

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULAŞTIRMANIN İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE RAYLI SİSTEM AÇISINDAN
İNCELEME**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nuri METİN

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Raylı Sistemler Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

NİSAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULAŞTIRMANIN İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE RAYLI SİSTEM AÇISINDAN
İNCELEME**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nuri METİN
(526151018)**

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Raylı Sistemler Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

NİSAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 526151018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nuri METİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ULAŞTIRMANIN İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE RAYLI SİSTEM AÇISINDAN İNCELEME" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doc. Dr. Murat ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ali Sercan KESTEN
Işık Üniversitesi

Teslim Tarihi **: 11 Mart 2019**

Savunma Tarihi **: 9 Nisan 2019**



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında ulaştırmanın iklim değişimine etkisi incelenmiştir. Ulaştırma türlerinin karbon salınımları ve çevresel etkileri incelenerek raylı sistemlere ağırlık vermenin sağlayacağı avantajlar anlatılmıştır.

En başta tezimin konusunu ve içeriğini belirlerken yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Zübeyde Öztürk hocama teşekkür ederim. Uluslararası bir doğa koruma kuruluşu olan WWF çalışanlarına ve sevgili arkadaşım Pelin Özkan'a güncel kaynak ve verilere ulaşmamda yardımcı oldukları için teşekkür ederim.

Nisan 2019

Nuri METİN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1.GİRİŞ	1
2.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ.....	3
2.1 İklim Değişikliği Nedir.....	6
2.1.1 Küresel iklim değişikliğinin tarihi.....	6
2.1.2 Küresel iklim değişikliğinin etkileri.....	7
2.1.3 İklim nasıl değişir.....	7
2.1.4 Sera gazları ve atmosferin sıcaklık dengesi.....	8
2.1.5 Atmosferdeki sera gazı neden artar.....	9
2.1.6 Atmosferdeki sera gazını arttıran insan faaliyetleri.....	11
2.1.7 İklimin değiştiğinin ölçülmesi.....	12
2.1.8 Sanayi devriminden bu yana iklim değişikliği.....	13
2.2 İklim Değişikliğiyle Mücadele ve Uyum Yasaları.....	18
2.2.1 Kyoto Protokolü.....	18
2.2.2 Paris Anlaşması.....	21
2.3 İklim Değişikliği ve Türkiye.....	24
3.İKLİMDEĞİŞİKLİĞİ VE ULAŞTIRMA.....	27
3.1 Sera Gazlarının Çeşitleri ve Özellikleri.....	30
3.1.1 Su buharı.....	31
3.1.2 Karbondioksit.....	31
3.1.3 Metan.....	32
3.1.4 Diazot monoksit.....	33
3.1.5 Ozon.....	33
3.1.6 Halokarbonlar.....	33
3.1.7 Karbon monoksit.....	34
3.1.8 Azot oksitleri.....	34
3.1.9 Uçucu organikbileşikler.....	35
3.2 Küresel Isınma Potansiyeli.....	35
3.3 Türkiye’de Sektörlere Göre Emisyonlar.....	36
3.4 Türkiye’de Enerji Kaynakları.....	36
3.4.1 Fosik yakıt kaynaklı enerji.....	38
3.4.2 Nükleer enerji.....	39
3.4.3 Hidro enerji.....	41
3.4.5 Güneş enerjisi.....	42
3.4.6 Rüzgar enerjisi.....	42
3.4.7 Jeotermal enerji.....	43
3.5 Elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonlar.....	44

4.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİ AZALTMA STRATEJİLERİNE ÖRNEKLER...	49
4.1 Ulaşım Türlerinde CO ₂ Salımını Azaltma Çalışmalarının İncelenmesi.....	51
4.1.1 Havayolu.....	52
4.1.2 Demiryolu.....	53
4.1.3 Karayolu.....	54
5. FARKLI DURUMLAR İÇİN CO₂ EMİSYON SALIMLARININ.....	53
İNCELENMESİ.....	53
5.1 Araçların CO ₂ Türetim Değerleri.....	55
5.2 İstanbulda İncelenen Raylı Sistemler Ve CO ₂ Türetimleri.....	57
5.2.1.Yenikapı-Atatürk Havalimanı Hattı.....	57
5.2.2.Yenikapı-Kirazlı Metro Hattı.....	60
5.2.3.Yenikapı-Hacıosman Metro Hattı.....	62
5.2.4.Kadıköy-Tavşantepe Metro Hattı.....	65
5.2.5.Kabataş-Bağcılar Tramway Hattı.....	68
5.3. Ulaşım tercihlerine göre inceleme.....	71
5.3.1. Taksi Kullanım Tercihinin Kısmen Metroya Kayması.....	72
5.3.2. Minibüs Kullanım Tercihinin Metroya Kayması	74
5.3.3. Otomobil Kullanım Tercihinin Metroya Kayması	76
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İklim riskleri.....	4
Şekil 2.2 : İklim değişikliği döngüsü.....	5
Şekil 2.3 : Atmosferdeki doğal sera gazlarındaki değişim.....	14
Şekil 2.4 : Manua Loa gözlem istasyonu ölçümleri.....	15
Şekil 2.5 : Nasa'nın yayınladığı fotoğraf.....	16
Şekil 2.6 : 2100 yılında gelinecek nokta.....	17
Şekil 3.1: Dünya nüfusu.....	29
Şekil 3.2: Kentsel nüfusu.....	29
Şekil 3.3: Temel enerji kullanımı.....	29
Şekil 3.4: Taşımacılık.....	30
Şekil 3.5: Enerji üretiminden kaynaklı salınımlar.....	37
Şekil 3.6 Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi.....	38
Şekil 3.7 Bazı fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri.....	39
Şekil 3.8 : Yıllara göre enerji üretimleri.....	45
Şekil 3.9 : Sektörlere göre sera gazı emisyonları.....	45
Şekil 3.10 : Yıllara göre enerji üretimleri.....	46
Şekil 4.1 : Biyodizel döngüsü.....	50
Şekil 5.1 : Yenikapı-Havalimanı metro hattı durakları.....	62
Şekil 5.2 : Yenikapı-Kirazlı metro hattı durakları.....	63
Şekil 5.3 : Yenikapı-Hacıosman metro hattı durakları.....	66
Şekil 5.4 Kadıköy-Tavşantepe metro hattı durakları.....	68



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Bazı gazların küresel ısınma faktörleri.....	36
Çizelge 3.2 : Bazı termik santrallerin yıllık enerji üretimi.....	39
Çizelge 3.3 :Yapımı planlanan nükleer santraller ve enerji üretimleri.....	41
Çizelge 3.4 : Bazı HES ve senelik enerji üretimleri.....	41
Çizelge 3.5 : Bazı GES ve yıllık enerji üretimleri.....	42
Çizelge 3.6 : Bazı RES ve yıllık enerji üretimleri.....	43
Çizelge 3.7 :Bazı jeotermal santraller ve yıllık enerji üretimleri.....	44
Çizelge 4.1: Dünya biyodizel üretimi.....	50
Çizelge 5.1 : Otomobil markalarının km başınaCO ₂ değerleri.....	55
Çizelge 5.2 : Otomobil markalarının km başınaCO ₂ değerleri (gram).....	56
Çizelge 5.3 : Farklı toplu taşıma araçlarının km'de yolcu başınaCO ₂ değerleri(gr)..	56
Çizelge 5.4 : Farklı araç türlerinin km'de taşınan yolcu başınaCO ₂ değerleri.....	57
Çizelge 5.5 : Yenikapı-Havalimanı arası farklı araçlarla seyahat edildiğinde toplam CO ₂ emisyon değerleri.....	59
Çizelge 5.6 : Yenikapı-Havalimanı arası bir yıl boyunca farklı araçlarla seyahat edildiğinde ağaç eşdeğerliği.....	60
Çizelge 5.7 : Yenikapı-Kirazlı arası farklı araçlarla seyahat edildiğinde toplam CO ₂ emisyon değerleri.....	62
Çizelge 5.8 : Yenikapı-Kirazlı arası bir yıl boyunca farklı araçlarla seyahat edildiğinde ağaç eşdeğerliği.....	62
Çizelge 5.9 : Yenikapı-Hacıoman arası farklı araçlarla seyahat edildiğinde toplam CO ₂ emisyon değerleri.....	65
Çizelge 5.10 : Yenikapı-Hacıosman arası bir yıl boyunca farklı araçlarla seyahat edildiğinde ağaç eşdeğerliği.....	65
Çizelge 5.11 : Kadıköy-Tavşantepe arası farklı araçlarla seyahat edildiğinde toplam CO ₂ emisyon değerleri.....	67
Çizelge 5.12 : Kadıköy-Tavşantepe arası bir yıl boyunca farklı araçlarla seyahat edildiğinde ağaç eşdeğerliği.....	68
Çizelge 5.13 : Kabataş-Bağcılar arası farklı araçlarla seyahat edildiğinde toplam CO ₂ emisyon değerleri.....	70
Çizelge 5.14 : Kadıköy-Tavşantepe arası bir yıl boyunca farklı araçlarla seyahat edildiğinde ağaç eşdeğerliği.....	70
Çizelge 5.15 : İstanbul'daki yolcuların toplu taşıma aracına göre oranları.....	71
Çizelge 5.16 : İstanbulda mevcut taksi ve metro kullanımı.....	72
Çizelge 5.17 : İstanbulda taksiyi kullananların oranının %9,36'dan %5'e düşürülüp yolcuların metroyu kullanması senaryosuna ait çizelge.....	72
Çizelge 5.18 : Bu senaryoya göre yıllık CO ₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı.....	73
Çizelge 5.19: İstanbulda mevcut taksi ve metro kullanımı.....	73
Çizelge 5.20 : İstanbulda taksiyi kullananların oranının %9,36 dan %2'ye düşürülüp yolcuların metroyu kullanması senaryosuna ait çizelge.....	73

