştirmiş ve 12 aylık tüketim verilerini esas alarak sonuçlara ulaşmıştır. 12 aylık tüketim verileriyle ürün başına düşen elektrik tüketim değerini hesaplayıp, bu şekilde oluşan emisyon miktarını bulmuştur. Hesaplamalar sonucunda fabrikalarda sırasıyla; elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı 43.759.398 kgCO₂, forkliftlerin kullanımı sonucunda oluşan emisyon 231.937 kgCO₂, buhar tüketiminden ötürü oluşan emisyon 5.490.472 kgCO₂, şirket araçlarının tükettiği yakıtlar sonucu oluşan emisyon 52.372 kgCO₂, doğalgaz tüketimden kaynaklanan emisyon ise 49.414.250 kgCO₂ olarak bulmuştur. Bu oluşan emisyonların toplamı ise 98.948.479 kgCO₂ olarak hesaplamıştır. Bulduğu sonuçlar neticesinde tesiste; kaçak ve kayıpların önlenmesi için iyileştirme çalışmalarının yapılması, enerji verimliliği için gerekli çalışmaların yapılması, üretim süreçlerinde iyileştirmelerle fire oranının düşürülmesi gerektiğini belirtmiştir. Fabrikalarda bu sayılan kalıcı çözümler ile uzun vadede, hem üretimin daha verimli hale gelmesi sağlanacak hem de karbon salımında ciddi bir düşüş sağlanacağı görüşünde bulunmuştur. Bununla birlikte CO₂ oluşumunun takip edilmesi ve değerlendirilmesi için tesiste bir mekanizma oluşturulmalıdır. Bu yapılacaklarla tesiste önemli miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabileceği, bu sayede CO₂ salımının büyük ölçüde azalacağı kanısında bulunmuştur. Alınacak tedbirlere ve önlemlere ilaveten başka bir alternatif ise yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gerektiği önerisinde bulunup, kullanılacak enerji kaynaklarının değiştirilmesiyle emisyon oluşumunun önüne geçileceği görüşünde bulunmuştur (Özlem, 2013).

Türkay, M. (2018), yaptığı yüksek lisans çalışmasında, karayolu ulaşımından kaynaklanan karbon ayak izini ölçmek için Eskişehir ilini seçmiştir. Emisyon miktarlarını bulabilmek için resmi kaynaklardan aldığı verilerden sağlanan yakıt tüketim değerleriyle, IPCC’de yer alan Tier 1 yöntemini kullanarak hesaplama yapmıştır. Hesaplamalar sonucunda 2021’de Eskişehir ilindeki karayolu ulaşımındaki araçların tükettiği yakıtlar sonucunda oluşan emisyon miktarı 821,509 Gigagram (Gg), 2017 de ise 1.453,954 Gg olarak bulunmuştur. 2017’deki emisyon miktarı 2012’ye göre %77 civarında bir artış gösterdiği görülmüştür. Çalışma sonunda dizel yakıtların diğer yakıtlara oranla daha fazla miktarlarda emisyonu sebep olduğu kanıtlanmıştır. Sonuçta artan nüfusla birlikte çoğalan araçların tükettikleri yakıt miktarı arttıkça, oluşan emisyon miktarı da buna paralel artacağı sonucuna varılmıştır (Türkay, 2018).

Özçelik, G. (2017), yaptığı çalışmasında, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi’nde (ÇOMÜ) bulunan Terzioğlu Kampüsünü inceleyerek ve çeşitli kaynaklardan faydalanıp kampüste oluşan emisyon miktarlarını hesaplamıştır. Kampüste araştırma yaparken doğalgaz,

elektrik ve su tüketim verileri, üniversitedeki araçların yakıt tüketimleri, idari ve akademik personellerin ve öğrencilerin üniversiteye geliş ve gidişlerinden dolayı oluşan emisyonlar, çalışma kapsamında değerlendirilerek hesaplamalar yapmıştır. Kampüsteki idari ve akademik personellerin ve öğrencilerin ulaşımından kaynaklanan karbon ayak izini iki farklı yaklaşımla hesaplamaya çalışmıştır. Yaklaşım-1’de herkese anket uygulaması yapıp sonucu bulmaya çalışmış, yaklaşım-2’de ise kampüs girişindeki kameralarla kampüse giren çıkan araçlar sayılıp ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu yöntemlerle yapılan hesaplamada, yaklaşım-1’deki karbon ayak izi 19.706,084 tCO₂e olmuş, yaklaşım-2’deki karbon ayak izi ise 10.122,154 tCO₂e olduğu sonucu çıkmıştır. Hesaplamalar sonucunda yaklaşım-1 ve yaklaşım-2 arasında oluşan farkın, yaklaşım-1’deki hesaplamalarda tüm öğrencilerin hesaba katılmasıyla olduğu düşünülmektedir. Yaklaşım-2’deki hesaplamalar sonucunda emisyon miktarının en büyük sebebi kullanılan elektrik olduğu, ikinci en büyük değer ise ulaşımdan kaynaklandığını göstermiştir. Bu sebepler sonucunda enerji ve ulaşım açısından karbon ayak izinin azaltılması, sürdürülebilir bir kampüs hayatı için önem arz ettiğini belirtmiştir (Özçelik, 2017).

Çerçi, M. (2021), yaptığı çalışmasında, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi’nin (EBYÜ) 2019 ve 2020 yıllarına ait karbon ayak izini, üniversitenin doğalgaz, kömür, benzin, motorin ve elektrik tüketim verilerinden yararlanarak önce IPCC Tier 1 kapsamında, sonrasında ise İngiltere Çevre, Gıda Ve Köy İşleri Bakanlığı (DEFRA) dönüşüm faktörlerini kullanarak hesaplamıştır. EBYÜ’nün birincil karbon ayak izini, IPCC’de yer alan Tier 1 yöntemiyle 2019 yılı için 2.753,2 tCO₂e ve 2020 yılı için 2.383,74 tCO₂e emisyonu hesaplamıştır. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında emisyon miktarında %13,42 azalma olduğu sonucuna varmıştır. DEFRA dönüşüm faktörleriyle ise 2019 yılı için 2.314,53 tCO₂e ve 2020 yılı için 1.826,54 tCO₂e emisyonu hesaplamıştır. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında emisyon miktarında %21,08 azalma olduğunu görmüştür. IPCC Tier 1 yaklaşımı ile DEFRA arasındaki bu fark, IPCC Tier 1 yaklaşımı hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörlerinin genel olması ve DEFRA’nın İngiltere’nin ulusal verilerini kullanmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Karbon ayak izinde oluşan azalmanın, 2020 yılının mart ayında oluşan Covid-19 salgınının başlamasıyla eğitime verilen aralar ve uzaktan eğitimin oluşması sebebiyle kaynaklandığı belirtilmiştir. (Çerçi, 2021).

Demirci, E. (2018), yaptığı araştırmasında, Antalya ilinde ortalama bir konut seçerek bu binanın karbon ayak izini ölçmüştür. Yaptığı araştırmanın amacı, ortalama bir konut seçerek emisyon oranını bulmak ve bu emisyon oranını yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nasıl düşürülebileceğini göstermektir. Çalışma yaptığı konut, 5 katlıdır ve her katında iki daire

bulunmaktadır. Binanın balkonları dahil olarak 86,5 m² genişliğindedir. Seçtiği binanın ilk önce ısı kaybını bulmuştur. Isı kaybını bulurken binada kullanılan yapı bileşenlerinin özellikleri dikkate alarak, her kat için ayrı ayrı hesaplama yapmıştır. Bu hesaplamalarda binada iletim yoluyla oluşan ısı kaybı 999,08 W/K olmuş, havalandırma yolu ile oluşan ısı kaybı ise 598,75 W/K olarak bulmuştur. Bu hesaplanan değerler sonucunda, binanın toplamdaki ısı kaybı 1.597,83 W/K olarak hesaplamıştır. Isı kaybı hesabı yapıldıktan sonra, ısı kayıp ve kazançları dikkate alarak, binanın yıllık olarak ısıtma ihtiyacını hesaplamıştır. İşlemler sonucunda binanın ısı ihtiyacını 25.267 kWh olarak bulmuş ve sınırlandırılan enerji ihtiyacını ise 90.886.871 kJ olarak hesaplamıştır. Karbon ayak izi hesabında, dört kişilik bir ailenin bir yıllık enerji tüketim verilerine, Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından her yıl yapılan araştırma sonuçlarına göre, Türkiye’de bir ailenin ortalama aylık ve yıllık olarak tüketim verileri dikkate alınarak hesaplamalarda kullanmıştır. Bu kurumlardan alınan verilere göre Türkiye’de ortalama bir ailenin doğalgaz tüketimi 956 m³ olduğu görülmüş ve bu tüketim verisi doğrultusunda toplam olarak 4,037 tCO₂ emisyon salınımının gerçekleştiği görülmüştür. Alınan verilerde, yıllık elektrik tüketiminin 3.038,4 kWh olacağı ve bu tüketim sonucunda 1,598 tCO₂ emisyon salınımının gerçekleştiği hesaplamıştır. Yine alınan verilere göre yıllık su tüketiminin 216 m³ olacağı ve bu tüketim sonucunda ise 0,152 tCO₂ emisyon salınımının gerçekleştiğini hesaplamıştır (Demirci, 2018).

Yavuz, A. B. (2020), yaptığı yüksek lisans çalışmasında, Antalya ilindeki beş yıldızlı bir otelin karbon ayak izi hesabını yapmıştır. Çalışma yaptığı otel, Antalya ilinde ve 1907 yatak kapasitesine sahiptir. Antalya’daki bu otel, yılın 12 ayı boyunca hizmet vermektedir. Otelin en büyük tüketimleri su, elektrik, motorin ve lng olmaktadır. Karbon ayak izinin hesabını yapmak için DEFRA 2019 yayınladığı katsayıları kullanmıştır. Otelin son 5 yıllık tüketimleri göz önüne alınarak çalışma yapılmıştır. Ölçülen karbon ayak izinin 5 yıllık süreçte nasıl bir seyir seyrettiğini görmek için, 5 yıllık süreçte otelde konaklayan turist sayıları da alınarak gösterilmiştir. 5 yıllık oluşan karbon ayak izi miktarını 424.894,12 kgCO₂ olarak bulmuştur. Bu rakam ise yaklaşık 425 tCO₂ olarak yazılabilir. Otelde en büyük değerler olarak, her yıl elektrik ve lng tüketimi sonucu oluşan karbon ayak izi 5.000 tCO₂ civarında olmaktadır. Bu veriler ışığında, oteldeki emisyon azaltımının sağlanması için tasarruf ve önlem alınması gereken iki bileşen olarak, elektrik ve lng olduğu sonucu çıkmaktadır (Yavuz, 2020).

4.4. IPCC Metodolojisi

Kanada'nın Toronto şehrinde, 1988 yılında düzenlenen IPCC, Değişen Atmosfer Konferansı neticesinde, Birleşmiş Milletler'e bağlı WMO ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP) katkıları ile çalışmalarına başlamıştır. İnsan faaliyetlerinin sebebi olarak oluşan iklim değişikliği risklerini ele almak üzere kurulan bu panel, uluslararası özerk bir kuruluş sayılmaktadır. Panel bünyesinde aktif olarak çalışan ve genel itibari ile gelişmiş ülkelerin bilimsel kuruluşlarıdır. Bununla birlikte, Birleşmiş Milletler'in uzman kuruluşlarından ve enstitülerden birçok deneyimli bilim insanı teknik, bilimsel ve sosyo-ekonomik bilgileri değerlendirerek ve en yeni bilgilerin gözden geçirilmesi ile analizlerini yaparak iklim değişikliğinin daha iyi anlaşılması için İklim Değişikliği Değerlendirme Raporlarını ortaya koymaktadırlar. 1990 yılında ilk raporu yayınlanan panel, sonraki süreçlerde beş yılda bir düzenli olarak rapor yayınlamaya devam etmektedir. 2007 yılında bu kuruluş, yaptığı çalışmalar neticesinde 2007 yılında Nobel Barış Ödülü'ne layık görülmüştür (IPCC, 1997). UNFCCC ve IPCC küresel çaplı, çevre ve ekonomik gelişmelere karşı en temel tehlike durumunun iklim değişikliği olduğunu kabul görmüştür. Panel sonucunda oluşturulan sözleşme, yapılacak çalışmalarla iklim sisteminin insan faaliyetleri ile ortaya çıkan sera gazları sonucunda oluşacak zararları düzenlemeyi ve önlem almayı amaçlamaktadır. Sözleşme, bunlara ek olarak bütün taraflara; periyodik bir şekilde ulusal envanterlerini geliştirme, yenileme ve yayınlaması için çağrıda bulunmaktadır. GHG emisyon envanterlerindeki kıyaslamalı yöntemler kullanılması yönünde tavsiyelerde bulunmaktadır. IPCC kılavuzlarının, sözleşmenin tarafı olan ülkelere belirtilen hedefleri tutturması için yardımcı olması amaçlanmaktadır (IPCC, 1997).

IPCC'nin yayınladığı raporların başlıcaları; Yöntem metotları, Özel raporlar, Değerlendirme raporları ve BM dışı dillere çevirilerdir.

IPCC yayınladığı kılavuzlar çeşitli kitapçıklardan oluşmaktadır. Bu kitapçıklar ulusal envanter çıkarılabilmesi için, kademeli bir şekilde verilerin nasıl toplanması gerektiği, bu veriler ışığında değerlendirilmenin nasıl yapılacağı ve ortaya çıkan sonuçların son aşamada nasıl bildirilmesi gerektiğini içeren raporlama bilgilerinden meydana gelmektedir. Ayrıca raporlama için kullanılacak olan tabloları ihtiva eden ve nasıl hesaplama yapılması gerektiğini gösteren çalışma kitapları yayınlamıştır. Çalışma kitapları metotların kullanılmasına yardımcı olan, ülkelerin kendi altyapıları ile ulaşamadığı veriler için onların yerine konulacak ortalama değerlerin bulunduğu referans alınacak kitaplardır. Sera gazı envanter hesaplamaları için IPCC şu ana başlıkları kullanmıştır: Tarım, enerji, solvent ve diğer ürün kullanımları, endüstriyel

işlemler, ormanların kullanımı ve yeryüzü coğrafyası, genel rehberlik ve raporlama olarak sıralanabilir.

Doğrudan yakıtın yanmasıyla ilişkili bir gaz olan CO₂, diğer gazlara göre daha net sonuçlarla hesaplanabilmektedir. Yanmanın sonucu olarak ortaya çıkan CO₂, kullanılan yakıtın verimli yanıp yanmadığının da bir karşılığı olarak karşımıza çıkmaktadır. CO₂'in yanmanın doğal çıktısı olması bunun başlıca sebebidir. CO₂ emisyonu, yakıtın satış veya tüketim verilerini kullanarak birkaç düzeltme katkısıyla kolayca hesaplanan bir değerdir. Her ülkenin birçok alandaki yakıt tüketim değerlerinin bilinmesinin yanında özellikle ticari araç sektöründeki tüketimler bilinmektedir. Bu verilere ilave olarak önemli bir konu da emisyon faktörleridir. Emisyon faktörleri (EF), önceden hesaplanmış ortalama değerler şeklinde IPCC kılavuzlarında bulunmaktadır. Ancak ulusal envanter çıkarılması çalışmalarında, eğer çalışma yapılan ülkenin imkânı varsa, kendi emisyon faktörlerini oluşturarak bu değerlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

4.5. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

4.5.1. IPCC Tier Yaklaşımları

Fosil yakıtların yanmasıyla oluşan emisyonları tahmin etmek için 2006 IPCC kılavuzunda sunulan üç aşama vardır. Buna ek olarak bir referans yaklaşım sunulmaktadır. Envanter derleyicisi için yalnızca çok sınırlı kaynaklar ve veri yapıları mevcutsa, sektörel yaklaşımın bağımsız bir kontrolü olarak ve ulusal sera gazı emisyonlarının birinci dereceden bir tahminini üretmek için kullanılabilir. 2006 IPCC kılavuzları, salınan türler açısından karbon emisyonlarını tahmin etmektedir. Yanma işlemi sırasında, karbonun çoğu hemen CO₂ olarak yayılır. Bununla birlikte, bazı karbonlar CO, CH₄ veya metan olmayan uçucu organik bileşik (NMVOC) olarak salınır. Bu CO₂ olmayan türler olarak yayılan karbonun çoğu, sonunda atmosferde CO₂'e oksitlenir. Bu miktar, CO₂ olmayan gazların emisyon tahminlerinden yaklaşım sağlanabilir. Yakıtın yanması durumunda, bu CO₂ olmayan gazların emisyonları, CO₂ tahmini ile karşılaştırıldığında çok küçük miktarlarda karbon içerir ve Tier 1'de CO₂ tahminini yakıttaki toplam karbona dayandırmak daha doğrudur. Bunun nedeni, yakıttaki toplam karbonun yalnızca yakıtla bağlı olması, CO₂ olmayan gazların emisyonlarının ise genel olarak iyi bilinmeyen teknolojiler, bakım vb. gibi birçok faktöre bağlı olmasıdır. Daha yüksek kademelerde, bu CO₂ olmayan gazlardaki karbon miktarı açıklanabilir (IPCC, 2006).

4.5.2. Tier 1 Yaklaşımı

Tüm yanma sonucu oluşan salınımlar, yakılan yakıt miktarları (genellikle ulusal enerji istatistik verileri) ve ortalama emisyon faktörleri temelinde tahmin edilebildiğinden, Tier 1 yöntemi yakıt tabanlıdır. İlgili tüm doğrudan sera gazları için Tier 1 emisyon faktörleri mevcuttur.

Bu emisyon faktörlerinin kalitesi gazlar arasında farklılık gösterir. CO₂ için emisyon faktörleri esas olarak yakıtın karbon içeriğine bağlıdır. Yanma koşulları (yanma verimliliği, cüruf ve küllerde kalan karbon vb.) nispeten önemsizdir. Bu nedenle, CO₂ emisyonları, yakılan toplam yakıt miktarına ve yakıtların ortalama karbon içeriğine dayalı olarak oldukça doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

Ancak metan ve azot oksit için emisyon faktörleri, yakma teknolojisine ve çalışma koşullarına bağlıdır ve hem bireysel yakma tesisleri arasında hem de zamanla önemli ölçüde farklılık gösterir. Bu değişkenlik nedeniyle, teknolojik koşullarda büyük bir değişkenliği hesaba katması gereken bu gazlar için ortalama emisyon faktörlerinin kullanılması, nispeten büyük belirsizlikler getirecektir (IPCC, 2006).

4.5.3. Tier 2 Yaklaşımı

Tier 2 yönteminde, yanmadan kaynaklanan emisyonlar, Tier 1 yöntemindeki kullanıma benzeyen yakıt istatistiklerinden tahmin edilir. Ancak Tier 1 varsayılanları yerine ülkeye özgü emisyon faktörleri kullanılır. Mevcut ülkeye özgü emisyon faktörleri farklı özel yakıtlar, yakma teknolojileri ve hatta bireysel tesisler için farklılık gösterebileceğinden, faaliyet verileri bu tür ayrıştırılmış kaynakları uygun şekilde yansıtmak için daha fazla ayrıştırılabilir. Bu ülkeye özgü emisyon faktörleri gerçekten de kullanılan farklı yakıt partilerindeki karbon içeriğine ilişkin ayrıntılı verilerden veya ülkede uygulanan yakma teknolojilerine ilişkin daha ayrıntılı bilgilerden elde ediliyorsa, tahminin belirsizlikleri azalır ve zaman içindeki eğilimler daha iyi tahmin edilebilir. Bir envanter derleyicisi, CO₂ olmayan gazlarda yayılan veya oksitlenmemiş karbon miktarının iyi belgelenmiş ölçümlerine sahipse, ülkeye özgü emisyon faktörlerinde bu aşamada dikkate alınabilir. Bunun nasıl yapıldığını belgelemek iyi bir uygulamadır (IPCC, 2006).

4.5.4. Tier 3 Yaklaşımı

Enerji için Tier 3 yöntemlerinde, ayrıntılı emisyon modelleri veya bireysel tesis düzeyindeki ölçümler ve veriler kullanılır. Düzgün bir şekilde uygulandığında, bu modeller ve ölçümler, daha ayrıntılı bilgi ve çaba pahasına olsa da öncelikle CO₂ dışı sera gazları için daha iyi tahminler sağlamaktadır. Baca gazlarının sürekli emisyon izlemesi, genellikle yalnızca CO₂ emisyonlarının doğru ölçümü için (nispeten yüksek maliyet nedeniyle) gerekçelendirilmez. Ancak özellikle SO₂ veya NO_x gibi diğer kirleticilerin ölçümü için monitörler kurulduğunda yapılabilir. Sürekli emisyon izleme, özellikle yakıt akış hızlarını ölçmenin daha zor olduğu ve yakıtların çok değişken olduğu veya yakıt analizinin pahalı olduğu durumlarda katı yakıtların yanması için yararlıdır.

Kalite güvenceli yakıt akış ölçerler kullanılarak özellikle gaz veya sıvı yakıtlar için yakıt akışının doğrudan ölçülmesi, bu yakıt akış ölçerleri kullanan sektörler için CO₂ emisyonu hesaplamalarının doğruluğunu artırabilir. Ölçüm verilerini kullanmayı düşünürken, numunenin temsil edilebilirliğini ve ölçüm yönteminin uygunluğunu değerlendirmek iyi bir uygulamadır. En iyi ölçüm yöntemleri, resmi standart kuruluşları tarafından geliştirilmiş ve operasyonel özelliklerini belirlemek için sahada test edilmiş olanlardır. Bu tür modellerin kullanımı yoluyla ek belirsizlik türlerinin ortaya çıktığı ve bu nedenle, hesaplanan yakıt tüketiminin enerji istatistikleriyle karşılaştırılması, belirsizliklerin kapsamlı değerlendirmeleri ve sistematik hatalar dahil olmak üzere ölçümlerin iyi bir şekilde doğrulanması gerektiği belirtilmelidir.

Bir envanter derleyicisi, CO₂ olmayan gazlarda yayılan veya oksitlenmemiş karbon miktarının iyi belgelenmiş ölçümlerine sahipse, ülkeye özgü emisyon faktörlerinde bu aşamada dikkate alınabilir. Bunun nasıl yapıldığını belgelemek iyi bir uygulamadır. Emisyon tahminleri ölçümlere dayanıyorsa, o zaman sadece doğrudan CO₂ emisyonlarını içerecektir (IPCC, 2006).

4.6. İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (DEFRA)

İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (DEFRA), çevreyi koruma, gıda üretimi ve standartları, tarım ve balıkçılık alanlarından sorumlu bir devlet teşkilatıdır. Bu kurum sorumlu olduğu enerji, sanayi stratejisi, iklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma alanlarında çalışmalar yapmaktadır. Küresel ısınma kapsamında sanayi, endüstri, konutlar ve ulaşım araçlarından kaynaklanan çevre kirliliğini görebilmek için her yıl düzenli olarak, kullanılan enerji kaynaklarının emisyon katsayılarını yayınlamaktadır. Yapılan bu çalışmada örnek binadaki su, elektrik, doğalgaz ve servislerin yakıt tüketimlerinden kaynaklanan karbon ayak

izini bulmak için, DEFRA'nın 2021 yılında yayınladığı emisyon katsayıları kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Karbon ayak izini ölçmek ve incelemek için, mevcut emisyonları doğrudan ya da dolaylı olarak dikkate alarak aşağıdaki kapsamlar oluşturulmuştur.

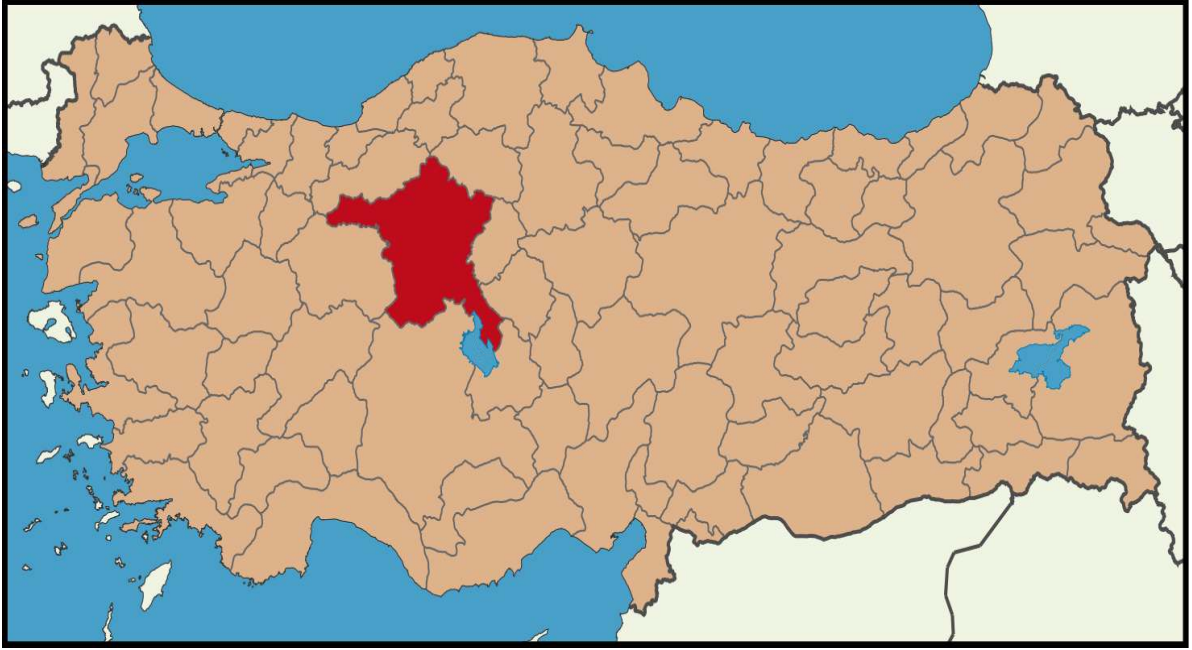
- Kapsam-1; Hesaplaması yapılan binanın işletilmesinde veya araçları vasıtasıyla doğrudan ölçülen sera gazı emisyonlarıdır. Bu sebeple direkt karbon ayak izi olarak değerlendirilir.
- Kapsam-2; Elektrik, su kullanımı, ısıtma ve soğutmadan kaynaklı olarak dolaylı sera gazı emisyonlarını içermektedir.
- Kapsam-3; Kapsam-2 içerisinde sayılmayan diğer dolaylı sera gazı emisyonlarını oluşturmaktadır. Personellerin geliş-gidişleri ve iş seyahatlerinden kaynaklanan emisyonlar bu kapsamda değerlendirilmektedir.

5. MATERYAL YÖNTEM

5.1. Örnek Bina Bilgileri

Çalışma yapılacak örnek bina Ankara ilinden seçilip karbon ayak izi hesaplamaları yapılarak sonuçları incelenmiştir. Yapılan çalışma 2018, 2019, 2020 ve 2021 yıllarını kapsamaktadır. Çalışmada İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı olan DEFRA'nın yayınlamış olduğu standartlar göz önüne alınarak örnek binanın karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan emisyon katsayısı DEFRA'nın 2021 yılında yayınlamış olduğu eşdeğer CO₂ değerleri alınmıştır.

Dünyanın kuzey yarım küresinde bulunan Ankara, 39° 55' kuzey enlemi ile 32° 51' doğu boylamı koordinatları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde bulunan Ankara ili, Türkiye'nin başkenti olup nüfusu 5,747 milyon civarındadır. İç Anadolu Bölgesinin kuzeyinde bulunan Ankara ilinin yüzölçümü 25.632 km²'dir. Ankara'nın batısından Sakarya Nehri, doğu kısmından Kızılırmak Nehri ve bu nehrin kollarından biri olan Ankara Çayı şehir merkezinden geçmektedir. Bu nehirler geçtikleri bölgelerdeki arazilerin su ihtiyacını gidererek bölgeyi ılımanlaştırmaktadır. Şekil 5.1'deki Türkiye haritasında Ankara ilinin konumu gösterilmiştir (Vikipedi, 2022).