Çizelge 5.21 : Bu senaryoya göre yıllık CO ₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı.....	74
Çizelge 5.22 : İstanbulda mevcut minibüs ve metro kullanımı.....	74
Çizelge 5.23 : İstanbulda minibüs kullananların oranının %20,67 den %10'a.....	
düşürölüp yolcuların metroyu kullanması senaryosuna ait çizelge.....	74
Çizelge 5.24 : Bu senaryoya göre yıllık CO ₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı.....	75
Çizelge 5.25 : İstanbulda mevcut minibüs ve metro kullanımı.....	75

ULAŞTIRMANIN İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE RAYLI SİSTEM AÇISINDAN İNCELEME

ÖZET

Sera gazı emisyonlarının artmasıyla birlikte dünyamız iklim değişikliği ve küresel ısınma tehditleriyle karşı karşıya kalmıştır. İklim değişikliği üzerine yapılan araştırmalar, küresel çapta etkileri olan ve yerküreyi zamanla tüm canlılar için yaşanmayacak duruma geleceği gerçeğini göstermektedir. Bu nedenle dünya devletleri karbon emisyonunu azaltıcı bazı önlemler almaya karar vermişlerdir. Kyoto Protokolü ve Paris Antlaşması iklim değişimiyle mücadelede en kapsamlı uyum yasalarıdır. İklim değişikliğinin en belirgin etkileri; buzulların eriyerek kutuplara doğru çekilmesi sonucu yüksek dağların tepelerindeki buzulların ve kar örtüsünün azalması, deniz suyu seviyesinin yükselmesi, sıcak hava ve sıcak su seven tropikal bitki ve balıkların kutuplara doğru yayılması, havadaki sera gazlarına karşı hassas olan narın kuş türlerinin azalması, ağaçlardaki yaş halkalarının daha hızlı bir büyüme göstermesi ve Son 1400 yılda, art arda aşırı sıcak yıllar yaşanmasıdır.

İklim değişikliğine neden olan sera gazı salınımlarında ulaştırma sektörünün payı yaklaşık %15 tir. Gelişmekte olan ülkelerin ulaşım ihtiyacı zamanla artacak, bu da ilerleyen senelerde ulaşım kaynaklı karbon salınımlarının daha da artmasına neden olacaktır.

Yapılan araştırmalar ve çalışmalar karayolunu kullanan kamyon, otomobil, otobüs gibi araçların karbon salınımı payının tüm ulaşım türleri arasında % 90 civarında olduğunu göstermektedir.

Dünya genelinde karayolu kaynaklı karbon salınımını azaltıcı bazı önlemler alınmaktadır. Biyoyakıt kullanımı, taşıt emisyon kriterleri, elektrikli araç teknolojisinin gelişmesi gibi çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar yetersiz kalmaktadır.

Ulaştırma kaynaklı karbon salınımlarını azaltılmasında insan tercihleri önemli bir yere sahiptir. İnsanların kişisel otomobilleri yerine toplu taşıma araçlarını tercih

etmeleri gerekir. Raylı sistemlerin kullanılması, bisiklet kullanımı, otomobillere vergilendirme getirilmesi, biyolojik yakıt kullanılması, enerji verimliliğindeki çalışmalar ilk akla gelen çözüm önerileridir.

Ulaşım aslında şehir hayatının ve şehirlerin gelişmesinin aracı unsurlarından biridir. Ulaşımın temelinde insanın yer değiştirmesi vardır. Bundan dolayı, ulaşım gelişim süreçlerinde, insanların hareketliliği önem arz etmektedir. Dolayısıyla taşıtlardan daha çok insan hareketliğini sağlayabilecek ulaşım yapısı düşünülür.

Örnek olarak, dünyanın en kalabalık şehirlerinden biri olan İstanbul sürekli olarak göç almaktadır ve büyüyen bu şehirdeki nüfus sürekli hareket halindedir. Nüfusun artmasıyla ulaşım ihtiyacı artmakta bu da araç sayısının artmasına neden olmaktadır.

Tük den alınan verilere göretrafiğe kayıtlı araç sayısı 2018 Mayıs ayı sonu itibarıyla 22 milyon 645 bine ulaşmıştır. Bu taşıtların %54,3'ünü otomobil, %16,4'ünü kamyonet, %13,9'unu motosiklet, %8,2'sini traktör, %3,7'sini kamyon, %2,2'sini minibüs, %1'ini otobüs, %0,3'ünü ise özel amaçlı taşıtlar oluşturmaktadır.

Bu tez kapsamında iklim değişikliği ve ulaştırmanın iklim değişikliğine etkisi,ulaştırma türlerinin farklı etkileri,azaltma önerileri ve ilgili yasalar hakkında araştırma yapılmıştır.

Küresel ısınmanın ne olduğu, etkileri, gelecekte bizleri nelerin beklediği açıklanarak, Ulaştırma türleri iklim değişimi açısından kıyaslanıp, emisyon azaltılması için öneriler getirilmektedir. Ulaşım türleri ile ilgili elde edilen veriler bu husustaki değerlendirilmesi yapıp, raylı sistemlerin iklim değişimini azaltma sağlamak açısından önemi ve başlıca avantajları karşılaştırma yöntemi ile değerlendirilmektedir.

ULAŖTIRMANIN İKLİM DEĐİŖİMİNE ETKİSİVE RAYLI SİSTEM AÇISINDAN İNCELEME

SUMMARY

Our world has been faced with the threat of global climate change and global warming by the increase of greenhouse gas emissions. Hereby, climate change and the effect of transportation on climate change is examined by the context of this thesis.

Researches carried out on climate change has proved the fact that its effects are global and in the future it will transform the earth such that life will no longer exist for any living being. Therefore, governments of the world have decided to take some measures to reduce carbon emissions. The Kyoto Protocol and The Paris Agreement are the most comprehensive compliance laws to struggle and fight against climate change. These laws will be examined in this thesis.

The most obvious effects of climate change are; glaciers on the poles and over the high mountains melting, ice cap on the north pole and south pole decline, snow cover on the hills decline, sea levels rising, heat and hot water-loving tropical plants and fish spreading towards the poles, decrease of delicate bird species which are sensitive to atmospheric greenhouse gases, tree rings showing a faster growth and experiencing more than a few years of extreme heat in the last 1400 years.

However, in the upcoming years, it is expected that the catastrophic disasters related to climate change will arise. As the scientific researches show, anthropogenic climate change will have adverse effects on all living creatures in our planet's ecosystems. Also human life will be under threat of climate change effects. Water resources and agricultural fields will face with drought, deteriorative weather conditions will destroy settlements and adaptation to these problems will be required. The environmental damage, resultant of the changing conditions will occur severely in developing countries, which have small contribution to carbon footprint because of their scarce resources. So, defining the interaction between landscape and climate properly and removing landscape elements that effect the climate adversely, is necessary for mitigating climate change.

The success of Industrial Revolution caused a broad difficulty exceeding carrying capacity of ecosystems. For this reason, public awareness on climate change should be created by forms of visual representation such as scientific images and visual fiction products; natural landscapes should be preserved, cultural landscapes should be sustainably designed and alternative energy resources should be used, in order to prevent the ecosystems being destroyed by anthropogenic climate change effects on landscape.

As a result of a thorough analysis of academic articles, reports, climate models and visual media products, it is concluded that the emissions should be mitigated. Observing the climate change effects on landscape through visual products, can create new perspectives in environmental and social policies. Not only governments but also individuals should attempt to build mitigation strategies to reduce emissions and explore alternative methods for producing energy. People with climate change awareness should aim to warn others with the help of environmental activism, and build new forms of ecological living in order to achieve a more sustainable ecology and economy.

According to the data obtained, some solutions can be suggested, such as, reducing the number of old fleet vehicles on the road, adding new vehicles which have emission abatement technologies and low fuel consumption, using the alternative energy resources, increasing the use of public transportation systems, creating new transportation options alternative to road transport, regulating the traffic, adapting supplementary taxation system for high fuel consumption, approval of legal arrangement for optimizing the vehicle performance. Therefore, it is expected that a significant improvement can be achieved by putting these suggestions into practice.

The share of the transportation sector in the greenhouse gas emissions that cause climate change is about 15%. The transportation needs of developing countries will increase over the years and this will lead transport-induced carbon emissions increase further in the coming years.

Researches and studies have shown that trucks, cars and busses and such motor vehicles using the highway road has the share around 90% of all transportation carbon emissions. Some carbon reducing actions are taken around the world. Biofuel use, vehicle emissions criteria are being studied, such as the development of electric vehicle technology. But these studies are inadequate.

Human preferences have an important place in reducing carbon emissions caused by transportation. Instead of personal cars people should prefer public transport. The use of the rail system, use of bicycles, the introduction of taxation on cars, the use of bio-fuels, works in energy efficiency are the proposed solutions that come to mind at first. These proposals are examined by this thesis.

Social, individual and communicational needs of people require moving and changing their place, which is called mobility and transportation. Mobility is actually one of the elements of development of urban life and cities. On the basis of transportation there lies mobility. Therefore, the structure that enables human mobility is considered more than transportation itself.

For example, Istanbul is one of the most populous cities in the world permanently growing by the immigrants constantly. The increasing transportation needs of the population increases, and this causes an increase in the number of vehicles. There are millions of vehicles in the city that hosts millions, and millions of individuals and mass transportation problems associated with them. Istanbul, which contains all kinds of transportation (land, sea, air, rail systems), is the city that suffers the most from this diversity which it has as its natural end result. There are currently 14.8 million people living in 1.539 km² of the city. When this situation is taken into consideration, Istanbul, which has entered the overcrowded city class, has to seek a solution to its own problems.

According to the data received from TUIK, the number of vehicles registered to traffic in May 2018 notes to reach 22 million 645 thousand. 54.3% of these vehicles are cars, 16.4% are small trucks, 13.9% are motorcycles, 8,2% are tractors, 3,7% are trucks, 2.2% are minibuses, 1% are buses and 0.3% are private cars. Although the number of private vehicles are less than the developed countries, urban public transportation less too. In this case where urban public transport is inadequate, people are turning to the use of private cars. For this reason it is important for an improved transportation structure.

Hereby, in this thesis it will be examined what the climate change is, how it grows, the historical process, the effects of transportation on climate change, solutions, our country and the world situation.