Şekil 5. 1. Ankara'nın konumunu gösteren harita

Kaynak: (Vikipedi, 2022)

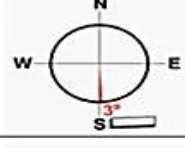
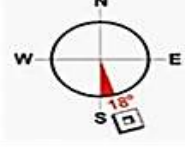
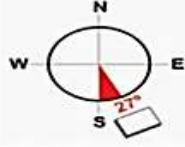
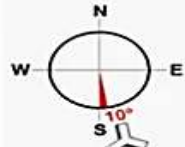
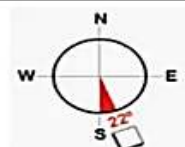
Ankara'nın orta ve güney bölgelerinde kış ayları soğuk ve kar yağışlı, yazları ise sıcak olup kurak geçmektedir. Karadeniz ikliminin özellikleri ilin kuzey bölgelerinde görülebilmektedir. Şehrin karasal iklimin hâkim olduğu bölgelerinde mevsimler arasında ve gündüz ile gece arasında önemli sıcaklık farkları bulunmaktadır. En sıcak aylar temmuz ve ağustos ayları, en soğuk ay ise ocak ayı olmaktadır. Yağışlar en çok ilkbahar mevsiminin mayıs ayında, en az yağışlar ise yaz mevsiminin temmuz ve ağustos aylarında olmaktadır. Şehrin ortalama en yüksek gündüz sıcaklıkları 27-31 °C, en düşük gece sıcaklıkları 6-1 °C arasında olmaktadır. Şehrin yıllık ortalama toplam yağış miktarı 350 mm ile 600 mm arasında değişmektedir. Ankara ilinin aylara göre sıcaklık değerleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir (Vikipedi, 2022).

Tablo 5. 1. Ankara ilinin yıllık sıcaklık değerleri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
En yüksek sıcaklık (°C)	18,4	21,3	27,8	31,6	34,4	37,0	41,0	40,4	39,1	33,3	24,4	20,4
Ortalama en yüksek sıcaklık (°C)	4,7	7,4	12,2	17,5	22,8	27,3	31	31	26,5	20,3	13	18,4
Ortalama sıcaklık (°C)	0,9	2,7	6,7	11,5	16,5	20,6	24,2	23,3	19,6	13,9	7,3	2,8
Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	-2,2	-1,2	1,9	6	10,5	14,1	17,2	17,4	13,1	8,4	2,7	-0,3
En düşük sıcaklık (°C)	-24,9	-24,2	-19,2	-7,2	-1,6	3,8	4,5	5,5	1,5	-9,8	-17,5	-24,2
Ortalama yağış (mm)	42,1	36,6	40,3	46,5	52,0	36,7	14,2	10,9	18,7	29,1	32,0	43,1

Kaynak: (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

Binalarda kullanılan enerji çeşidi ve yoğunluğu binanın hangi iklimde bulunduğu, yüzey şekilleri ve konumuna göre değişmektedir. Ankara ili Türkiye'nin ortasında bulunduğundan denizlere uzak mesafededir. Bu özelliğinden dolayı Ankara ilinin iklimi ılımlı kuru özelliklerdedir. Şekil 5.2'de Ankara ilinin iklimine göre bina formları ve optimum yönü gösterilmektedir.

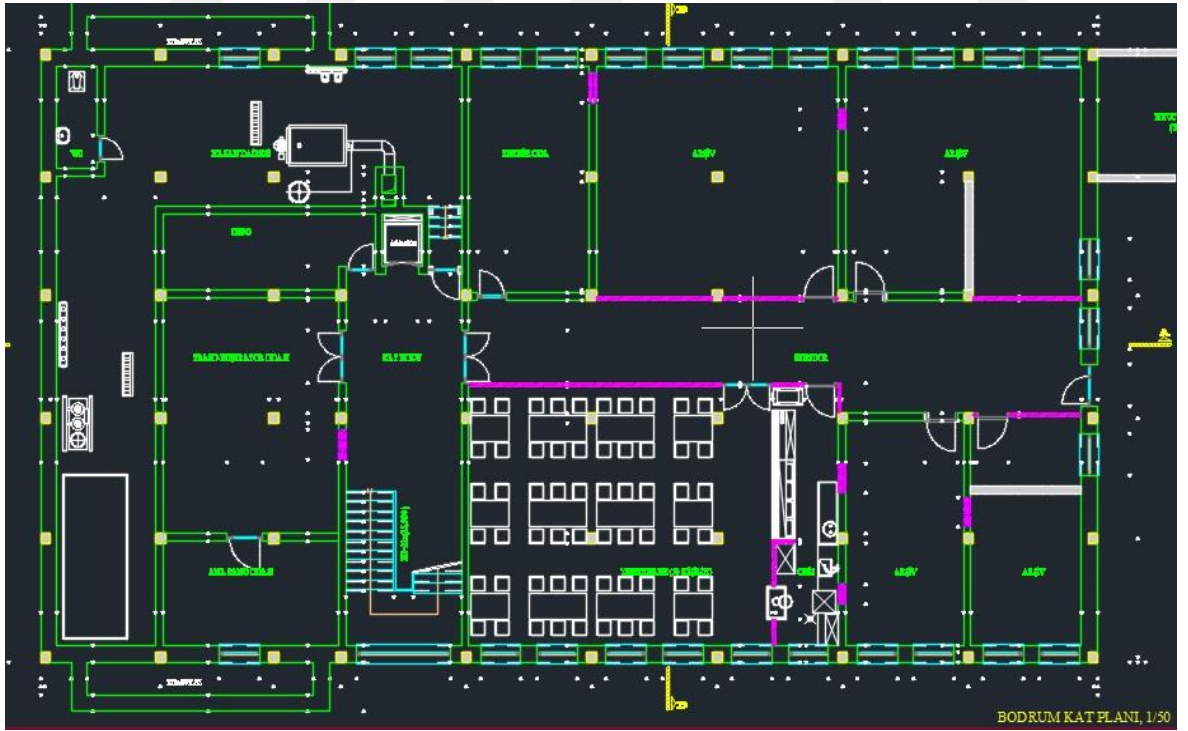
İKLİM BÖLGESİ	BİNA FORMU	BİNA YÖNLENDİRİLİŞİ (optimum yön)
SICAK NEMLİ (Pilot şehir: Antalya)	Rüzgara açık yüzeyli, uzun dikdörtgene yakın 	
SICAK KURU (Pilot şehir: Diyarbakır)	Avlulu, kare tabanlı, avlulu mekana açık yüzeyli 	
ILIMLI KURU (Pilot şehir: Ankara)	Isıtmanın istendiği dönemde rüzgara kapalı, kareye yakın kompakt 	
ILIMLI NEMLİ (Pilot şehir: İstanbul)	Isıtmanın istenmediği dönemdeki rüzgara geniş yüzeyli, dikdörtgen ya da serbest planlı 	
SOĞUK (Pilot şehir: Erzurum)	Rüzgara az yüzey veren, dış yüzeyi minimize eden, kompakt, kare vb. tabanlı 	

Şekil 5. 2. İklim'e göre bina formları ve optimum yön

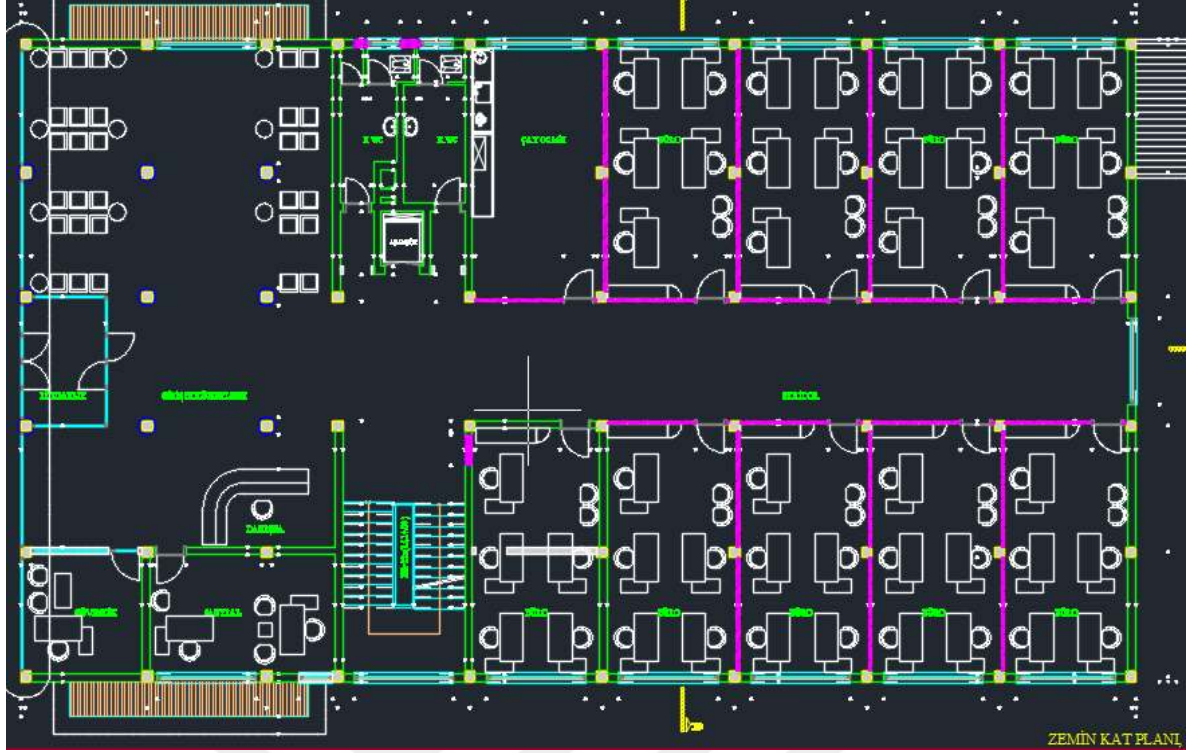
Çalışma yapılacak örnek bina, Çankaya ilçesinin Kızılay mevkiinde bulunmaktadır. Binada toplamda 233 çalışan personel bulunmaktadır. Yetkili personelden alınan verilere göre, binada günlük olarak ortalama 650 ile 700 arasında vatandaş hizmet almaktadır. Bina, bodrum ve zemin katlarla birlikte toplamda 7 kattan oluşmaktadır. Binanın dış görünüşü Şekil 5.3'de verilmiştir. Bodrum katında kazan dairesi, arşiv, yemekhane, trafo-jeneratör odası ve ana pano odası bulunmaktadır. Giriş katında santral ve güvenlik odaları, şube müdürü odası ve vatandaşlara hizmet verilen büro odalarından oluşmaktadır. Diğer 5 kat ise aynı yapıda olup, yönetici odaları ve hizmet verilen büro bölümlerinden oluşmaktadır. Her katta kadın ve erkek WC'leri bulunmaktadır. Bodrum katı haricinde diğer katlarda çay ocağı bölümleri bulunmaktadır. Binanın projesinden ölçülen taban alanı 613,14 m² olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.4'de binanın bodrum kat planı gösterilmektedir. Binanın zemin katı ile diğer üst katlar aynı özelliklerde olduğu için Şekil 5.5'de binaya ait zemin kat planı gösterilmesi yeterli olmuştur.



Şekil 5. 3. Örnek binanın dış görünüşü



Şekil 5. 4. Örnek bina bodrum kat planı



Şekil 5. 5. Örnek bina zemin kat planı

Aşağıdaki Tablo 5.2’de IPCC’nin belirlemiş olduğu kapsamlar ve bina emisyon kaynaklarının hangi kapsamlarda ele alınacağı gösterilmektedir.

Tablo 5. 2. Emisyon kaynakları ve kapsamları

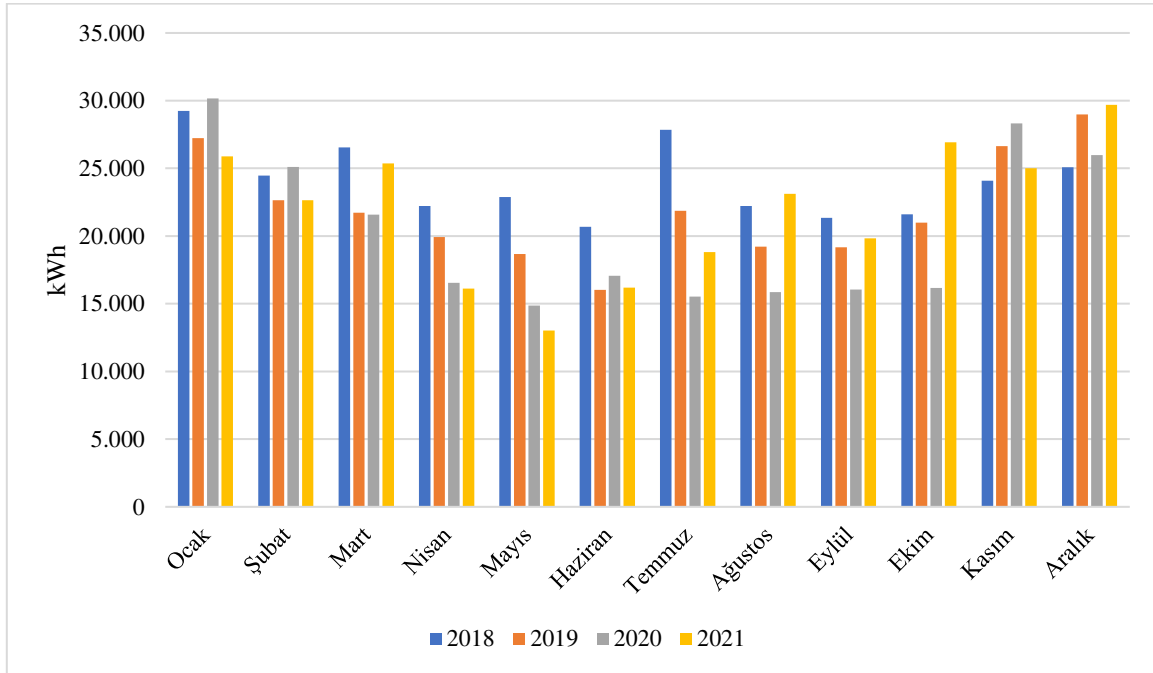
Kapsam	Emisyon Kaynağı	Birimler	Faaliyet Verileri	Veri Kalitesi
Kapsam 1	Doğalgaz tüketimi	kWh	Kartlı doğalgaz alım bilgileri	Birincil veri
Kapsam 2	Elektrik tüketimi	kWh	Aylık elektrik faturaları	Birincil veri
	Su tüketimi	m ³	Kartlı su alım bilgileri	Birincil veri
Kapsam 3	Dizel yakıt tüketimi	lt	Servis ve katalog tüketim verileri, Servis şoförlerinden edinilen bilgiler	Birincil veri

5.2. Elektrik Tüketimi

Örnek binanın 4 yıllık elektrik tüketimlerinden kaynaklanan karbon ayak izini ölçmek amacıyla 2018, 2019, 2020, ve 2021 yıllarına ait elektrik faturalarından faydalanılarak Tablo 5.3 oluşturulmuştur. Elektrik tüketimlerinin aylık ve yıllık olarak karşılaştırılıp daha iyi yorumlanabilmesi için Grafik 5.1 oluşturulmuştur.

Tablo 5. 3. Dört yıllık elektrik tüketim verileri

Aylar	Elektrik Tüketim Miktarları (kWh)			
	2018	2019	2020	2021
Ocak	29.232	27.237	30.163	25.883
Şubat	24.459	22.649	25.104	22.649
Mart	26.556	21.722	21.584	25.354
Nisan	22.212	19.924	16.536	16.120
Mayıs	22.892	18.676	14.866	13.025
Haziran	20.687	16.036	17.068	16.180
Temmuz	27.852	21.857	15.530	18.808
Ağustos	22.232	19.218	15.870	23.120
Eylül	21.351	19.162	16.041	19.827
Ekim	21.597	20.989	16.158	26.932
Kasım	24.096	26.644	28.320	25.011
Aralık	25.086	28.984	25.981	29.700
Toplam	288.252	263.098	243.221	262.609

**Grafik 5. 1.** Binanın elektrik tüketim dağılımı

Tablo 5.3 incelendiğinde, örnek binanın 2018 yılı içerisinde elektrik tüketiminin aylık ortalama 24.021 kWh olarak, bu yılın toplam tüketim değerinin ise 288.252 kWh olarak gerçekleştiği görülmektedir. 2019 yılında aylık ortalama elektrik tüketimi 21.925 kWh olmuş ve yıllık toplamda ise bir önceki yıla göre bir miktar düşerek 263.098 kWh elektrik tüketilmiştir. 2020 yılında aylık ortalama elektrik tüketimi 20.268 kWh, yıllık toplamda ise yine önceki yıllara göre düşüş oluşarak 243.221 kWh olmuştur. 2021 yılı aylık ortalama elektrik tüketimi 21.884 kWh olmuş, yıllık toplamda ise önceki yıla nazaran bir miktar artış oluşarak 262.609 kWh gerçekleşmiştir. Sonuç olarak dört yıllık toplam elektrik tüketimi 1.057.180 kWh olarak gerçekleşmiştir.

Binanın aylık elektrik tüketim verileri doğrultusunda Tablo 5.3 ve Grafik 5.1 incelendiğinde sonbahar ve kış aylarında elektrik tüketimlerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi sonbahara girildikten sonra havaların soğuyup ısıtma sisteminin devreye girmesiyle elektrik tüketiminde artışlar meydana gelmesi olarak açıklanabilir. Ayrıca gece-gündüz süreleri incelendiğinde sonbaharda gündüz süresiyle birlikte güneşli gün sayısının da azaldığı, bu nedenlerden dolayı binada çalışma süreleri içerisinde oluşan aydınlatma ihtiyacının etkisiyle elektrik tüketim artışının olduğu söylenilebilir.

Grafik 5.1 incelendiğinde, ilkbahar aylarında elektrik tüketiminin azaldığı görülmektedir. Bu azalma sebebinin, kış aylarının bitip soğukların azalmasıyla ısıtma sisteminin devreden çıkmasının etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca güneşli gün sayısının da artmasıyla aydınlatma ihtiyacının da azaldığı yorumu yapılabilmektedir.

Yine ilkbahar aylarının sonu itibariyle elektrik tüketiminin arttığı gözlenmektedir. Havaların ısınmasıyla klima sistemlerinin devreye girdiği düşünüldüğünde elektrik tüketiminin soğutma ihtiyacından kaynaklı genel bir artış sürecine girildiği görülmektedir.

Grafik 5.1'deki dağılım incelendiğinde dört yıllık elektrik tüketimi en çok aralık, ocak ve şubat aylarında olduğu, en az elektrik tüketiminin ise nisan, mayıs ve haziran aylarında olduğu görülmektedir. Ülkemizde 2020 mart ayında başlayan ve hala devam eden Covid-19 salgınının elektrik üretimine çok az etki ettiği gözlenmektedir.

5.3. Elektrik Tüketiminden Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Tablo 5.4'de DEFRA'nın 2021 yılında yayınladığı elektrik tüketimine ait karbon emisyon faktörü bulunmaktadır. DEFRA elektrik emisyon faktörü olarak Tablo 5.4'deki eşdeğer emisyon faktörü dikkate alınmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan bu

emisy on faktörü elektrik tüketim değ erleriyle çarpılarak eşdeğ er karbon ayak izi hesaplanacaktır.

Tablo 5. 4. DEFRA 2021 elektrik emisyon faktörü

Elektrik Tüketimine Ait Emisyon Faktörü	Eşdeğ er Emisyon Faktörü	Emisyon Faktörü
	kgCO ₂ e	kgCO ₂
	0,21233	0,21016

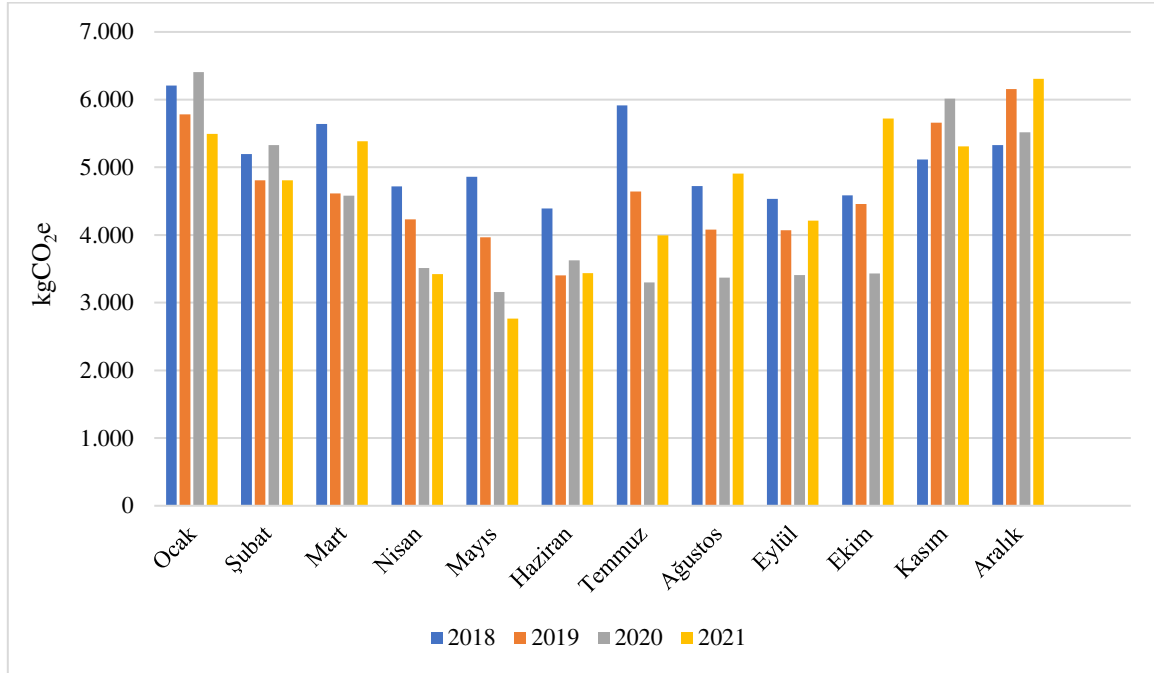
$$\text{Karbon Ayak İzi} = \text{Aylık Elektrik Tüketimi} \times \text{Emisyon Faktörü}$$

Binanın son dört yıllık elektrik tüketim miktarlarıyla DEFRA'nın 2021 yılında yayınlamış olduğu elektrik emisyon faktörü çarpılarak hesaplanan elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi sonuçları Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörü olarak 0,21233 kgCO₂e alınmıştır. Hesaplamalarda öncelikle aylık veriler doğ rultusunda aylık karbon ayak izleri bulunmuş, sonrasında yıllık toplam karbon ayak izlerini bulmak için aylık bulunan değ erler toplanarak Tablo 5.5'in altında gösterilmiştir.

Tablo 5. 5. Yıllara göre elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarları

Aylar	Karbon Ayak İzi Miktarı (kgCO ₂ e)			
	2018	2019	2020	2021
Ocak	6.206,830	5.783,232	6.404,509	5.495,737
Şubat	5.193,379	4.809,062	5.330,332	4.809,062
Mart	5638,635	4.612,232	4.582,931	5.383,415
Nisan	4.716,274	4.230,463	3.511,089	3.422,76
Mayıs	4.860,658	3.965,475	3.156,498	2.765,598
Haziran	4.392,471	3.404,924	3.624,048	3.435,499
Temmuz	5.913,815	4.640,897	3.297,485	3.993,503
Ağustos	4.720,521	4.080,558	3.369,677	4.909,07
Eylül	4.533,458	4.068,667	3.405,986	4.209,867
Ekim	4.585,691	4.456,594	3.430,828	5.718,472
Kasım	5.116,304	5.657,321	6.013,186	5.310,586
Aralık	5.326,51	6.154,173	5.516,546	6.306,201
Toplam	61.204,547	55.863,598	51.643,115	55.759,768

Hesaplamalar sonucunda bulunan değerler, aylık bazda daha iyi gözlemlenebilmesi ve yorumlanabilmesi için Grafik 5.2 oluşturulmuştur.



Grafik 5. 2. Binanın elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi dağılımı

Tablo 5.5’de gösterildiği gibi, örnek binanın 2018 yılında elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam karbon ayak izi 61.204,547 kgCO₂e olarak ölçülmüştür. 2018 yılındaki ölçülen karbon ayak izi, dört yıl içerisindeki en yüksek emisyon değeridir. 2019 yılındaki elektrik tüketimi 2018 yılına göre bir miktar azaldığından, karbon ayak izi de azalmış ve 2019 yılında karbon ayak izi 55.863,598 kgCO₂e olmuştur. 2020 yılının mart ayında başlayan Covid-19 salgını, günlük yaşamı etkilediği gibi kamu hizmetlerini de etkilemiştir. 2020 yılındaki kısıtlamalar ve esnek çalışmaların etkisiyle elektrik tüketimleri 2019 yılına göre bir miktar daha azalmıştır. Sonuç olarak 2020 yılında elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam karbon ayak izi 51.643,115 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. 2021 yılında salgın devam ederken, alınan tedbirler ve önlemlerle toplum olarak salgınla yaşamaya alışılmış ve normalleşme sürecine girilmiştir. Bu nedenle 2021 yılı elektrik tüketimi tekrar artmış ve karbon ayak izi de buna paralel olarak yükselerek 55.759,768 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak binanın elektrik tüketim verileri doğrultusunda karbon ayak izi dört yıllık sürede toplam olarak 224.471,03 kgCO₂e hesaplanmıştır.

Tablo 5.5 ve Grafik 5.2 incelendiğinde, 2020 yılında Covid-19 salgınının başlamasıyla birlikte insanların kamusal alanlara, halka açık ve kalabalık ortamlara girmemeye özen göstermiştir. Bununla birlikte yapılan kısıtlamaların da etkisi olmuş ve örnek kamu binasında

hizmet alan vatandaş sayısında ciddi azalmalar olmuştur. Sayılan nedenlerle 2020 yılında elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi 51.643,115 kgCO₂e olarak ortalama emisyon değerinin altında kalmıştır. 2021 yılında Covid-19 salgını, binanın kirletici miktarında fazla etkili olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi çalışılmadığı süre içerisinde binada bulunan her ofiste bir nöbetçi memurun kalması ve normal sürece girilip salgınla yaşamaya alışıldığı düşünülmektedir. Yukarıdaki elektrik tüketim verilerinin olduğu Tablo 5.3 ve elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarları bulunan Tablo 5.5 karşılıklı incelenirse, binada oluşan elektrik tüketimiyle karbon ayak izi miktarları paralel özellikler gösterdiği görülmektedir. Elektrik tüketimi artarken karbon ayak izi de artmış, elektrik tüketimi azalırken karbon ayak izi de azalmıştır.

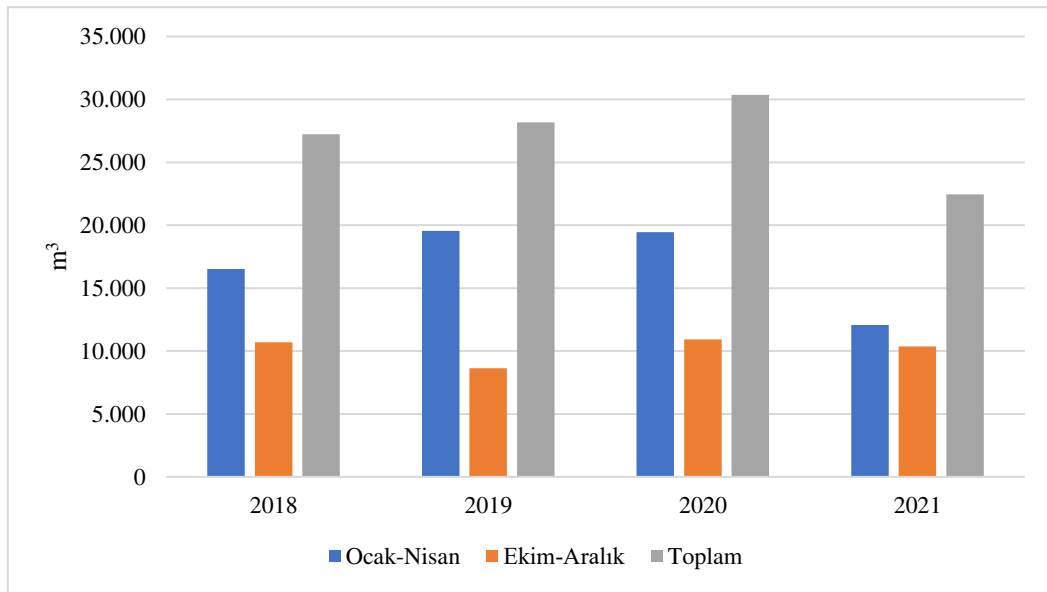
Grafik 5.2.'de görüldüğü üzere, genel olarak karbon ayak izi miktarlarının ilkbahar aylarında düşük olduğu görülmektedir. Bu dönemlerde karbon ayak izinin düşük olmasının sebebi olarak, kış aylarının bitmesiyle ısıtma sisteminin devreden çıkması ve henüz havalar rahatsız edici sıcaklıklara ulaşmadığı için klima sisteminin henüz devreye girmemiş olması olarak açıklanabilir. Yine grafiğe bakarak, yaz aylarına girilmesiyle sıcakların arttığı, bunun sonucunda klima ve havalandırma sisteminin devreye girmesi sonucunda emisyon oranının yükseldiği anlaşılmaktadır. Emisyon oranlarının en yüksek olduğu kış aylarında ise, hem günlerin kısılması sonucunda aydınlatma ihtiyacının artması hem de soğukların başlamasıyla ısıtma sisteminin devreye girmesi sonucunda elektrik tüketiminin artmasına bağlı olarak karbon ayak izli miktarının arttığı sonucu çıkmaktadır.