1. GİRİŞ

İnce yapısından dolayı yerkürenin hassas bölümlerinden biri olan atmosfer tabakası, insanlar tarafından havaya salınan gazların etkisiyle zarar görür. Güneş'ten yerküreye gelen ışınların atmosferden geri yansiyarak yerkürede kalması sonucu yeryüzünde sıcaklığın yükselmesine küresel ısınma denir. Atmosferde olan ve sera etkisi yaratan gazlar, ısıyı tutma özelliğinden dolayı yerkürenin canlılar için uygun olabilecek sıcaklığı sağlar. Sera etkisi sağlayan bu gazların atmosferdeki payı arttıkça sıcaklıkta da artışa neden olur.

Yeryüzündeki insan popülasyonunun artmasıyla birlikte, gelişmekte olan ülkelerdeki hayat standartlarındaki artış kısa sürede dünya toplam enerji üretiminin de artmasına sebep olmuştur. Son 40 senede birincil enerji tüketimi 5 kat artarken, sıvı yakıtların üretimi de 6 kat artmıştır. Bu son 40 yıllık sürede gelişmekte olan ülkeler, nüfuslarının fazla olmasına rağmen toplam enerji tüketimindeki payı düşük olmuştur.

Sera gazı salınımlarında ulaştırma sektörünün payı yaklaşık %15 tir. Gelişmekte olan ülkelerin ulaşım ihtiyacının zamanla artacak olması gelecek yıllarda ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarının daha da artmasına neden olacaktır. Bu bakımdan yolcu kapasitesi düşük ama emisyonu yüksek ulaşım türleri yerine, yolcu kapasitesi yüksek yolcu başına düşen emisyonları daha az ulaşım araçlarına yönelim sağlanmalıdır.

Örneğin, yoğun bir nüfusu olan ve sürekli göç alan İstanbul'da, ulaşım ihtiyacı sürekli artacaktır. Bu talebin karşılanması için otomobil gibi kapasitesi düşük araçlar yerine gelişmiş bir raylı sistem ağı içerisinde düzenlenmiş metro ve tramway gibi araçların tercih edilmesi, özellikle CO₂ emisyon miktarlarını ciddi derecede azaltacaktır.

Bu çalışmada, raylı sistemlerin kullanılmasının payının artmasıyla sağlanacak CO₂ emisyon azaltmaları incelenecektir. Değişik karayolu ulaşım araçlarının payının raylı sisteme kaydırılması CO₂ emisyonunda önemli sayılabilecek miktarda azalmalar sağlayacaktır. Bu azalma ile sera gazlarında ve iklim değişiminde de kısmen azalma beklenir. Ancak bu senaryoların gerçekleşme durumunun olması çok yaygın, erişilebilirliği ve entegrasyonu iyi bir demiryolu ağının varlığı ile söz konusu olacaktır. Ayrıca küresel ölçekte bu konuya ağırlık verilmesi, yani global olarak bu tür uygulamalara başvurulması ile sağlanan azalma da daha önemli boyutlarda gerçekleşecektir.

Tezin Amacı ve Kapsamı: Tez çalışmasında, ulaştırmanın ve bu bağlamda raylı sistemin sera gazları artışına etkisi araştırılmakta, toplu taşımaya ve özellikle raylı sistemlere geçişin ve oranlarındaki artışın, bu açıdan sağlayacağı faydalar örnek kesimlerde sayısal olarak incelenmektedir.

Hipotez: İklim değişiminin dünyamıza etkisi giderek artmaktadır. Her sektörde bunu azaltıcı yönde çalışmalar yapmak kaçınılmazdır. Konumuz olan ulaştırmanın etkisi ve bunu azaltma senaryoları üzerinde durularak, farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır.

2.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

2018 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu'na göre, insan kaynaklı iklim değişikliği, gezegenimizin ekosistemleri ve yaban hayat üzerinde şiddetli baskı yapıyor ve bizi 6'ncı soy tükenmesine doğru sürüklüyor[1].

2016 yılı, bugüne kadar kayıtlara geçen en sıcak yıl oldu, bu durum bir istisna değildi. NASA verilerine göre 2016 yılı sıcaklık ölçümünün yapıldığı 1880'den bu yana en sıcak yıl olurken, en sıcak 17 yılın 16'sı da 21. yüzyılda yaşandı. 2017 yılı içerisinde ise, hem ülkemiz hem de dünya genelinde sel, kasırga, kuraklık gibi aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetinin arttığına tanık olmaktadır [2].

2015 senesinin Aralık ayında düzenlenen “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı”, 2020 yılından sonra Kyoto Protokolü'nün yerini alacak yeni uluslararası iklim anlaşmasının açısından son derece kritik bir öneme sahiptir. 2009 yılında Kopenhag'da gerçekleştirilen iklim zirvesi bağlayıcı ve kapsayıcı bir iklim anlaşmasına dair yüksek beklentilerle toplanmış, ancak dağ fare doğurmuştur.

Paris İklim Zirvesi'ne giderken ise bağlayıcı hedefler, yaptırım gücüne sahip bir anlaşma gibi prensiplerden ödün verilmesi sonucunda BMİDÇS'ye taraf 195 ülkeden 187'si (küresel emisyonların yüzde 95'inden sorumlular), emisyon azaltımına dair kendi kapasiteleri çerçevesinde belirledikleri ulusal katkılarını (INDC–Intended Nationally Determined Contributions) sözleşme sekreteryasına sundular.

Zirve sonucunda kabul edilen Paris Anlaşması, söz konusu katkıların belirli aralıklarla gözden geçirilip artırılması, küresel ortalama sıcaklıklardaki artışın tercihen 1,5°C'de sınırlandırılması ve net karbon emisyonlarının 21. yüzyılın ikinci yarısı içerisinde sıfırlanmasının gerekliliğine vurgu yaparken, herhangi bir yaptırıma yer vermedi. Ülkemizdeki politika yapıcılar tarafından tam da bu nedenle “hafif” bulunan anlaşmada vadedilen ulusal katkılar yerine getirilirse, analizlere göre 21.

yüzyıl sonunda 2,7–3,7°C daha sıcak bir gezegende yaşayacağımızı öngörüyor, ‘Yaşama’ kısmı ise tartışılır bir konudur.

İklim değişikliği mitolojik bir tufan senaryosu mu, yoksa yüzleşmekte çok geç kaldığımız bir ekolojik felaket mi? Bazı siyasi liderlerin söylediği gibi, acaba biraz abartıyor muyuz? Teknoloji bizi kurtaramaz mı? Yoksa iklim değişikliği bir yalan mı?

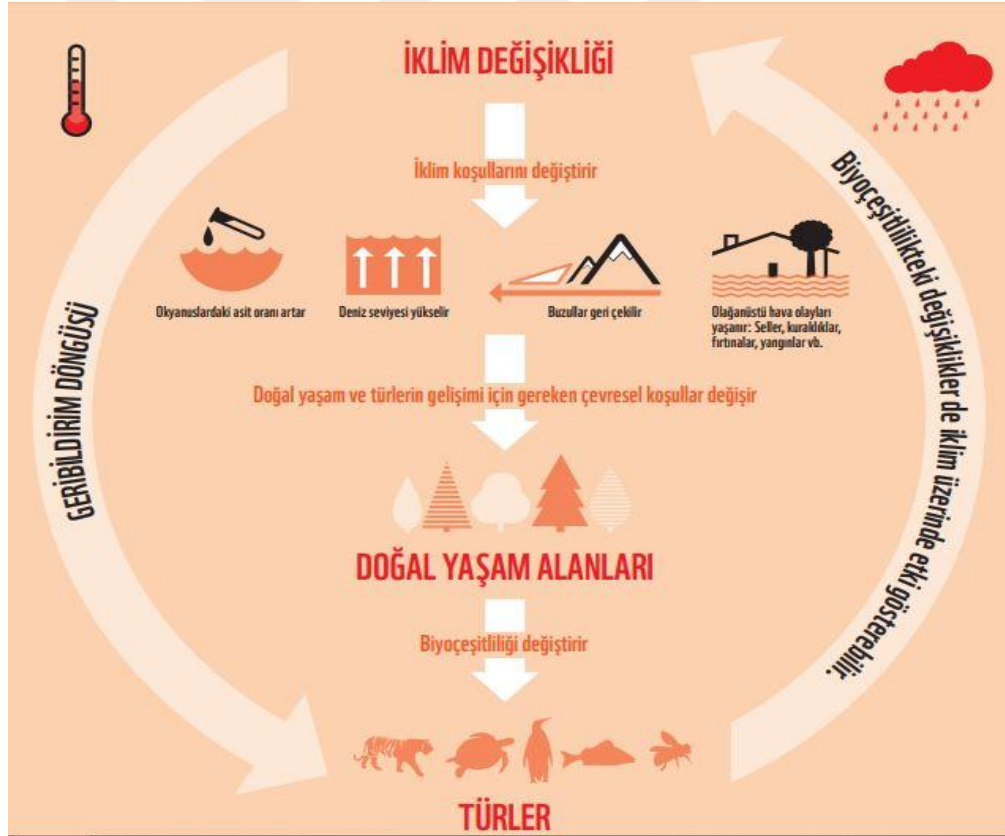
Hava durumu her gün ve her mevsim sürekli olarak değişir. Aynı anda bir şehrin, bir ülkenin ve dünyanın farklı bölgelerinde farklı hava koşulları görülebilir. Bir bölgede uzun süre boyuncagözlemlenen sıcaklık, nem, hava basıncı, rüzgar, yağış, yağış şekli gibi meteorolojik olaylar, o bölgenin iklimini, iklimsel dengesini oluşturur. Akdeniz iklimi, çöl iklimi, kutup iklimi gibi.

Yüzlerce kilometre karelik alanları etkileyen büyük iklim grupları, makro-klima olarak adlandırılır. Makro-klimalar içinde, değişik iklim özellikleri gösteren özel koşullu küçük iklim alanlarına da mikroklima denilir. Derin nehir vadilerinin iç kısımlarında, yüksek dağlarla ovaların birleşim yerlerinde, göl kıyılarında mikroklimalar görülür. Bu makroklima ve mikroklima dinamikleri, ekosistemleri şekillendiren en önemli etmenlerdendir. Aşağıdaki Şekil 2.1’de iklim riskleri belirtilmiştir [4].



Şekil 2.1 : İklim riskleri.

İklim, tüm canlıların hayatını etkileyen önemli bir ekolojik etmendir. Bir yerin bitki örtüsünü, tarım ürünlerini, yağış rejimini, bölgede yaşayan insanların gündelik hayatlarını ilk önce iklim etkiler. Her canlı türü her bölgede barınmaz. Belirli bir yükselikten sonra geniş yapraklı ağaçları değil, iğne yapraklı ağaçları görürüz, kutup ayıları tropik bölgelerde yaşayamaz, Amazon ormanlarında yaşayan kuşlar ile baltık ülkelerinde yaşayan kuşlar aynı değildir. Her bitkinin ve hayvanın ait olduğu bir iklim tipi vardır. Örneğin Akdeniz iklimi demek, zeytin ve defne demektir. Karasal iklim demek bozkır demektir, tahıl demektir. Soğuk iklimde yaşayan penguenler sıcak iklim koşullarına uyum sağlayamaz. Tropik kuşlar da Sibirya ormanlarında yaşayamaz. İklim, gezegenimizdeki ekosistem dengelerini belirleyen en önemli etmenlerden biridir. ‘Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı’ olmasaydı Akdeniz’de incir ve pamuk olmazdı. Aşağıda Şekil 2.2’de döngüsü gösterilmiştir [4].



Şekil 2.2 : İklim değişikliği döngüsü.

Hava durumu tahminlerini takip ediyorsanız, kimi zaman bunların boşa çıktığını görürsünüz. Hava yağmurlu uyarısına karşın yağmur yağmaz. Güneşli olarak açıklanan hava bulutlu olabilir. Hava olaylarını gözlemleyen meteorologların işi

zordur. Koşullardaki çok küçük değişimler büyük farklar yaratır ve bunları kestirmek bazan imkansızdır. Bu anlamda hava durumu ve iklim kaotiktir. Başlangıç koşullarına aşırı duyarlı ve büyük etki yaratan durum kaos olarak ifade edilir. Kaos, düzensizliğin düzeni olarak da tanımlanır.

Kaos kavramını bilimsel olarak ilk kez Fransız filozof Henry Poincare, 20. yüzyılın başlarında astronomi çalışmaları sırasında, karmaşık bir sistemin kararlılığıyla ilgili yaptığı araştırmada kullandı. Düzgün davranışa sahip dinamik sistemlerde çok küçük bir değişim sistemi kaosa sürükleyebilir. Günümüzde bu konuda analizler ve matematiksel modellemeler, ekonomi, biyoloji, kimya, bilişim, tıp, mühendislik, çevre bilimi ve meteoroloji alanlarında yapılır.

2.1 İklim Değişikliği Nedir?

Gezegeneğimizin dinamik yapısı nedeniyle iklim değişikliklerinin yaşanması doğaldır. Ancak günümüzde yeni bir iklim değişikliği çeşidi daha var. Birleşmiş Milletler İklim Komisyonu 1992 yılında bunu şöyle açıkladı: Karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlemlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda oluşan iklim değişikliği vardır.

Gezegeneğimizin tarihi boyunca yaşanan doğal iklim değişikliği gezegeneğimizde canlı yaşamının evrimleşmesi için elverişli koşulları sağlarken, son 150 yıldır insan etkinlikleri kaynaklı iklim değişikliği, gezegeneğimizin ekosistem dengesini bozmaktadır. 2018 IPCC raporuna göre, son 50 yılda gezegeneğimizin canlı çeşitliliği %40 azaldı. Doğal kaynakları büyük bir hızla tüketiyoruz. Enerjide fosil yakıtlara bağımlı olduğumuz için atmosfere aşırı miktarda sera gazı salıyoruz. Tüketim alışkanlıklarımız gezegeneğimizin bize sunduğu doğal kaynakların potansiyeli ile uyumlu değil, aşırı tüketiyoruz. Ulaşım ve tarım sektörlerinin karbon emisyonu ile ekolojik ayakizi çok büyük. İnsan kaynaklı iklim değişikliği, 2050'ye geldiğimizde insan için hayatı imkansız kılacak noktalara gelebilir.

2.1.1. Küresel İklim Değişikliğinin Tarihi

Yerkabuğıyla ilgili araştırmalar gezegeneğimizde önemli küresel iklim değişikliklerinin olduğunu gösteriyor. Gezegeneğimizin soğuk ve sıcak olduğu zaman

dilimleri var. Soğuk olduğu zamanlar buzul çağı olarak adlandırılıyor. Son çalışmalar, Kuzey Yarımkürede sıcaklıkta ortalama 6 derece santigratlık bir değişimin bile iklimde ciddi değişikliğe yol açtığını gösteriyor. Günümüzden 20.000 yıl öncesinden başlayarak kuzey yarım küredeki genel sıcaklık değişimlerinin zamansal evrimi bulunuyor.

15.000 sene evvel buzul çağının sona erdiği dönemden sonra, 15.000 ile 13.000 senelerinde gezegenimiz 3.000 senelik bir ısınma yaşamıştır. Buzul çağındansonar kuzeyde eriyen buzullar güneye doğru kayarak geniş alanları kaplamıştır. Bu, tarıma elverişli düzlüklerin bataklık haline dönüşmesini sağlamıştır. Ardından periyodikdenebilecek şekilde yeniden soğuma ve ısınmalar gerçekleşmiştir.

Kısacası, gezegenimizin kendi evrimsel dinamikleri içinde, bugünkü biyolojik çeşitliliği ve ekosistemleri sağlamak üzere, iklim doğal olarak değişmiştir.

2.1.2.Küresel iklim değişikliğinin etkileri

Başlıca etkiler şöyle özetlenebilir;

- Buzulların eriyerek kutuplara doğru çekilmesi sonucu yüksek dağların tepelerindeki buzulların ve kar örtüsünün azalması.
- Deniz suyu seviyelerinin yükselmesi.
- Sıcak hava ve sıcak su seven tropikal bitki ve balıkların kutuplara doğru yayılması.
- Havadaki sera gazlarına karşı hassas olan narin kuş türlerinin azalması.
- Ağaçlardaki yaş halkalarının daha hızlı bir büyüme göstermesi.
- Son 1400 yılda, art arda aşırı sıcak yıllar yaşanması.

2.1.3.İklim nasıl değişir?

Dünyamız diğer gezegenlerden çok farklıdır. Canlıların yaşamasını olanaklı hale getiren birçok özelliğe sahiptir. Bunların başında atmosferinin yapısı gelir. Atmosfer gezegenimizi çepeçevre kaplayan ince bir hava katmanı. Bu katman, gezegenimizin sıcaklığının belirli bir dengede kalmasını sağlar. Atmosfer olmasaydı, gezegenimiz hem çok daha soğuk bir yer olurdu hem de gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkı çok daha fazla olurdu.

2.1.4.Sera gazları ve atmosferin sıcaklık dengesi

Atmosfer, çeşitli gazlardan oluşur. Atmosferde en çok bulunan gazlar azot ve oksijendir. Bunlar dışında, atmosferde “sera gazları” olarak adlandırılan ve ısıyı tutan bazı gazlar var. Karbondioksit, su buharı ve metan atmosferde en çok bulunan sera gazları. Dünyamıza gelen ve ardından tekrar geriye, uzaya yansıyan güneş ışınlarının bir kısmı bu gazlar tarafından tutulur. Yani sera gazları sayesinde ısıнын uzaya kaçışı bir miktar azalır. Bu da gezegenimizin belirli bir sıcaklıkta kalmasını sağlar. Bu özellik, canlılığın devamı için yaşamsal önem taşır.

Prof. Dr Murat Türkeş’in anlatımıyla gezegenimizin ısınma süreci (sera etkisi) şöyledir:

“Atmosferdeki gazların, dünyaya gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, ancak dünyadan uzaya salınan uzun dalga boylu yerküre ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle, gezegenimizin ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen doğal sürece sera etkisi denir. ”

Sera etkisi, gezegenimizin ilk gençlik yıllarında, canlı yaşamının oluşabilmesi için gereken ısınmayı sağlamıştır. Gezegenimiz soğuk olsaydı, insan türü ve biyoçeşitlilik gelişemezdi. Gezegenimizin ısınması sayesinde deniz çayırlarındaki klorofiller aktif hale gelmiş ve oksijen üretmeye başlamıştır. Canlı yaşamını ve biyoçeşitliliği bu ısınmaya borçluyuz.

Gezegenimizin ısı dengesi sera etkisi sayesinde sağlanıyor ve gezegenimizin ortalama sıcaklık düzeyi bu sayede oluşuyor. Bu da, yeryüzünün iklimini oluşturuyor ve gezegenin iklim dengesini sağlıyor.

Gezegenimizin bugünkü sıcaklığının oluşmasını ve iklim sistemlerinin var olmasını sağlayan sera gazları şunlardır: Su buharı, karbondioksit, metan gazı, ozon ve diazotmonoksit.

Görünen o ki, gezegenimizin ısı dengesi ve iklim sistemlerinin dengesi, sera gazları ve sera etkisi ile doğrudan bağlantılı. Atmosferden dünyaya gelen güneş ışınımı ve yeryüzünden uzaya yansıyan yer ışınımı arasındaki dengenin en ufak düzeyde değişmesi, iklimi ve dünyanın ısınısını etkiler.