5.4. Doğalgaz Tüketimi

Doğalgazın binada sadece ısıtma sisteminde kullanılmasından dolayı, doğalgaz tüketimi sadece kış sezonunda ve yılın belirli tarih aralıklarında olmaktadır. Ankara Valiliği tarafından kış sezonunun 15 Kasım ile 15 Nisan aylarında arasında olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple sadece valilik tarafından belirlenen tarih aralıklarında merkezi ısıtma sistemleri kullanılmaktadır. Ancak hava sıcaklığı 15 °C'nin altına düşmesi durumlarında, yine merkezi ısıtma sistemleri kullanılabileceği belirtilmiştir. Örnek olarak alınan kamu binası, hafta sonları ve resmî tatillerde hizmet vermemektedir. Çalışma saatleri 08:30-17:30 arasında olmakta ve bu saatler arasında hizmet verilmektedir. Binanın doğalgaz tüketiminden kaynaklı karbon ayak izini belirlemek için, binanın günlük çalışma saatlerinin, ısıtma sezonunun ve çalışılmayan günlerin bilinmesi, hesaplamaların doğru yapılmasında, sonuçların iyi gözlemlenebilmesinde ve doğru yorumlanabilmesinde büyük önem arz etmektedir. Doğalgaz tüketim verileri doğrultusunda Tablo 5.6. ve Grafik 5.3. oluşturulmuştur.

Tablo 5. 6. Dört yıllık doğalgaz tüketim verileri

Aylar	Doğalgaz Tüketim Miktarları (m ³)			
	2018	2019	2020	2021
01.01.2018-12.02.2018	8.781			
13.02.2018-01.11.2018	7.751			
02.11.2018-31.12.2018	10.687			
01.01.2019-13.01.2019		2.316		
14.01.2019-30.03.2019		13.941		
01.04.2019-29.10.2019		3.297		
30.10.2019-10.12.2019		4.117		
11.12.2019-31.12.2019		4.506		
01.01.2020-21.01.2020			4.292	
21.01.2020-12.02.2020			5.296	
13.02.2020-13.10.2020			9.863	
14.10.2020-09.12.2020			6.277	
10.12.2020-31.12.2020			4.645	
01.01.2021-01.02.2021				6.756
02.02.2021-14.04.2021				4.596
15.04.2021-23.09.2021				712
24.09.2021-14.12.2021				6.440
15.12.2021-31.12.2021				3.932
Toplam	27.219	28.177	30.373	22.436

**Grafik 5. 3.** Bina'nın doğalgaz tüketim dağılımı

Binanın merkezi ısıtma sisteminde yakıt olarak kullanılan doğalgaz, kış sezonunda ortalama olarak 5 ay tüketilmektedir. Binadaki doğalgaz sayacına kartla dolum yapıldığından, aylık bazda ne kadar doğalgaz tüketimi yapıldığı kayıt altına alınamamaktadır. Kartla doğalgaz alımlarının kayıtları tutulduğundan, yıllık olarak ne kadar doğalgaz alındığı bilinmektedir. Binadaki yetkili personel tarafından doğalgaz alımlarının tutulduğu kayıtlardan yararlanılarak Tablo 5.6 düzenlenmiştir. Oluşturulan tabloda bir sonraki yıla kalan doğalgaz miktarları enterpolasyon yöntemiyle hesaplanıp gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Tablo 5.6’da görüldüğü üzere 2018 yılında 27.219 m³ doğalgaz tüketimi olmuştur. 2019 yılında, bir önceki yıla yakın doğalgaz tüketimi gerçekleşerek 28.177 m³ olmuştur. 2020 yılının 30.373 m³ ile en fazla doğalgaz tüketilen yıl olduğu görülmektedir. 2020 mart ayında ülkemizde görülmeye başlanan Covid-19 salgını, ısıtma sistemiyle tüketilen doğalgaz miktarı ters orantılı olduğu görülmektedir. Çünkü kış sezonu bitmek üzereyken pandemi başladığından, salgının binanın ısıtılmasında herhangi bir değişiklik yaratmadığını göstermektedir. 2021 yılında ise en az doğalgaz tüketimi gerçekleşerek 22.436 m³ olmuştur. Covid-19 salgını 2021 yılına etkisi olduğu düşünülmektedir. Dört yıllık toplam doğalgaz tüketimi ise 108.205 m³ olarak gerçekleşmiştir.

5.5. Doğalgaz Tüketiminden Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Tablo 5.7’de DEFRA’nın 2021 yılında yayınladığı doğalgaz tüketimine ait karbon emisyon faktörü bulunmaktadır. DEFRA doğalgaz emisyon faktörü olarak Tablo 5.7’deki eşdeğer emisyon faktörü dikkate alınmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan bu emisyon faktörü doğalgaz tüketim değerleriyle çarpılarak eşdeğer karbon ayak izi hesaplanacaktır.

Tablo 5. 7. DEFRA 2021 doğalgaz emisyon faktörü

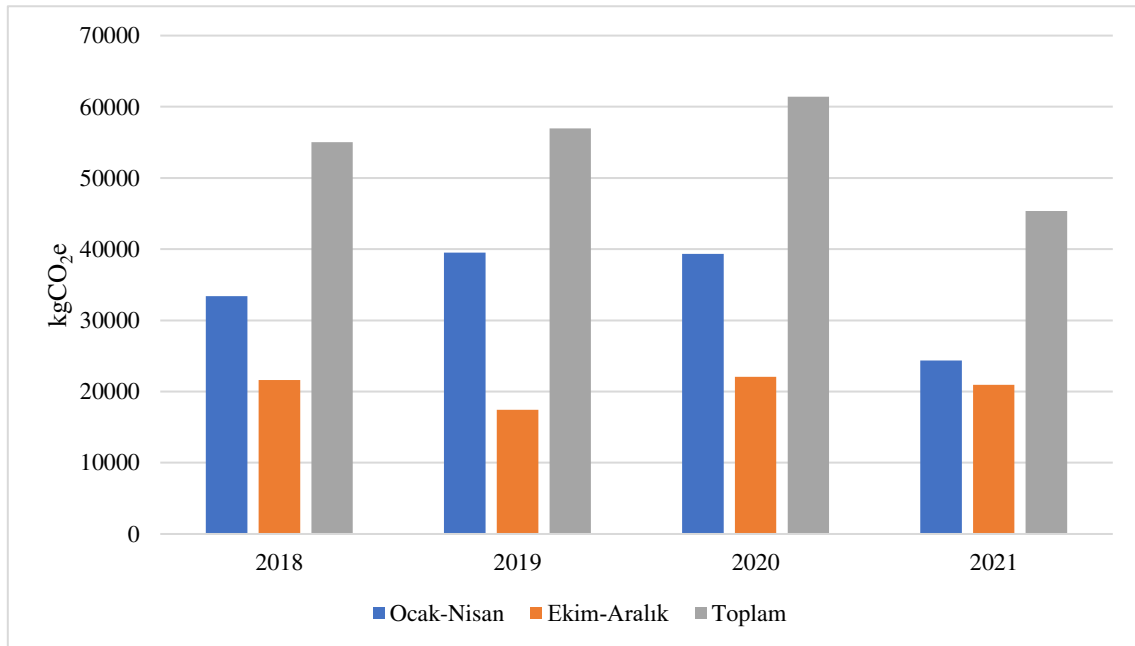
Doğalgaz Tüketimine Ait Emisyon Faktörü	Eşdeğer Emisyon Faktörü	Emisyon Faktörü
	kgCO ₂ e	kgCO ₂
	2,02135	2,01754

$$\text{Karbon Ayak İzi} = \text{Doğalgaz Tüketim Verileri} \times \text{Emisyon Faktörü}$$

Doğalgaz tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izini bulmak için yukarıdaki formül kullanılmıştır. Tablo 5.8’de hesaplanmış karbon ayak izi miktarları dönemsel ve yıllık toplam olarak gösterilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörü 2,02135 kgCO₂e olarak alınmıştır.

Tablo 5. 8. Yıllara göre doğalgaz tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarları

Zaman Aralığı	Karbon Ayak İzi Miktarı (kgCO ₂ e)			
	2018	2019	2020	2021
01.01.2018-12.02.2018	17.749,474			
13.02.2018-01.11.2018	15.667,484			
02.11.2018-31.12.2018	21.602,167			
01.01.2019-13.01.2019		4.681,446		
14.01.2019-30.03.2019		28.179,640		
01.04.2019-29.10.2019		6.664,391		
30.10.2019-10.12.2019		8.321,898		
11.12.2019-31.12.2019		9.108,203		
01.01.2020-21.01.2020			8.675,634	
21.01.2020-12.02.2020			10.705,069	
13.02.2020-13.10.2020			19.936,575	
14.10.2020-09.12.2020			12.688,014	
10.12.2020-31.12.2020			9.389,170	
01.01.2021-01.02.2021				13.656,240
02.02.2021-14.04.2021				9.290,124
15.04.2021-23.09.2021				1.439,201
24.09.2021-14.12.2021				13.017,494
15.12.2021-31.12.2021				7.947,948
Toplam	55.019,125	56.955,578	61.394,464	45.351,008

**Grafik 5. 4.** Binanın doğalgaz tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi dağılımı

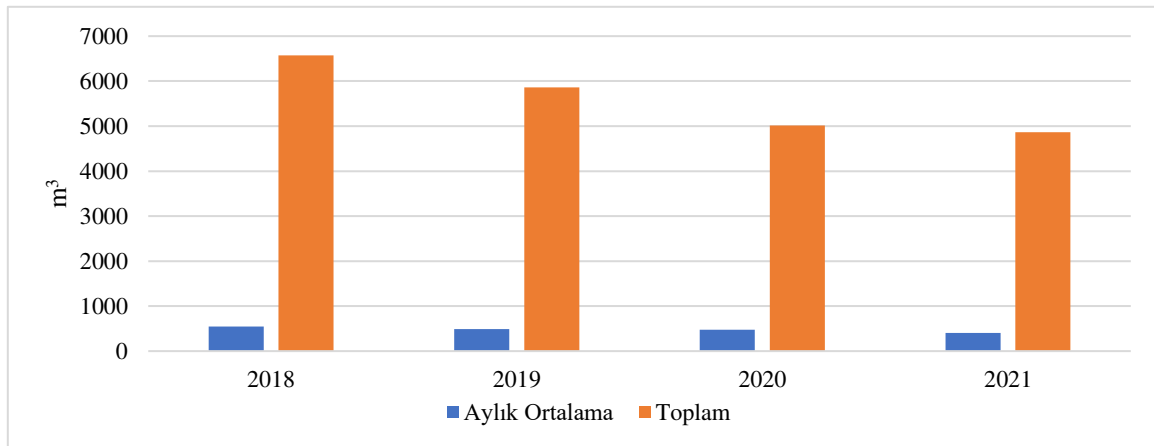
Yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo 5.8’de görüldüğü üzere, 2018 yılının ilk dört ayında doğalgaz tüketimi sonucunda oluşan karbon ayak izi miktarı 33.416,96 kgCO₂e olarak bulunmuştur. 2018 yılının son iki ayında ise bu miktar 21.602,167 kgCO₂e hesaplanmıştır. 2018 yılında doğalgaz tüketimi sonucunda oluşan toplam karbon ayak izi miktarı 55.019,125 kgCO₂e olmuştur. 2019 yılında doğalgaz tüketimi sonucunda oluşan karbon ayak izi miktarı toplamda 56.955,578 kgCO₂e oluşarak, bir önceki yıla göre yaklaşık olarak 1.900 kgCO₂e artmıştır. 2020 yılında doğalgaz tüketimine bağlı olarak oluşan karbon ayak izi de artarak 61.394,464 kgCO₂e olmuştur. 2020 yılının mart ayıyla birlikte Türkiye’de Covid-19 vakaları görülmeye başlanmıştır. Ancak bu gelişmenin doğalgaz tüketimine ve dolayısıyla emisyon miktarına etkisi olmadığı görülmektedir. Covid-19 vakalarının görülme tarihleri kış sezonunun sonuna doğru olduğu ve kapalı ortamlarda bulunan insan sayısı azalsa bile sonuçta her çalışma ofisinde birer personel kaldığından ısıtma sistemi aynen devam ettiği için 2020 yılındaki doğalgaz tüketimine etkisi olmadığı görülmektedir. 2021 yılında toplam doğalgaz tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 45.351,008 kgCO₂e bulunarak, dört yılda oluşan en düşük emisyon miktarı bu yıl olduğu görülmektedir. 2021 yılında devam eden pandemiyle yaşamaya alışıldığı ve kapalı alanlarda daha az vakit geçirildiği sonucu çıkarılabilir. Bu sebeple de boş olan büro ve mekanların gereksiz ısıtılması önleildiği ve bilinçli tüketim olduğu sonucu çıkarılabilir. Sonuç olarak dört yıllık toplam doğalgaz tüketimi sonucunda oluşan karbon ayak izi miktarı 218.720,18 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. Grafik 5.4 incelendiğinde, doğalgaz tüketimlerine bağlı olarak karbon ayak izlerinin de her yılın ilk dört ayında daha fazla olduğu görülmektedir.