Prof.Dr. Murat Türkeş, güneş ve yeryüzü ışınımı arasındaki denge sonucunda oluşan iklimleri şöyle tanımlıyor: *“İklim, dünyanın herhangi bir bölgesinde uzun yıllar boyu*

gözlemlenen meteorolojik olayların (yağış rejimi, rüzgar, sıcaklık, nem, hava basıncı) oluşturduğu ortalama özellikler ile bu olayların yaşanma sıklığı, bu sıklığın zamansal dağılımı, gözlemlenen uç değerler ve şiddetli olaylar ile diğer tüm değişkenlik çeşitlerinin birleşimidir. ”

Bir başka deyişle, bir coğrafi alanda gözlemlenen tüm hava olaylarının birleşimi ve bu olayların oluşturduğu sıklık ile denge iklimdir. Hava durumu ve hava olayları ile iklim birbiri ile doğrudan bağlantılı, hatta biribirinin hem nedeni hem sonucu olan kavramlar iken, yine de aynı şey değildir.

2.1.5. Atmosferdeki sera gazları neden artar?

Günümüzde insanlar endüstriyel ve tarımsal üretim, ısınma, ulaşım gibi ihtiyaçları için her zamankinden daha fazla enerji kullanıyor. Kullanılan enerjinin çoğu da petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanıyor. Bu maddeler enerji elde etmek için yakıldığında ortaya bol miktarda sera gazı çıkıyor ve bunun sonucunda atmosferdeki sera gazı miktarı artıyor. Atmosferdeki sera gazı miktarının artmasının bir başka nedeni de havadaki karbondioksiti emen ve besin olarak kullanan ağaçların ve diğer bitkilerin sayısının azalmasıdır.

İklim değişikliği yalnızca havanın ısınması anlamına gelmez. Isınan hava iklimin işleyişini de etkiler. Bu durumda yeryüzünün bazı bölgelerinde kuraklıklar görülür. Bazı bölgelerinde de şiddetli yağışlar ve fırtınalar oluşur. Eriyen buzullar nedeniyle deniz seviyesi yükselir. İklimin değişmesiyle bazı hastalıklar yaygınlaşır. Örneğin soğuk iklimlerde yaşayamayan sivrisinekler sıcaklıkların artmasıyla yeryüzünün farklı yerlerine yayılabilir. Bu durumda sivrisinekler yoluyla bulaşan sıtma hastalığının görülme sıklığı artabilir.

Gezegenimizin iklimiyle ilgili bildiğimiz en temel bilgilerden biri sürekli değiştiği. Gezegenimizin 4,5 yıllık jeolojik tarihçesi boyunca iklim sistemleri pek çok nedenle ve farklı dönemlerde değişmiştir. Gezegenimizde hem buzul çağları hem de buzul çağları arasında ısınma dönemleri yaşanmıştır. Bilimsel veriler bize bunu söylüyor. Yine de insan etkinlikleri sonucu ortaya çıkan iklim değişikliği, sanayi devrimi sonrasında başlatı ve artmaya devam ediyor. Uzmanların belirttiğine göre bugün iklim değişikliği güvenli ve doğal sınırı aşmış durumda, tehlikeli alanda. Havadaki karbondioksit 390 ppm'in üstünde. Her sınır bir eşik değerine sahip. Eşiği geçerse

geri dönülemez bir durum ortaya çıkar. İklim değişikliğinin sonucunda, buzullar eriyecek, buzulların erimesiyle deniz seviyesi yükselecek, daha şiddetli ve sık yağmur yağacak, kuraklık ortaya çıkacak. Gezegenimizin sahip olduğu kaynakları da bitirmek üzereyiz. Şu an gelecek nesillerin kaynaklarını kullanmaktayız.

Fosil yakıtlara bağımlılık, sanayi etkinlikleri, ormansızlaştırma, arazi kullanımının değişmesi ve endüstriyelmesi (ulaşım, tarım, enerji üretim süreçleri,...) atmosferdeki sera gazı miktarını artırıyor. Atmosferde sera gazı miktarlarının artması, güneşten gele ışınların daha fazla tutulmasına ve yerküreden yansıyan ışınların daha az salınmasına neden oluyor. Atmosfer ile yerküre arasında sıkışan bu ışınlar, küresel sıcaklık değerlerini yükseltiyor, dünyamız ısınıyor.

Gezegenimiz, son 100 yılda 0.74 derece ısındı. Bu ısınmanın 0.6 derecesi ise 20. yüzyılda gerçekleşti. 1880'den bu yana yaşanan en sıcak 17 yıldan 16'sı ise 21. yüzyılda oldu.

Gezegenimizin genelinde yaşanan sıcaklık artışları, buzulların erimesine ve deniz seviyelerinin yükselmesine neden oldu. Deniz seviyesinin yükselmesi kıyı ekosistemlerini ve adaları tehdit ediyor. NASA verilerine göre, deniz seviyesi 1992'den bu yana(26 yıl içinde) 8 cm yükseldi [4].

IPCC (Hükümetlerarası Küresel İklim Değişikliği Paneli) dördüncü değerlendirme raporuna göre, küresel ısınma bu hızla devam ederse, 2100 yılında geldiğimizde küresel sıcaklık değerlerinin 2 santigrat derece–4 santigrat derece arasında artmıştır, buna bağlı olarak da deniz seviyesinin 1 metreden fazla yükselmiş olacağı öngörülüyor [4].

Deniz seviyesinin 1 metreden fazla yükselmesi ise şu anlama geliyor: Dünyanın ada ve kıyı ekosistemlerinin yok olması, bazı adaların sular altında kalması ve kıyılarda yaşayan insanların zorunlu ekolojik göç nedeniyle başka bölgelere taşınmaları. Asya'nın büyük bölümünde 80milyon, Avrupa'da 15 milyon, Afrika'da 7 milyon, Güney Amerika'da ise 6 milyon kişi, deniz seviyesi 1 metre yükseldiği takdirde, yaşam alanlarını terk etmek zorunda kalacaklar.

Kısacası, değişen iklim koşulları, dünyadaki ekosistemlerin de değişmesi anlamına gelmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, iklim değişikliği sürecini şöyle tanımlıyor:

“Karşılaştırılabilir zaman aralıklarında gözlemlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, küresel atmosferdeki dengenin doğrudan ya da dolaylı insan faaliyetleri sonucunda bozulmasına bağlı olarak gerçekleşen iklimsel değişiktir.”

Bu tanım, beraberinde, insanların kendi eylemleri sonucunda iklimi değiştirdiklerini kabullenmelerini sağladı ve insanlar iklim değişikliğinin etkilerini öğrendikten sonra, bu süreci durdurmak / yavaşlatmak için çeşitli müzakereler düzenlemeye başladılar.

2.1.6.Atmosferdeki sera gazı miktarı artıran insan faaliyetleri

Ulaşım, ısınma, endüstriyel tarım, enerji üretimi gibi insan temelli etkinlikler için fosil yakıtlar kullanılıyor. Fosil yakıtlar, yani petrol, doğalgaz, kömür karbon bazlı gibi fosil yakıtları yakmak, milyonlarca yıl boyunca toprak altında depolanan organik karbonun oksijen ile birleşerek karbondioksit dönüşmesine ve atmosfere salınmasına neden oluyor. Böylece, önemli bir sera gazı olan karbondioksitin atmosferdeki miktarı artıyor.

Çöplükler, önemli bir metan gazı kaynağı. Çöplüklerde biriken atıklardan sızan metan gazı ve madencilik faaliyetleri nedeniyle yer altında bulunan metan yataklarının aktif hale gelmesi, metan gazının da atmosfere karışmasına neden oluyor.

Sanayi devriminden bu yana geliştirilen endüstriyel ürünlerin üretim ve tüketim aşamasında da atmosfere çok miktarda sera gazı salınıyor.

Kara ekosistemlerinin karbon yutakları ormanlar, ağaçlar, çalılar ve hatta toprak; deniz ekosistemlerindeki karbon yutakları ise deniz çayırları ile mercan resifleridir. Bu yutaklar, karbondioksit ve diğer sera gazlarını tutarlar. Örneğin ağaçlar, ormanlar ve deniz çayırları karbondioksiti fotosentezde kullanır ve oksijen açığa çıkarırlar. Bu sayede de iklim değişikliği ile mücadelede çok kilit bir rol oynarlar.

Ancak insan faaliyetleri sonucu ormansızlaştırma (orman alanlarının tarım arazisi ve yerleşim alanı açmak için yok edilmesi), arazi kullanımının yanlış planlanması, denizlerin atık boşaltma alanları olarak görülmesi ve kirletilmesi sonucu deniz ekosistemlerinin bozulması gibi olumsuzluklar sonucunda bu ekosistemler karbon yutak alanı olma özelliklerini kaybediyorlar.

‘Dünyanın akciğerleri’ olarak nitelenen Amazon ormanlarının %12’si, madencilik, tarım ve kerestecilik faaliyetleri nedeniyle yok oldu, her gün de 4bin 500 tane futbol sahası büyüklüğünde ormanlık alan da yok olmaya devam etmektedir [4].

2005’de Amazon ormanları kuraklık nedeniyle geçici olarak ‘karbon yutak alanı’ndan ‘karbon kaynağı’na dönüştü ve atmosfere Avrupa ve Japonya’nın senelik CO₂salımına eşdeğer olan 6 milyar ton CO₂ saldı [4].

2.1.7.İklimin değiştiğinin ölçülmesi

İklim değişikliğini ölçümlemek pek çok farklı yöntem kullanılıyor. İklim bilimcilerin kullandığı bu yöntemlerin bazılarını, bilimsel dayanakları ile aşağıda özetlemeye çalışacağım.

Atmosferdeki sera gazı parçacıklarını ölçümlemek: Güneşten gelen ışınımın tutulmasını ve iklim oluşmasını sağlayan sera gazı parçacıklarının atmosferdeki miktarını ölçümlemek, iklim değişikliğini ölçmek için en etkin yöntemlerden biridir. Atmosferde bugün bulunan sera gazı partikül miktarı ile, geçmiş yıllarda bulunan sera gazı partikül miktarı karşılaştırılarak bir sonuca varılır. Öncelikle atmosferde bugün milyon kaç birim sera gazı parçacığı olduğu, çeşitli bölgelerden alınan hava örnekleri alınara hesaplanır. (ppm: particular per million. Karbondioksit eşdeğeri üzerinden hesaplanır.) Ardından da, eski dönemlere ait sera gazı miktarlarını ölçmek için buzullardan parçalar alınır ve buzul parçalarındaki partikül madde miktarı hesaplanır, her iki ölçüm birbiriyle kıyaslanır. Artış miktarı, iklim değişimindeki artışa tekabül eder. Sera gazı miktarındaki artış ile küresel sıcaklık artışı arasında ilişki kurulur ve çeşitli matematik modellemeler ve oranlar sayesinde, gelecek zaman dilimlerinde atmosferde bulunacak sera gazı miktarı ve küresel sıcaklık artışı hesaplanır.

Yapılan ölçümlere göre, Atmosferdeki karbondioksit (CO₂) oranı 2015 Ocak yılında 399,73 ppm seviyesine ulaştı, bu miktar 200 yıl öncekine göre %40 daha fazla. (NASA) (iklimagi.org) 350.org ve Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, insan sağlığı için bu miktar en fazla 350 ppm olmalı.

Son yüzyılda ise dünya 0,74 derece ısındı. Bu partikül madde-sıcaklık artışı modellemesinden yola çıkan iklimbilimciler, insanlık olarak karbon ve sera gazı

salınımına bu hızla devam edersek, 2050 yılına geldiğimizde dünyanın 2-4 derece daha ısınmış olacağını öngörüyor.

Hava olaylarını karşılaştırmak:18'inci yüzyılın ortalarından bu yana, dünyanın pek çok yerinde meteoroloji istasyonarı hava olaylarını gözlemliyor, düzenli olarak sıcaklık, nem, basınç, rüzgar, yağış gibi meteorolojik olaylar hakkında ölçümler yapıyorlar. Bir bölgede uzun zaman dilimleri ile kısa zaman dilimleri arasında hava olayları, yağış rejimleri ve sıklığı gibi olgular üzerinden karşılaştırmalar yapılarak, iklimin önceki dönemlere göre nasıl ve ne kadar değiştiği, iklim değişikliğinin hava olaylarına nasıl etki ettiği hakkında fikir sahibi olunabiliyor.

Ayrıca uydu gözlemleri ile de atmosferdeki hava olayları ölçülebiliyor ve gözlemlenebiliyor.

Küresel iklim değişikliği aşırı ve beklenmedik hava olaylarına yol açıyor. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Türkiye'de en sık rastlanan ve en çok zarar veren açan aşırı hava olayları sırasıyla dolu, sel ve fırtına. 2017 yılının yaz döneminde İstanbul'da,burnumuzun ucunda yaşanan dolu ve sel felaketi hepimizin zihnine kazındı. Ayrıca 2018 yazı boyunca yine İstanbul'da muson yağışlarına çokça rastladık. Aniden bastıran ve aniden kesilen bu kısa sürekl fakat şiddetli yağmurlar, muson iklimi yağış rejimidir. Ülkemizde de iklimin değiştiğini görmemek için kör olmak gerekir.

2.1.8.Sanayi devrimi'nden bu yana iklim değişikliği

1950'lere kadar iklim değişikliği hakkında bir uzlaşmaya varamayan biliminsanları, özellikle 1980'lerden sonra, matematiksel modellemelerin de gelişmesiyle, iklim değişikliğinin gerçekliğini ve nelere yol açabileceğini kabul ettiler ve hem küresel ölçekte uluslararası komitelerde müzakereler başladı, hem de yerelde iklim mücadeleleri görülmeye ve devletler karbon salınımlarını azaltacak önemler almaya başladı. Çünkü, bu denli büyük, hatta küresel bir krize yol açabilecek çağta bir iklim değişikliğine, insan faaliyetlerinin yol açtığı da kesinleşmiş oldu.

Birleşmiş Milletler, iklim ve iklim değişikliği konusunda yapılan çalışmaların daha bütünsel (sektörlerin iklime ve iklim değişikliğinin ekosistemlere bütüncül etkisi bakımından) olması getektiğini anlayışını benimsedi ve 1988 yılında 2000'i aşkın uluslararası biliminsanının katılımıyla uluslararası İklim değişikliği Paneli (IPCC)

yapıldı. O günden bugüne de IPCC, iklim değişikliği ile ilgili bilimsel veri, öngörü ve modelleme üretir, riskleri ortaya koyar, etkileri belirtir ve alınması gereken önlemleri önerir. Bu bakımdan, dünyada iklim değişikliğine uyum konusundaki tartışmalara yön veren Kurum niteliğindedir.

Bu çalışmada da IPCC verileri ile bu verileri yorumlayan ve destekleyen diğer verilerden yararlanılmıştır.

“2007 IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporuna” göre aşağıdaki şekil 2.3’de verilen durum ortaya çıkmaktadır[1].

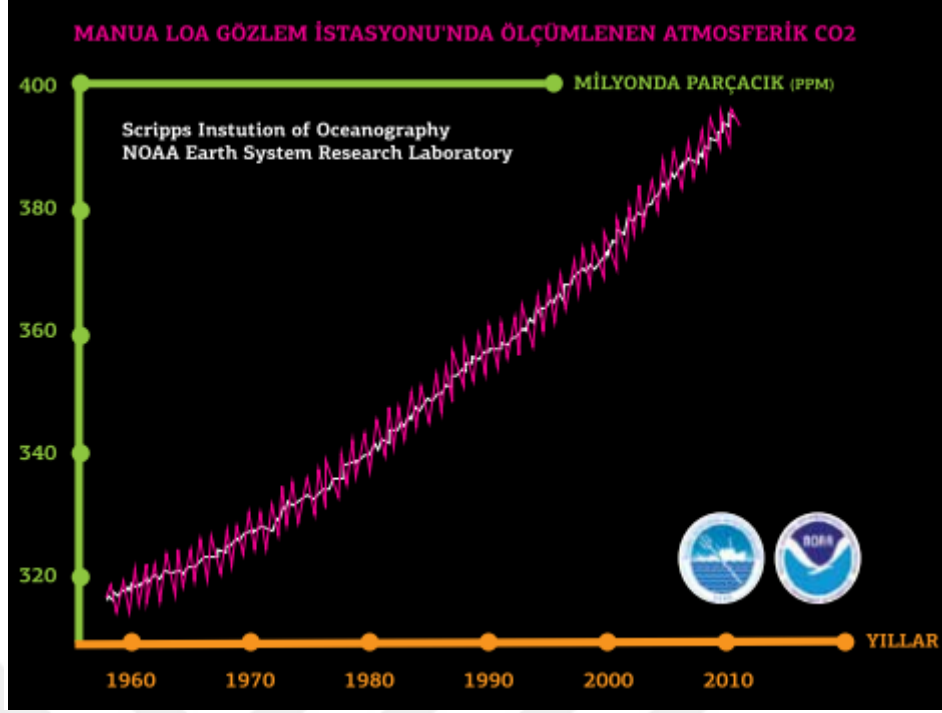
Atmosferdeki Doğal Sera Gazlarındaki Değişim (IPCC, 2007)			
	Sanayi Öncesi Atmosferdeki Miktar	2005 Yılı Atmosferdeki Miktar	Sanayi Öncesi Dönem ile 2005 Yılı Arasındaki Değişim
Karbondioksit (CO ₂)(*)	280 ppm (milyonda parçacık)	379 ppm (milyonda parçacık)	%35 artış
Metan (CH ₄)(*)	715 ppm (milyonda parçacık)	1774 ppm (milyonda parçacık)	%148 artış
Diazotmonoksit (N ₂ O)	270 ppm (milyonda parçacık)	319 ppm (milyonda parçacık)	%18 artış

Şekil 2.3 : Atmosferdeki doğal sera gazlarındaki değişim

IPCC 2007 raporuna göre, insan etkinlikleri nedeniyle en çok artış gösteren sera gazı karbondioksittir. Metan ve dizazotmonoksit artışı milyarda bir birim artış gösterirken, karbondioksit milyonda bir birim artış gösteriyor.

Sanayi devrimi öncesinde atmosferde belli bir seviyede sabit olan karbondioksit miktarı, sanayi devrimi sonrasında yıllık ortalama 2 ppm seviyesinde artış göstermiştir.

Aşağıda verilen Şekil 2.4’de 1960- 2012 yılları arasındaki atmosferik karbondioksit ölçümlemesini göstermektedir. Şekil, karbon salınımlarından uzak bir gözlemevi olan Manua Loa gözlemevi verileri ile yapılmıştır[1].



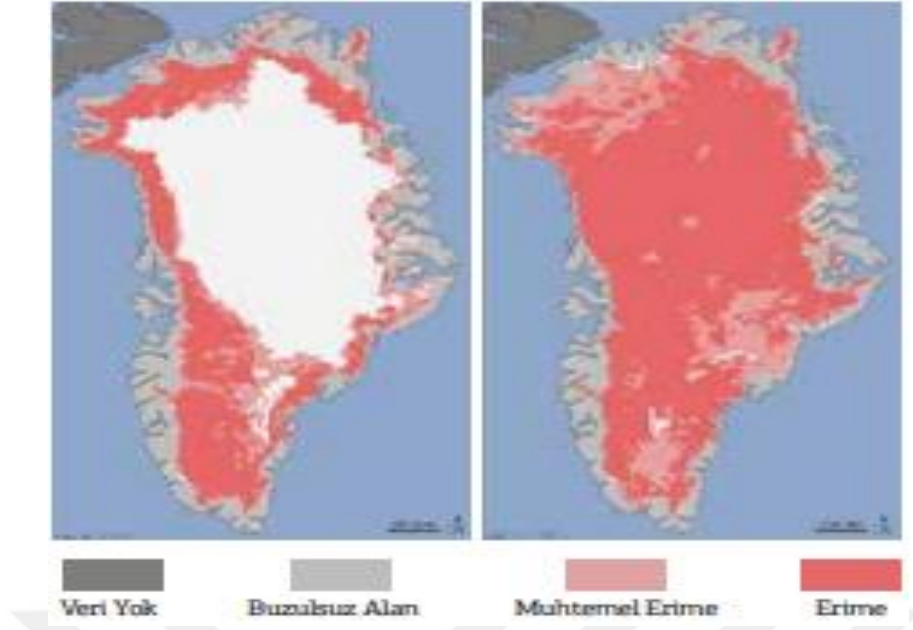
Şekil 2.4 : Manua Loa gözlem istasyonu ölçümleri

IPCC Dördüncü Değerlendirme raporuna göre, son 100 yılda gezegenimiz 0,75 derece ısındı.