5.6. Su Tüketimi

Çalışmanın yapıldığı örnek bina, resmi çalışma işgünlerinde ve hafta içi 08.30-17.30 saatleri arasında hizmet vermektedir. Binada su tüketimleri de bu saatler içerisinde olmaktadır. Suyun kullanımı genel olarak, binada çalışan personellerin ve vatandaşların kullanımına açık olan WC’ler, her katta bulunan çay ocakları ve binanın temizliğinde kullanılan su tüketiminden oluşmaktadır. Su tüketim verileri kullanılarak oluşan karbon ayak izi miktarı hesaplanarak yukarıda sayılan bilgiler ışığında sonuçlar yorumlanacaktır. Binanın yetkili personelinden alınan dört yıllık su tüketim verileriyle oluşturulan Tablo 5.9. ve Grafik 5.5 aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 5. 9. Dört yıllık ait su tüketim verileri

Zaman Aralığı	Su Tüketim Miktarı (m ³)			
	2018	2019	2020	2021
01.01.2018-14.02.2018	977			
15.02.2018-21.03.2018	794			
22.03.2018-19.04.2018	652			
20.04.2018-07.06.2018	770			
08.06.2018-22.07.2018	690			
23.07.2018-16.09.2018	762			
17.09.2018-01.11.2018	884			
02.11.2018-31.12.2018	1045			
01.01.2019-11.02.2019		730		
12.02.2019-31.03.2019		782		
01.04.2019-10.07.2019		1541		
11.07.2019-29.09.2019		1198		
30.09.2019-31.12.2019		1610		
01.01.2020-20.01.2020			321	
21.01.2020-09.04.2020			1388	
10.04.2020-23.08.2020			1489	
24.08.2020-31.12.2020			1814	
01.01.2021-23.02.2021				763
24.02.2021-14.04.2021				811
15.04.2021-24.08.2021				1254
25.08.2021-31.12.2021				2039
Toplam	6574	5861	5012	4867

**Grafik 5. 5.** Bina'nın su tüketim dağılımı

Binada bulunan su sayacı kartlı olduğundan düzenli dolum gerçekleşmemiş, su ihtiyacı oluşması halinde dolum gerçekleşmiştir. Yetkili personelden alınan kartlı dolum verileriyle Tablo 5.9 oluşturulmuştur. Sayaçta bulunan su, her yılın sonunda tükenmemektedir. Bundan dolayı sonraki yıla aktarılan miktarlar, enterpolasyon yöntemiyle düzenlenip tabloya aktarılmıştır. 2018 yılındaki tüketilen su miktarı 6.574 m³ gerçekleşerek kapsamdaki yıllar itibarıyla en fazla tüketimin bu yıl içerisinde olduğu görülmektedir. 2018 yılına göre 2019 yılındaki su tüketimi nispeten azalarak 5861 m³ olmuştur. 2020 yılında oluşan Covid-19 salgınının başlamasıyla kamu kurumları, önlem olarak esnek çalışmaya geçerek kapalı alanlardaki çalışan personel sayısını azaltmıştır. Ayrıca kısıtlamaların etkisiyle hizmet alan vatandaşların sayısında da düşüş olduğu için 2020 yılında binadaki su tüketimi azalmıştır. Bu sayılan sebeplerle 2020 yılında tüketilen su miktarı daha da azalarak 5012 m³ olmuştur. Salgının 2021 yılında da devam etmesiyle binadaki su tüketiminin 4867 m³ olarak gerçekleşmesini sağlamıştır. Sonuç olarak binadaki dört yıllık su tüketimi toplamda 22.314 m³ olarak hesaplanmıştır.

5.7. Su Tüketiminden Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Tablo 5.10'da DEFRA'nın 2021 yılında yayınladığı su tüketimine ait karbon emisyon faktörü bulunmaktadır. DEFRA su emisyon faktörü olarak Tablo 5.10'daki eşdeğer emisyon faktörü dikkate alınmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan bu emisyon faktörü su tüketim değerleriyle çarpılarak eşdeğer karbon ayak izi hesaplanacaktır.

Tablo 5. 10. DEFRA 2021 su emisyon faktörü

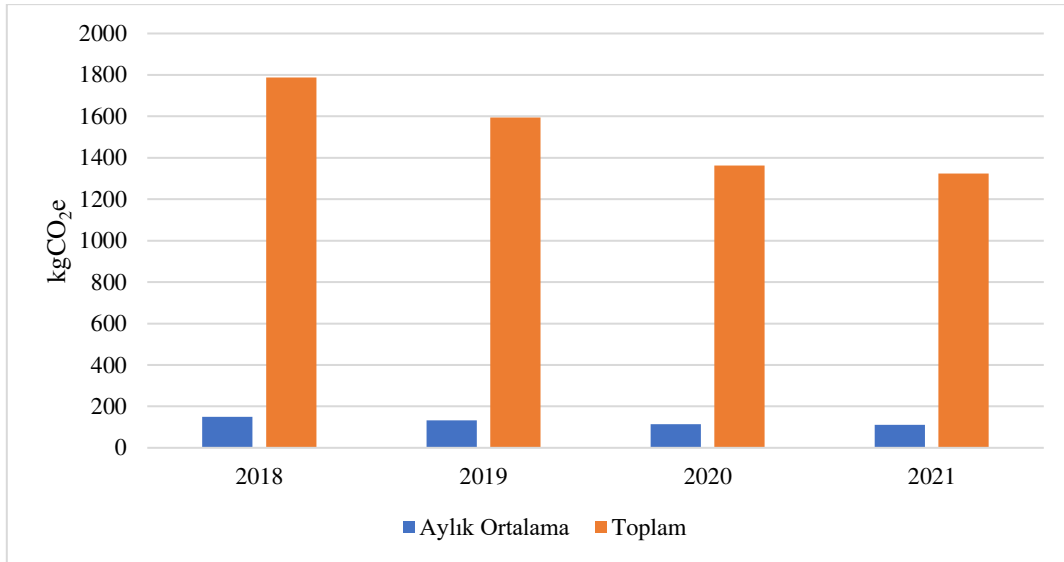
Su Tüketimine Ait Emisyon Faktörü	Eşdeğer Emisyon Faktörü	Emisyon Faktörü
	kgCO ₂ e	kgCO ₂
	0,272	

$$\text{Karbon Ayak İzi} = \text{Su Tüketim Verileri} \times \text{Emisyon Faktörü}$$

Yukarıdaki formül kullanılıp su tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarları hesaplanarak Tablo 5.11'de dönemsel ve toplam olarak gösterilmiştir. Hesaplanan veriler için genel bir yorum yapılabilmesi için Grafik 5.6 oluşturulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörü 0,272 kgCO₂e olarak alınmıştır.

Tablo 5. 11. Yıllara göre su tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarları

Zaman Aralığı	Karbon Ayak İzi Miktarı (kgCO ₂ e)			
	2018	2019	2020	2021
01.01.2018-14.02.2018	265,744			
15.02.2018-21.03.2018	215,968			
22.03.2018-19.04.2018	177,344			
20.04.2018-07.06.2018	209,44			
08.06.2018-22.07.2018	187,68			
23.07.2018-16.09.2018	207,264			
17.09.2018-01.11.2018	240,448			
02.11.2018-31.12.2018	284,24			
01.01.2019-11.02.2019		198,56		
12.02.2019-31.03.2019		212,704		
01.04.2019-10.07.2019		419,152		
11.07.2019-29.09.2019		325,856		
30.09.2019-31.12.2019		437,92		
01.01.2020-20.01.2020			87,312	
21.01.2020-09.04.2020			377,536	
10.04.2020-23.08.2020			405,008	
24.08.2020-31.12.2020			493,408	
01.01.2021-23.02.2021				207,536
24.02.2021-14.04.2021				220,592
15.04.2021-24.08.2021				341,088
25.08.2021-31.12.2021				554,608
Toplam	1.788,128	1.594,192	1.363,264	1.323,824



Grafik 5. 6. Binanın su tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi dağılımı

Binanın su tüketim verileriyle hesaplamalar yapılarak Tablo 5.11 ve Grafik 5.6 oluşturulmuştur. Oluşturulan Tablo 5.11’de gösterildiği üzere, dört yıllık su tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 6.069,41 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. Binadaki su tüketimine bağlı olarak 2018 yılında 1.788,128 kgCO₂e karbon ayak izi olduğu görülmektedir. 2019 yılındaki su tüketimi 2018 yılına göre, yaklaşık olarak 700 m³ azalması sonucunda oluşan karbon ayak izinde de azalma oluşarak 1.594,192 kgCO₂e hesaplanmıştır. 2020 yılında su tüketimine paralel olarak karbon ayak izinde de azalma devam ederek 1.363,264 kgCO₂e olmuştur. 2020 yılındaki salgın hastalık nedeniyle kamu hizmetlerinde esnek çalışılmaya gidildiği için binaya gelen vatandaş sayısına bağlı olarak su tüketiminin azaldığı düşünülmektedir. 2021 yılındaki su tüketimi 2020 yılına yakın olarak olduğu için, 2021 yılında oluşan karbon ayak izi 1.323,824 kgCO₂e oluşarak önceki yıla yakın bir emisyon miktarı oluşmuştur. Sonuç olarak su tüketim miktarlarıyla karbon ayak izinin doğru orantılı olarak paralel bir şekilde değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır.

5.8. Personel Servisleri

Örnek binanın bağlı bulunduğu kamu kurumunun Ankara ilinde şehir içi servis hizmeti bulunmaktadır. Servis hizmetinden Ankara Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde belirli güzergahlarla kurum personeli, servislerde yer olması halinde personelin kreşe giden çocukları ve stajyer öğrenciler de faydalanabilmektedir. Kurum servisleri sadece örnek binaya değil, Kızılay bölgesinde bulunan hizmet binalarındaki kurum personellerine ve ilçelerden aktarma yoluyla gelen kurum personeline de hizmet vermektedir. Toplam ana hat servis araçları; 6 adet 45 kişilik otobüs, 67 adet 27 kişilik otobüs (midibüs), 104 adet 17 kişilik otobüs (minibüs) olmak üzere toplamda 177 araçtan oluşmaktadır. Bu araçların hizmet alım şartnamesine göre

45 kişilik otobüsler 19 yaşından, 27 kişilik midibüsler 12 yaşından ve 17 kişilik minibüsler ise 8 yaşından büyük olmaması gerektiği belirtilmiştir.

Çalışmanın kapsamı örnek binayla sınırlı olduğundan, binada çalışan 233 personelin kullandığı servis araçlarıyla sınırlı kalacaktır. Bu kapsamda örnek binada servis hizmetinden yararlanan 233 personel, personelin kreşe giden çocukları ve stajyer öğrenciler dikkate alınmıştır. Servis sorumlularından alınan bilgilere göre servis araçlarının pratikte tam kapasite çalışmadığı bilgisiyle; servislerden kaynaklanan karbon ayak izinin hesaplanması için 4 adet 27 kişilik otobüs (midibüs), 12 adet 17 kişilik otobüs (minibüs) örneklem olarak seçilmiştir. Servis araçları Ankara Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde hizmet verdiği için en yakın ve en uzak mesafeler dikkate alınarak sabah-akşam servislerin katettikleri yol göz önüne alınarak günlük ortalama 30 km yol katettikleri kabulü yapılmıştır. Yine araçların yakıt tüketimleri 100 km şehir içi yakıt tüketimleri için Ford Transit 7,9 litre, Mercedes-Benz Sprinter Tourer için 9,2 litre, Volkswagen Crafter 8,2 litre, Otokar Sultan Midibüs ise 21 litre olduğu yetkili servisler ve ürün kataloglarından bulunmuştur. Ancak bu değerler sıfır araç tüketim değerleridir. Bu sebeple mevcut servis araçlarının sıfır araç olmadıkları gözlenmiş, genelde servis ihale şartnamesindeki yaş kriterleri içinde oldukları ve araçların yaşları itibarıyla yıpranmış oldukları, Ankara mesai başlangıcı ve çıkışı saatlerindeki oluşan trafik, şehir içindeki trafik ışıklarındaki bekleme süreleri dikkate alınarak araç servislerinden ve kataloglarından edinilen yakıt tüketim değerleri sağlıklı olamayacağı kanaatine varılmıştır. Bu sebeple karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılacak değerler için servis sorumluları ve şoförlerle yapılan görüşmeler ile araç yetkili servis verilerinin incelenmesi sonucunda bazı kabullerin yapılması gerekli görülmüştür.

5.9. Servis Araçlarından Kaynaklanan Karbon Ayak İzi

Personel servislerinden kaynaklanan karbon ayak izini bulmak için kurumun hizmet alım şartnameleri incelenmiş, araç yetkili servisleri ile görüşülerek ve ürün kataloglarındaki tüketim değerleri incelenerek sıfır araç tüketim değerleri belirlenmiş, kurum ihale servisindeki personellerle, servis ihalesini alan sorumlularla ve servis şoförleriyle de görüşülerek aşağıdaki kabullerin yapılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Kabuller

- Örneklem araç sayıları: 4 adet 27 kişilik midibüs, 12 adet 17 kişilik minibüs
- Personel servislerinin günlük katettikleri ortalama yol: 30 kilometre
- 17 kişilik minibüslerin km başı tüketim değeri: 0,12 litre
- 27 kişilik midibüslerin km başı tüketim değeri: 0,24 litre

Tablo 5. 12. Yıllara ait resmi gün sayıları ve katedilen toplam mesafe

Açıklama	2018 Yılı	2019 Yılı	2020 Yılı	2021 Yılı
Resmi çalışma gün sayıları	251	249	252	249
Araç başı toplam katedilen mesafe (km)	7.530	7.470	7.560	7.470

Personel servislerinden kaynaklanan karbon ayak izi ölçülecek örnek binada hafta sonu, resmî tatil ve bayramlarda hizmet verilmemektedir. Bu sebeple çalışmanın kapsadığı yıllarda çalışılan gün sayılarını göstermek üzere Tablo 5.12 oluşturulmuştur. Ayrıca her yıldaki toplam gün sayıları ile günlük ortalama katedilen mesafeler çarpılarak her yıl için toplam katedilen mesafe de aynı tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5. 13. 17 kişilik araçların yıllara ait toplam yakıt tüketimi

Açıklama	2018 Yılı	2019 Yılı	2020 Yılı	2021 Yılı
Minibüs sayısı	12	12	12	12
Araç başı toplam katedilen mesafe (km)	7.530	7.470	7.560	7.470
Katedilen toplam mesafe (km)	90.360	89.640	90.720	89.640
Yakıt tüketimi (lt/km)	0,12	0,12	0,12	0,12
Toplam yakıt tüketimi (lt)	10.843,2	10.756,8	10.886,4	10.756,8

Tablo 5.13’de 17 kişilik araçların toplam sayıları ile yıllar itibariyle katedilen mesafeler ve araçların ortalama şehir içi yakıt değerleri çarpılarak toplam harcanan yakıt değerleri bulunmuştur. Tablo 5.14’de ise 27 kişilik araçların sayısı, yıllara ait toplam katedilen mesafe, 27 kişilik araçların yakıt tüketimi ve yıllar itibariyle aldıkları toplam mesafeler gösterilmiştir. Bu değerlerle 27 kişilik araçların her yıl için tükettikleri yakıt hesabı yapılarak Tablo 5.14’de gösterilmiştir.