Küresel ısınma ve sürekli sıcaklık artışı, kutup bölgelerindeki buzullar ile karsal buzulların erimesin, gezegenimiz genelinde deniz seviyesinin yükselmesine, kuraklığa, ani yağışlara, sellere, aşırı hava olaylarına, erozyona neden olabilir. Bunlar, iklim değişikliğinin doğrudan etkileridir. İklim değişikliği dolaylı olarak, biyoçeşitlilik kaybı, soy tükenmesi, gıda ve içme suyu sorunu, ekolojik göçler ve aşırı enflasyona da neden olacaktır. Doğal kaynaklar azaldıkça, onlara ulaşmak belki imkansız olmayacak, ancak çok daha maliyetli ve hatta belki de lüks statüsünde olacaktır.

IPPC'ye göre iklim değişikliği şimdiye kadar aşağıdaki etkileri doğurdu:

- Dünya'nın yüzey sıcaklıkları ortalaması 20. yüzyılda yaklaşık 0,7 °C arttı.
- 20. yüzyılın son 15 yılı, bu yüzyılın en sıcak dönemi oldu, 20. Yüzyılın ortalarından itibaren sıcak hava dalgalarının şiddeti ve görülmesıklığı arttı. Aşağıdaki Şekil 2.5'de Nasa'nın yayınladığı fotoğraf görülmektedir[1].



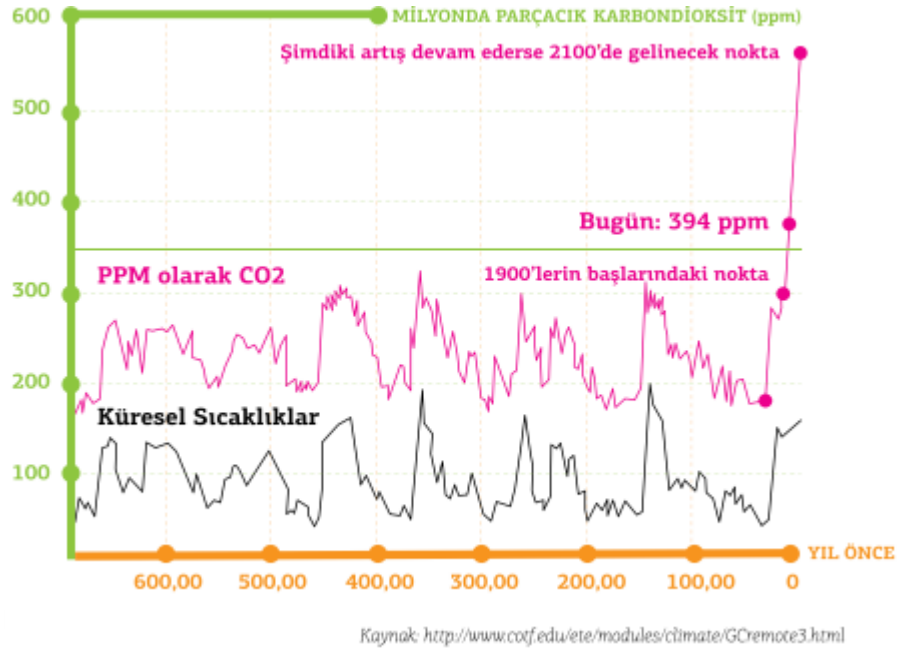
Şekil 2.5 : Nasa'nın yayınladığı fotoğraf.

Biliminsanları NASA'nın yayınladığı bu fotoğrafların ardından bir açıklama yaptılar: Grönland'daki buzullarda erime 2012 yılına kadar maksimum %55 oranına çıkmıştı, ilk kez 2012 yılında tarihte ilk defa %97 oranına yükseliyordu!

Grönland'daki erimenin hemen ardından, yaklaşık 1 ay sonra, 2012 yılının Ağustos ayında, Kuzey Kutbu'ndan benzer bir haber geldi. ABD Ulusal Kar Ve Buz Verileri Merkezi (NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration), Kuzey Buz Denizi buzullarının 1979'da kayıt tutulmaya başlandığından beri en düşük seviyeye kadar eridiğini açıkladı.

Art arda gelen bu erime haberlerin ardından dünyanın en önemli buzulbilimcilerinden olan Prof. Peter Wadhams, dünya bu hızla ısınmaya devam ederse, Kuzey buz denizinde 4 yıl içinde buzul kalmayacağını, tüm buzulların tamamen eriyebileceğini açıkladı.

Kısacası, 600.000 yıl önce atmosferde var olan sera gazı partikül madde miktarı ile gezegen sıcaklığı arasındaki ilişki ve bugün geldiğimiz noktaya baktığımızda, insanlık olarak, iklim değişikliği konusunda daha önce hiç yaşamadığımız bir noktaya doğru yol aldığımız aşikardır. Aşağıdaki Şekil 2.6'da 2100 senesinde karşılaştığımız durum belirtilmiştir.



Şekil 2.6 : 2100 yılında gelinecek nokta (1).

Karbon Emisyonları ve Küresel Isınma Bu Hızda Devam Ederse Neler Olabilir?

- 2100 yılında geldiğimizde gezegenimiz 2-4 santigrat derece ısınmış olabilir. Buna bağlı olarak deniz seviyesi 1 metre yükselebilir. Bu durum, bugün kıyı ve adalarda yaşayan 271 milyon insanı (Türkiye nüfusunun yaklaşık 4 katı) zorunlu ekolojik göçe sürükleyebilir.

- Gezegenimizin buz dolabı olan Kuzey ve Güney kutbunda buzullar tamamen eriyebilir, bu buzullarda yıllardır saklı kalan çetli hastalıklara ait virüs ve bakteriler dünyaya yayılarak, henüz bilmediğimiz hastalıklara ve salgınlara yol açabilir.

-Su kaynakları ve sulak alalar kuruyabilir, bu kaynaklara mikrop bulaşabilir. Temiz su sorunu ciddi boyutlarda yaşanabilir.

- Bazı ülkelerde tarımsal etkinlikler azalırken bazı ülkelerde artabilir, bu durum gezegenimizin gıda dengesini değiştirebilir, gıdaya erişmek zor ve maliyetli hale gelebilir.

- Ormanlar ve buralarda yaşayan bazı canlı türlerinin nesli tükenebilir, gezegenin biyolojik çeşitliliği yüksek derecede tehdit altına girebilir. İstilacı türler nedeniyle ekosistem dengeleri bozulabilir.

- WWF'in 'İklim Değişikliğinin Türler Üzerindeki Etkisi' raporuna göre, iklim değişikliğinden en çok etkilenecek 10 tür arasında insan da var. Bir soy tükenmesine doğru sürüklenebiliriz.

Kısacası, iklim değişikliği önüne geçemeyeceğimiz bir felaket senaryosu gibi duruyor, üstelik son derece de gerçek! Küresel ölçekte biliminsanları ve hükümetler ile Birleşmiş Milletler, '*İklim Değişikliği ile Mücadele*' ve '*İklim Değişikliğine Uyum*' kapsamında müzakereler, protokoller, paneller düzenliyor, raporlar yayınlıyor ve hükümetlerarası anlaşmalardüzenleyerek, devletlerin küresel ısımayı belli bir seviyede tutmak için üzerine düşenleri yapmalarını sağlıyorlar.

Bu bağlamda, Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması tüm hükümetleri bağlayıcı ve birincil önemde yaptırım gücü olan yapılar olarak karşımıza çıkıyor. Bir sonraki bölüme Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması'nı, hedeflerini ve Türkiye'ye düşen görevleri inceleyeceğiz.

2.2 İklim Değişikliğiyle Mücadele ve Uyum Yasaları

Türkiye, ülkeler arası iklim politikaları sürecine ve müzakerelere katılmaya aslında diğer sanayileşmiş ülkelere göre erken bir dönemde başladı ve ilk kez 1989'da Hollanda'da düzenlenen Noordwijk Konferansı'na katıldı. Türkiye, karbon emisyonları sanayileşmiş ülkelere göre daha rağmen, 1992'de imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (BMİDÇS) karbon emisyonları ve iklim değişikliğini ancak, sözleşmeyi süre imzalamadı. Bu nedenle de 1997'de yapılan Kyoto Protokolü görüşmelerine gözlemci olarak katıldı.

2.2.1.Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü olarak bilinen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1997 yılı Aralık ayında Japonya'nın Kyoto kentinde, iklim değişikliğine karşı küresel tepkinin temellerini oluşturmak üzere düzenlenlenmiş ve 184 hükümetin taraf olması ile kabul edildi ve yürürlüğe girdi. Türkiye de 2009'da anlaşmayı imzalayarak protokole taraf oldu. Bugün, protokole 191 ülke ve AB taraftır.

Protokol, sanayileşmiş 37 ülkenin sera gazı salınımlarını (emisyonlarını) 2008-201 yılları arasında, 1990'daki sera gazı salınım seviyelerinin %5 altına indirme

yükümlülüğünü yerine getirmesiyle, 2005 yılında yasal bağlayıcılık kazanmıştır. Kyoto Protokolü, iklim değişikliği iklim değişikliği ile mücadelede atılacak adımlar bakımından önemli ve bilimsel bir çerçeve çizmektedir ve sera gazı salınımlarının kontrolü açısından da tarihi önemde bir ilk adımdır. Zira, protokolün başlıca amacı, BMİDÇS'ye taraf olan ülkelerin, kendi ekonomik ve sanayi dinamiklerine uygun olarak, sera gazı emisyonlarını azaltma yönüne harekete geçmelerini, sürdürülebilirlik temelli önlemler almalarını ve sektörel iyileştirmeler yapmalarını sağlamaktır.