Tablo 5. 14. 27 kişilik araçların yıllara ait toplam yakıt tüketimi

Açıklama	2018 Yılı	2019 Yılı	2020 Yılı	2021 Yılı
Minibüs sayısı	4	4	4	4
Araç başı toplam katedilen mesafe (km)	7.530	7.470	7.560	7.470
Katedilen toplam mesafe (km)	30.120	29.880	30.240	29.880
Yakıt tüketimi(lt/km)	0,24	0,24	0,24	0,24
Toplam yakıt tüketimi (lt)	7.228,8	7.171,2	7.257,6	7.171,2

Tablo 5.13 ve tablo 5.14’de bulunan yıllara ait toplam yakıt değerleriyle aşağıdaki tablo 5.15.’de gösterilmiş olan DEFRA’nın 2021 yılında yayınladığı dizel emisyon faktörü çarpılarak örnek binanın servis araçlarının tükettiği yakıtlardan kaynaklanan karbon ayak izi hesaplanmıştır. DEFRA emisyon faktörü olarak eşdeğer CO₂ değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo 5. 15. DEFRA 2021 dizel emisyon faktörü

Yakıt Tüketimine Ait Emisyon Faktörü	Eşdeğer Emisyon Faktörü	Emisyon Faktörü
	kgCO ₂ e	kgCO ₂
	2,51233	2,47507

$$\text{Karbon Ayak İzi} = \text{Tüketim Verileri} \times \text{Emisyon Faktörü}$$

Tablo 5.16’de servislerin tükettiği yakıtlardan kaynaklanan karbon ayak izi miktarları excel programıyla hesaplanmış ve sonuçları bu tabloya aktarılmıştır. Günlük ortalama katedilen mesafe ve kapsamdaki yılların resmi gün sayıları sabit değerlerdir. Ayrıca bu değerler birbirine yakın olduğu için kapsamdaki yıllarda, hesaplamalar sonucunda çıkan değerler birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 5. 16. Servis araçlarından kaynaklı karbon ayak izi miktarları

Açıklama	Karbon Ayak İzi Miktarı (kgCO ₂ e)			
	2018	2019	2020	2021
17 kişilik minibüsler	27.241,696	27.024,631	27.350,229	27.024,631
27 kişilik midibüsler	18.161,131	18.016,420	18.233,486	18.016,420
Toplam	45.402,827	45.041,052	45.583,715	45.041,052
Genel Toplam	181.068,647			

Servis araçlarının karbon ayak izi sonuçlarının gösterildiği Tablo 5.16 incelendiğinde, her yıl ortalama olarak 17 kişilik minibüsler 27 tCO₂e, 27 kişilik midibüsler ise 18 tCO₂e emisyon oluşturdukları görülmektedir. Oluşturdukları bu karbon ayak izleri miktarı kapsamdaki yıllarda sadece gün sayısı farklılıklarından dolayı dalgalanmalar yaşanmıştır. 27 kişilik ve 17 kişilik araçlar her yıl ortalama olarak toplam 45 tCO₂e salımı gerçekleştirmişlerdir. Dört yılın sonunda ise toplam olarak 181 tCO₂e salım gerçekleşmiştir.



6. BULGULAR

Ankara ilinde seçilen kamu binasının dört yıllık doğalgaz, su ve elektrik tüketimleriyle birlikte servis araçlarının tükettiği yakıtları da bu kapsama dahil ederek binadaki karbon ayak izi miktarı ölçülmüştür. Hesaplamalarda emisyon katsayısı olarak 2021 yılında DEFRA'nın yayınladığı eşdeğer emisyon katsayıları kullanılmıştır. Tablo 6.1.'de, örnek binanın kapsamındaki yıllara ait elektrik, doğalgaz ve su tüketimleriyle ile servis araçlarının tükettiği yakıtlar sonucunda oluşan karbon ayak izleri gösterilmektedir.

Tablo 6. 1. Yıllara göre toplam karbon ayak izi miktarları

Enerji Kaynağı	Karbon Ayak İzi Miktarı (kgCO ₂ e)			
	2018	2019	2020	2021
Elektrik	61.204,547	55.863,598	51.643,115	55.759,768
Doğalgaz	55.019,125	56.955,578	61.394,464	45.351,008
Su	1.788,128	1.594,192	1.363,264	1.323,824
Araçlar	45.402,827	45.041,052	45.583,715	45.041,052
Toplam	163.414,63	159.454,42	159.984,56	147.475,65
Genel Toplam	630.329,26			

Hesaplamalar sonucunda Tablo 6.1.'de gösterildiği üzere 2018 yılındaki elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam karbon ayak izi miktarı 61.204,547 kgCO₂e olarak bulunmuştur. 2018 yılındaki doğalgaz tüketimi sonucu oluşan toplam karbon ayak izi miktarı 55.019,125 kgCO₂e, su tüketimi sonucu oluşan toplam karbon ayak izi miktarı 1.788,128 kgCO₂e olarak bulunmuş, servis araçlarının sebep olduğu toplam karbon ayak izi ise 45.402,827 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. 2018 yılında servis araçlarından, elektrik, doğalgaz ve su tüketimlerinden kaynaklanan toplam karbon ayak izi miktarı ise 163.414,63 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. Bu değerde yaklaşık 163 tCO₂e olarak ifade edilebilir. Tablo 6.1.'de görüldüğü üzere 2018 yılında en çok salım elektrik tüketiminden kaynaklanmıştır.

Örnek binanın 2019 yılındaki elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam karbon ayak izi miktarı 55.863,598 kgCO₂e, doğalgaz tüketiminden kaynaklanan toplam karbon ayak izi miktarı 56.955,578 kgCO₂e, su tüketiminden kaynaklanan toplam karbon ayak izi miktarı 1.594,192 kgCO₂e, servis araçlarından kaynaklanan toplam karbon ayak izi ise 45.041,052 kgCO₂e hesaplanmıştır. 2018 yılına göre 2019 yılında oluşan toplam karbon ayak izi miktarı tüketimlerin azalmasına bağlı olarak bir miktar azalma göstererek 159.454,42 kgCO₂e olmuştur. Bu yıl elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izinde azalma olduğu için

toplam doğalgaz tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir.

2020 yılının mart ayıyla birlikte Covid-19 salgınının Türkiye’de de görülmeye başlaması, binadaki elektrik tüketimini bir miktar azaltmıştır. Böylece 2020 yılında binanın elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarı pandemi nedeniyle bir miktar azalmıştır. Ancak doğalgaz tüketimi bu yıl arttığı için iki durum birbirini dengelediği görülmektedir. Sonuçta 2020 yılındaki elektrik tüketimi sonucu oluşan toplam karbon ayak izi miktarı 51.643,115 kgCO₂e olarak bulunmuştur. 2020 yılında doğalgaz tüketimi sonucu oluşan toplam karbon ayak izi 61.394,464 kgCO₂e bulunmuştur. 2020 yılında doğalgaz emisyonunun fazla olmasının nedeni, pandemi dolayısıyla kapalı alanların sık sık havalandırılması sonucunda, ısıtma ihtiyacının artmasına bağlı olarak doğalgaz tüketiminin fazla olduğu düşünülmektedir. 2020 yılındaki su tüketimi sonucu oluşan toplam karbon ayak izi miktarı 1.363,264 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. 2020 yılındaki personel servislerinin karbon ayak izi ise toplamda 45.583,715 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. 2020 yılında binada oluşan toplam karbon ayak izi miktarı 159.984,56 kgCO₂e olarak bulunmuştur. 2020 yılında başlayan Covid-19 salgını etkisiyle kamuda ve toplumda alınan önlemler ve kısıtlamaların etkisiyle örnek binadaki personel ve vatandaş sayısında ortalama olarak azalma olmuştur. Ancak binadaki her odada bir nöbetçi personel bulunması, binada bulunan personel ve vatandaşların hastalığı kapmamak için kişisel hijyenlere çok dikkat etmesi, tüketimlerin birbirini dengelemesine neden olmuştur.

2021 yılındaki elektrik tüketimi sonucu oluşan karbon ayak izi miktarı 55.759,768 kgCO₂e olmuştur. 2021 yılında da devam eden Covid-19 salgınının, bu yıldaki elektrik tüketimine ayırt edici bir etkisi olduğu düşünülmemektedir. Çünkü binada bulunan insan sayısında azalma oluşsa bile, her çalışma ofisinde birer personelin bulunması elektrik tüketiminde değişim oluşmamasını sağlamıştır. 2020 yılındaki elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarında azalma oluşsa da 2021 yılında fazla bir farklılık bulunmamaktadır.

2021 yılındaki doğalgaz tüketimi sonucunda oluşan karbon ayak izinde tüketime bağlı olarak azalma meydana gelerek 45.351,008 kgCO₂e olmuştur. Yine 2021 yılında su tüketimi sonucu oluşan karbon ayak izi miktarı 1.323,824 kgCO₂e olarak bulunmuştur. Salgının etkisiyle su tüketiminin her yıl azalma göstermesi, karbon ayak izinin de azalmasına neden olduğunu göstermektedir. Personel servislerinden kaynaklı karbon ayak izi 2021 yılında 45.041,052 kgCO₂e hesaplanmıştır. Servislerin ortalama olarak aldıkları yol ve yaktıkları yakıtlar genelde sabit olduğundan karbon ayak izleri de her yıl genelde sabit değerler aldığı görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuç

Türkiye, Paris Anlaşmasını onaylamasıyla, Kanun 7 Ekim 2021 tarihinde Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Türkiye, iklim değişikliğiyle mücadele ve emisyon oranlarını azaltma sürecine girerek Ulusal Katkı Beyanı sunmuş, sunulan beyana göre sera gazı emisyonlarını 2030 yılında referans senaryoya (BAU) göre artıştan %21 oranına kadar azaltmayı öngörmüştür. Bu çalışma kamu binalarında sera gazı emisyonlarının mevcut durumunun analizi, azaltılması çalışmalarına katkı sağlamak ve kamu kurumlarının kendi binalarından başlayarak örnek çalışmalar yapıp gerekli önlemleri almasına katkı sunmak amacıyla yapılmıştır.

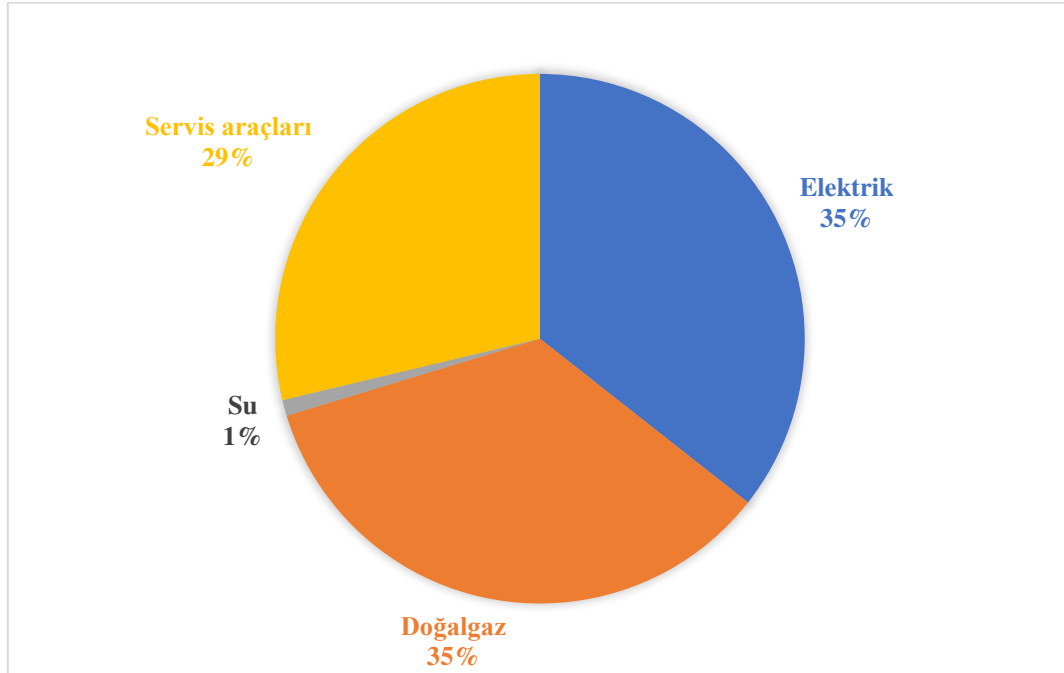
Sonuç olarak iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında Türkiye’deki kamuya ait binaların faaliyetleri sonucunda oluşan emisyonu görmek için, Ankara ilinde örnek bir bina seçilmiştir. Seçilen kamu binasının dört yıllık doğalgaz, su ve elektrik tüketimleriyle birlikte servis araçlarının tükettiği yakıtları da bu kapsama dahil ederek binadaki karbon ayak izi miktarı ölçülmüştür. Hesaplamalarda emisyon katsayısı olarak DEFRA’nın 2021 yılında yayınladığı eşdeğer emisyon katsayıları kullanılmıştır. Aşağıda oluşturulan Tablo 7.1.’de, örnek binanın kapsamdaki yıllara ait elektrik, doğalgaz ve su tüketimleriyle ile servis araçlarının tükettiği yakıtlar sonucunda oluşan karbon ayak izleri gösterilmektedir.

Tablo 7. 1. Toplam karbon ayak izi miktarları

Enerji Kaynağı	Dört Yıllık Toplam Karbon Ayak İzi (kgCO ₂ e)
Elektrik	224.471,03
Doğalgaz	218.720,18
Su	6.069,41
Servis araçları	181.068,647
Toplam	630.329,26

Tablo 7.1’de görüldüğü üzere binanın dört yıllık tüketim verileriyle yapılan hesaplamalar sonucunda, binanın; elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarı 224.471,03 kgCO₂e, su tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarı 6.069,41 kgCO₂e, doğalgaz tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarı 218.720,18 kgCO₂e olarak bulunmuştur. Bina personelinin kullandığı servis araçlarının tükettikleri yakıtlar sonucu oluşan karbon ayak izi miktarı ise 181.068,647 kgCO₂e olarak bulunmuştur. Dört yıllık süreçte binanın

toplam karbon ayak izi miktarı 630.329,26 kgCO₂e olarak hesaplanmıştır. Toplam değer yaklaşık olarak 630 tCO₂e olarak ifade edilebilir.



Grafik 7. 1. Toplam emisyonların yüzdelik dağılımları

Grafik 7.1’de elektrik, doğalgaz, su ve servis araçlarının toplam emisyon içerisindeki payları gösterilmektedir. Dört yıllık süreçte en yüksek emisyon değeri %35 olarak elektrik ve doğalgaz emisyonları olduğu görülmektedir. Tüketilen doğalgaz ve elektrik ile oluşan emisyonlar birbirine çok yakın oldukları için grafikte aynı yüzdelik değerler aldıkları görülmektedir. Elektrik ve doğalgaz emisyonlarını takriben servis araçlarının tükettikleri yakıtlar sonucunda oluşan emisyon oranı %29’luk paya sahip olmaktadır. Su tüketiminden dolayı oluşan emisyon değeri ise %1 ile en küçük paya sahiptir.

7.2. Öneriler

7.2.1. Fotovoltaik Panellerle Elektrik İhtiyacının Karşılanması

Örnek olarak alınan kamu binası hafta içi 08.30-17.30 çalışma saatleriyle hizmet vermektedir. Harcadığı enerji çoğunlukla elektrik enerjisi olmaktadır. Bu sebeple karbon ayak izinin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi büyük önem arz etmektedir. İklim değişikliğiyle mücadelede kamu kurumları örnek ve yol gösterici olmalıdır. Ülkemizin konumu itibarıyla de güneş enerjisi kaynağı tüm ülke genelinde uygulanabilir, ucuz ve kolay kurulabilir olmasından dolayı farklı yenilenebilir enerji kaynaklarına göre avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ankara ilinde örnek olarak seçtiğimiz kamu binasında güneş enerjisinden elektrik üretip enerji ihtiyacını bu kaynaktan sağlamak ve tüm ülkede de bunu

geliştirmek önem arz etmektedir. Çalışmanın yapıldığı örnek binanın projesinden çatı alanı 613,14 m² olarak hesaplanmıştır. Binanın elektrik ihtiyacının fotovoltaik panellerle sağlanması için aşağıda detaylı hesap yapılarak çatıya yerleştirilecek panel sayısı bulunmuştur.

Örnek binanın dört yıllık toplam elektrik tüketimi 1.057.180 kWh olarak bilinmektedir. Günlük elektrik ihtiyacını bulabilmek için yıllık elektrik tüketimini 365'e bölerek 724 kWh olarak günlük üretilecek elektrik enerjisi bulunur. Çatıya yerleştirilecek panel sayısı hesaplanmadan önce, panellerden kaynaklı kayıplar dikkate alınmalıdır. Bu şekilde günlük elektrik ihtiyacı %25 artırımlı olarak hesaplandığında, panellerin günlük olarak 905 kWh elektrik üretmesi gerekmektedir. Günlük tüketim saatlik tüketime çevrildiğinde, saatte panellerin üretmesi gereken enerji miktarı 37,7 kWh olmaktadır.

Saatlik tüketim bulunduktan sonra çatıya yerleştirilecek panel sayısı ve seçimi için yapılan araştırmalar neticesinde 670 wattlık paneller uygun görülmüştür. Binada 37.7 kWh'lık elektrik tüketimini karşılaması için en az 56 adet 670 wattlık panellerin kullanılması gerekmektedir. Panel boyutları 2384x1303x35 olan 670 wattlık 56 adet panellerden binanın çatısına yerleştirildiği takdirde 174 m² bir alan kaplayacaktır. Binanın çatı tabanının 613,14 m² olduğu düşünüldüğünde, çatıya yerleştirilecek panellerin fazla yer kaplamayarak ideal boyutlarda olacağı düşünülmektedir.

Ortalama olarak yıllık 264.295 kWh elektrik enerjisi kullanılan binada, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş panellerinden faydalandığı takdirde binanın elektrik ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Bu sayede elektrik kullanımı sonucunda oluşan emisyon önlenecektir. Ayrıca yapılan hesaplamalar sonucunda sadece elektrik tüketimi sonucu oluşan emisyonu nötr hale getirecek ağaç sayısı 7.634 adet olmaktadır.

7.2.2. Bina Ekipmanları, Personel Eğitimi ve Servisleri

- Binada bulunan elektrikli cihazların ve aydınlatma ekipmanlarının çalışmadığı durumlarda kapatılmaları sağlanmalıdır. Ayrıca uzun süre kullanılmayan elektrikli cihazların bekleme modunda tutulmayarak kapatılmalıdır. Enerji verimliliği uygulamaları dahilinde binada görev yapan personellere bilinçlendirme faaliyetleri yürütülmesi sağlanmalıdır.
- Isıtma sistemine ait önü kapalı olan radyatörlerin önleri ve üzerleri açık kalmalı ve radyatör arkalarına alüminyum folyo kaplı ısı yalıtım levhaları yerleştirilmelidir. İhtiyaç çerçevesinde; radyatör iç temizliği yapılmalı, çalışmayan vanaların değişimi sağlanmalı, bozulmuş termostatik vanalar yenileri ile değiştirilmelidir.

- Binanın ısıtma ve soğutma sistemlerine ait boru ve kanallarda tamirat görmüş, yıpranmış veya herhangi bir sebeple yalıtımı zarar görmüş veya yalıtım olmayan bölgelere yalıtım yapılmalıdır.
- Binanın kapı ve pencerelerinden kaynaklanabilecek kaçaklar kontrol edilip tespit edilmeli ve sızdırmazlığın sağlanmasına yönelik gerekli tamirat işlemleri yapılmalıdır.
- 627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'na göre yıllık toplam enerji tüketimi 250 Ton Eşdeğer Petrol (TEP) ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000 m² ve üzeri olan kamu binalarında enerji yönetici olmak zorundadır. Ancak çalışma yapılan örnek binanın toplam inşaat alanı 10.000 m²'den az olması nedeniyle gönüllü enerji yöneticisi görevlendirmek suretiyle binanın enerji tasarrufları ve personelin bilinçlenmesi için belirli aralıklarla eğitimler sağlanabilir. Gönüllü enerji yöneticisi görevlendirildiği takdirde izleme ve raporlama faaliyetleri de iyileştirilebilir ve gerekli ilave düzenlemeler yapma kolaylığı sağlanabilir.
- Binada görev yapan personellere çevre sorunları ve küresel iklim değişikliği ile ilgili farkındalık oluşturacak eğitim seminerleri düzenlenmelidir. Ayrıca farkındalık oluşturması amacıyla panolara afiş asılmalı ve broşür dağıtılmalıdır. Bu sayede personelin enerji tüketiminin bilinçli kullanılması sağlanılabilecektir.
- Servis araçları her ne kadar personel sayısına göre belirlense de yapılan gözlemler sonucunda pratikte her servis ortalama olarak yarı kapasiteyle çalıştığı söylenebilir. Çünkü çalışan personeller çeşitli sebeplerle (hastalık, görev ve başka mazeretler) servisleri kullanamamaktadır. Bu sebeplerle servisler kaldırılıp yol yardımı yapılarak toplu taşımaya özendirilebilir.

KAYNAKLAR

Ahmet, B. (2019). *Bursa Bölgesinde Faaliyet Gösteren Bazı Hayvancılık İşletmelerinin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Argun, M.E., Ergüç, R., ve Sarı,Y. (2019). *Konya/Selçuklu İlçesi Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi.* Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, s. 2. ss.289. Konya.

Arslan, S., Darıcı, M., Karahan, Ç. (2001). Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, V. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 3-6 Ekim, Efes Convention Center, İzmir, s. 22.

Balta, M. (2020). *Endüstri Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Enerji Verimliliği.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Bekiroğlu, O. (2011). “Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi”, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi.

[Erişim: 18.08.2022, https://www.emo.org.tr/ekler/49c17cab08ed10e_ek.pdf]

Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi.* Planlama Uzmanlık Tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Kalkınma Bakanlığı, s.185, Ankara.

Çerçi, M. (2021). *IPCC TIER 1 ve DEFRA Metodları ile Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Örneği,* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.* [Erişim: 13.04.2022, <https://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-erceve-sozlesmesi-i-4362>]

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). *Paris Anlaşması.* [Erişim: 14.04.2022, <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>]

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2018). *Hanehalkı Karbon Ayak İzi Farkındalığı Araştırması, İklim Değişikliğine Karşı Çıkın Projesi*, ss. 1. Mersin.

Demirci, E. (2018). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Konutlarda Karbon Ayak İzinin Azaltılmasındaki Rolü,* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Dışışleri Bakanlığı (2022). Temel Dış Politika Konuları. Türkiye'nin Çevre Politikası. Uluslararası Süreçler ve Türkiye İklim Değışikliğiyle Mücadele. *Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü*. [Erişim: 14.04.2022, <https://www.mfa.gov.tr/viyana-sozlesmesi-ve-montreal-protokolu.tr.mfa>]

Dışışleri Bakanlığı (2022). Temel Dış Politika Konuları. Türkiye'nin Çevre Politikası. Uluslararası Süreçler ve Türkiye İklim Değışikliğiyle Mücadele. *Kyoto Protokolü*. [Erişim: 14.04.2022, <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>]

Dışışleri Bakanlığı (2022). Girişimci ve İnsani Dış Politika. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, [Erişim: 08.08.2022, <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari>]

Doğan, N. (2019). *Kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon faaliyetlerinin karbon ayak izi hesabı* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Durak, M. ve Özer, S. (2008). *Rüzgâr Enerjisi: Teori ve Uygulama*, ss. 1-2.

Elibüyük, U., Üçgöl, İ., Acar, M. (2017). *Güneş Enerjisinin Çevreye Olumlu ve Olumsuz Etkilerinin Değerlendirilmesi*, 7. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu, 22-23 Eylül Bildiriler Kitabı, ss. 56-58. Mersin.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji, Kaynaklar, *Rüzgâr*. [Erişim: 10.08.2022, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>.]

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji, Kaynaklar, *Güneş*. [Erişim: 09.08.2022, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>.]

Ford Türkiye (2022). *Transit Minibüs Teknik Özellikleri*, [Erişim: 15.09.2022, <https://www.ford.com.tr/getmedia/5f9e5ac6-6d7e-41c4-a77b-fde47e4a4a00/transitminibus-teknikfoy-nisan-2020.pdf.aspx?ext=.pdf>]

GOV.UK (2022). Conversion factors 2021, *Condensed Set (For Most Users)- Revised January 2022*. [Erişim Tarihi: 21.04.2022, <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>]

Karakuş, A. (2021). *İklim Değışikliğinde Atıksu Arıtma Tesislerinin Etkisi: İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde Karbon Ayak İzi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Kaynar, N. K. (2020). “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli”, Bilge International Journal of Science and Technology Research, S. 2, Eylül, ss. 48- 54.

Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., Wackernagel, M. (2007). “Current Methods For Calculating National Ecological Footprints Accounts”, *Science for Environment and Sustainable Society*, 4 (1), 1-9.

Kitzes, J., Galli, A. Rizk, S.M. Reed, A. Wackernagel, M. (2008). “*Guidebook to The National Footprint Accounts*”, Oakland, Global Footprint Network.

Kneifel, J. (2010). Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings”, *Energy and Buildings*, Volume 42, Issue 3, March, Pages 333-340.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2022). MTA Enerji Hammadde Arama ve Araştırma, *Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları*, [Erişim: 10.08.2022, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>]

Mercedes-Benz (2022). *Sprinter Tourer Teknik Değerler*, [Erişim:15.09.2022, <https://www.mercedes-benz-north-cyprus.com/vans/tr/sprinter/tourer/technical-data>]

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *Resmi İstatistikler*, [Erişim: 27.09.2022, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ANKARA>]

Okan, B. (2019). *Modelleme ile Atıksu Arıtma Sistemlerinin Enerji Tüketimi ve Karbon Ayak İzi Karşılaştırması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özer, Z. (2002). “Ekolojik Ayak İzleri”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, S. 419, Ekim, ss. 82- 84.

Özçelik, G. (2017). *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü’nün Enerji ve Karbon Ayak İzi Açısından Değerlendirilmesi*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

Özlem, B. (2013). *Seçilen Bir Kâğıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

Perdeli, C. (2018). *Konutlar İçin CBS Tabanlı Bir Karbon Ayak İzi Hesaplama Metodolojisi Geliştirilmesi: Bursa'da Nilüfer İlçesi Örneği.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Doğa ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Stern, N. (2006). *Review on the Economics of Climate Change*, H. M. Treasury. [Erişim: 27 Nisan 2022, <http://www.sternreview.org.uk>].

Şahin, M. (2019). *Karbon Ayak İzi Uygulamaları: Çimento Fabrikası Örneği* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Tarım ve Orman Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü (2022). *Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC).* [Erişim:13.04.2022, <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararası%C4%B1%20Kurulu%C5%9Flar/IPCC%20TR.pdf>]

Tatar, O. (2010). *Uluslararası Karbon Ticareti ve İzmir'in "Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi".* Power Point Sunusu. :1-82, 21

Turanlı, A. (2015). *Karbon Ayak İzi Kestirimi.* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Türkay, M. (2018). *Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonunun (Karbon Ayak İzinin) Hesaplanması: Eskişehir İli Örneği,* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Üreden, Ali. (2019). *Sürdürülebilir Yaşam İçin Karbon Ayak İzi (Çankırı Karatekin Üniversitesi Örneği).* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.

Yalova Valiliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü (2016). *Karbon Ayak İzi Nedir.* [Erişim: 10.04.2022, <https://yalova.csb.gov.tr/karbon-ayak-izi-nedir-haber-42218>]

Wiedmann T. ve Minx, J. (2008). *A Definition of 'Carbonfootprint'.* Hauppauge NY: Nova 79 Sciencepublishers.

Volkswagen Ticari (2022). *Crafter Okul ve Servis,* [Erişim: 15.09.2022, https://ticariarac.vw.com.tr/vwticari_files/brosur/crafter-okul-servis.pdf]

Wikipedi (2022). *Ankara ilinin coğrafi özellikleri,* [Erişim: 21.07.2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ankara#Coğrafya>]

Vikipedi (2022). *Jeotermal Enerjinin Tarihçesi*, [Erişim: 11.08.2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ankara#Coğrafya>]

Yakıncı, Z. D. ve Kök, M. (2017). *Yenilenebilir Enerji ve Toplum Sağlığı*, İnönü Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, Cilt 5, Sayı 1.

Yavuz, A. B. (2020). *Turizmde Karbon Ayak İzi: Beş Yıldızlı Otel  rneği*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