Kyoto protokol ile birlikte, çok sanayileşmiş ülke, sera gazı salınımlarını azaltmak ve sınırlandırmak için gereken kurumsal yapıları kurmuş ve politikaları oluşturmuştur. Bazı ülke ve bölgelerde sera gazı salınımları büyük ölçüde azalmaya başlamıştır. Ancak, küresel ölçekte baktığımızda, protokolün küresel sera gazı emisyonlarının artışını azaltmada etkisi sınırlıdır.

Gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkelerdeki emisyon azaltıcı projelere yatırım yaparak sera gazı salınımlarını azaltma amaçlarına kısmen ulaşabilmektedirler. Bu mekanizmanın en önemli kısmı, yatırımcıların, gelişmekte olan ülkelerdeki karbon salınımı engelleyici projelere yatırım yapmaları ve ülkelerindeki salınımları dengelemeleridir. Buna 'Temiz Kalkınma Mekanizması' (CDM- Clean Development Mechanism) deniyor.

CDM'ye kaydolan binlerce proje sayesinde küresel karbon emisyonlarının azaltılması hedeflenmektedir. Tüm bu projeler zamanla, Almanya, İngiltere ve Avustralya'dan daha fazla karbon salınımı azaltımı sağlayabilir [8]. Bu projelere örnek olarak Hindistan'daki Res'leri (Rüzgar Enerjisi Santrali), Brezilya'daki metan gazı depolama alanları (arazi dönüşümü yapılan yerlerde) ve Orta Amerika'daki jeotermal enerji üretim tesislerini gösterebiliriz.

Ancak, bu gibi yeşil projelerin Afrika'da görülmemsi, yani sanayileşmiş ülkelerin Afrika'da CDM yatırımları yapmıyor oluşu bizce bir soru işareti. Kyoto protokolü 'yeşil badana'ya mı hizmet ediyor? Sanayileşmiş ülkeler kendi sektörel iyileştirmek yerine daha az maliyetli CDM projelerine yatırım yaparak karbon salınımını azaltmayı, diğer bir deyişle, iklim değişikliğinin durdurmayı 'ucuza' getirmeye mi çalışmaktadır?

Karbon emisyonlarının çok büyük bir kısmına sanayileşmiş ülkeler neden olmaktadır. Bunlarla birlikte, Kyoto protokolünde gelişmekte olan ülkeleri bağlayan kesin hükümler ve yükümlülükler olmamakla birlikte, emisyon azaltım hedefleri vardır ve emisyonlarını azaltmak amacıyla gerekli yatırımları yapabilmek için CDM'ye başvurup, fon alabilirler.

Protokolün bağlayıcılığı güçlü olmakla birlikte yükümlülüklerini yerine getirmeyenlere karşı yaptırım gücü azdır. Örneğin, karbon emisyonu azaltım hedefi %6 olan Kanada, 1990 düzeylerinden % 25 daha fazla miktarda karbon salınımı yapmaktadır, ABD ise 2001 yılında Protokol'den ayrılmıştır.

Türkiye ise BMİDÇS Ek-I listesinde yer almaktadır ve bu nedenle de CDM projelerinden yararlanamamaktadır. 2006 yılından bu yana aktif olarak ve halihazırda yenilenebilir enerji projeleriyle sınırlı olarak gönüllü karbon piyasalarında rolü vardır [9].

Türkiye'de 2005 senesinden itibaren başlayan yenilenebilir enerji kaynaklı projeler, 2008 senesinden itibaren hızlanmıştır. Bluerregistry, APX, ve Gold Standard gibi veri tabanlarından edinilen verilere göre, Ekim 2009 itibariyle Türkiye'den çıkan yeşil enerji proje sayısı 47'dir.

Türkiye'nin 2012 senesinden sonraki zaman için Kopenhag'da yürütülecek müzakerelere ilişkin belirlediği pozisyonuyla karbon ticareti seçeneği netleşmiştir. Türkiye'nin EK-I ülkesi olarak hedef belirlediğinde ve EK-B ülkesi durumuna geçtiğinde uygulayacağı karbon ticareti mekanizması 'Ortak Uygulama' olacaktır.

Küresel iklim değişikliği ve küresel ısınma, dünya üzerinde yaşayan her canlıyı ve tüm devletleri etkileyecektir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği belirli bir grubun, belli başlı hükümetlerin ya da coğrafi/siyasi grupların sorunu değil, herkesin ve tüm hükümetlerin sorunudur. İklim değişikliği ve küresel ısınmanın olumsuz etkileri Türkiye'de de görülecektir. Bu nedenle yalnızca Kyoto Protokolüne taraf olan EK-B ülkeleri değil, diğer tüm ülkelerle birlikte Türkiye de üzerine düşeni yapmalı ve taahhütlerini yerine getirmelidir, protokle taraf olduğu 2009 yılından bu yana da emisyon azaltımı konusunda önemli adımlar atmıştır.

Türkiye bu amaçla;

- Ortak sorunlar ancak farklılaştırılmış sorumluluklar çerçevesinde küresel anlaşmaya 2009 yılında taraf olarak, hem gezegenimiz hem de insanlık için

felakete yolaçabilece 2 santigrat derecelik sıcaklık artışının önüne geçmek üzere,Kopenhag müzakerelerine etkin katılım sağlamıştır.

- Küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir köşetaşı olan yeşil ekonomiye geçiş için, gelişmekte olan ülkelere verilecek fon ve teknoloji Türkiye'ye kısıtlı ölçüde sağlansa bile, Türkiye yeşil ekonomi ve yenilenebilir enerji adımları atmaya başlamıştır. (Özellikle kentlerde topluulaşım ve elektrik enerjili ulaşım sistemlerle güneş enerjisi teşvikleri artmıştır.)
- 2020 yılına kadar genel karbon salınımı seviyesinin düşürülmesi taahhüt edilmiştir.
- İklim değişikliğiyle mücadelede en önemli karbon yutak alanlarından biri olan ormanların çoğaltılması, ormanlık alanların korunması ve ağaçlandırma çalışmalarına ağırlık verilmesi için gereken adımları atmış, ormansızlaştırılmanın acilen durdurulması, doğal ormanlarımızın korunması için harekete geçmiştir.
- Ulusal düzeyde Sıfır Atıkprojesi başlatmış ve böylece atık kaynaklı sera gazı salınımı oranın düşürülmesi için adım atmıştır.

Kyoto Protokolü mükemmel değildir, ancak iklim değişikliği ile mücadele tarihi açısından önemlidir. Kyoto protokolüne göre emisyon azaltım hedefleri 2012 yılı itibarıyla sonlandı. Bu hedeflerin bazıları gerçekleşirken bazılarını ulaşamadı.

Kyoto Protokolü 2020 hedeflerinden bir kısmını aşağıda özetlersek:

- Sanayileşmiş ülkeler karbonemisyollarını 2020'ye kadar 1990'aoranla %80 azaltmalıdır. (Hedefe ulaşamadı, karbonemisyolları değil, emisyonların artış hızı alati labildi.)
- Küresel ısınma 2 derecenin altında tutulmalıdır. (2018 IPCC raporuna göre, 2 derecelik ısınma sınırı yeterli değildir, 2 derecelik ısınma dünyayı felakete sürükleyecektir. Küresel ısınma sınırı 1,5 derece olmalıdır.)

2.2.2.Paris Anlaşması

2009 yılında Kyoto protokolünün devam adımları ve değerlendirmesi için bağlayıcı ve kapsayıcı bir iklim sözleşmesi yapabilmek adına Kopenhag'da buluşan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS) taraf ülkeleri, müzakere masasından anlaşmazlıkla ayrılmış ve bu sonuç umutsuzluk ve hayal kırıklığı yaratmıştı. Daha sonra 2015 yılı Aralık ayının ilk yarısında Paris'te gerçekleştirilen 'İklim Zirvesi'nde' ortaya umut verici ve Kyoto Protokolü'nden çok daha somut hedefler içeren bir başka anlaşma çıktı: Paris Anlaşması. Paris Anlaşması,iklim değişikliğiyle mücadelede uzun vadeli küresel adımlar için temel teşkil edebilecek bir anlaşma. Anlaşmanın başlıca hedefleri arasında iklim değişikliğinin etkilerinin minimuma indirilebilmesi için;

- Küresel sıcaklık artışının 1,5°C'de sınırlandırılması,
- Karbon salınımlarında (emisyonlarda) en kısa zamanda düşüş eğiliminin başlaması,
- Karbonsalınımlarının (emisyonların) 2050'ye kadar gezegenin karbon yutak kapasitesiyle dengeli bir seviyeye gelmesi,
- Net karbon emisyonlarının sıfırlanması ve yatırımlarda önceliğin düşükemisyonlu seçeneklere verilmesi,

yer alıyor.

Yukarıdaki hedefler iklim biliminin verilerle uyumlu, ölçülebilir, ulaşılması mümkün, gerçekçi ve zaman sınırlaması olan (SMART) hedefler olduğundan, iklim değişikliği ile gerçek bir mücadeleye zemin hazırlıyor. Ancak Paris Anlaşması, yasal bağlayıcılığı olan taahhütler içermiyor. (Kyoto protokolü devamı için 2009'da Kopenhag'da bir anlaşmaya varılamamasındaki en büyük nedenlerinden biri, pek çok ülkenin bağlayıcı nitelikte bir anlaşmaya karşı olmasıydı.) Üstelik 2016 yılı içerisinde anlaşmaya taraf olan 185 ülke tarafından BMİDÇS'ye sunulan karbon emisyonu azaltım yönündeki taahhütleri de yetersiz kalıyor. Bu taahhütler, 2100 yılına geldiğimizde 2,7°C ila 3,7°C arasında daha sıcak bir gezegende yaşayacağımıza işaret ediyor. Bu da, Paris Anlaşması'nın amacına ulaşamaması anlamına geliyor.

Şimdiye kadar 194 ülkenin imza attığı Paris Anlaşması'na aynı zamanda 191 127 ülke taraf oldu. Türkiye de Paris Anlaşması'nı 22 Nisan 2016'da imzadaladı, ancak henüz tarafolmadı. Bu, 2030'a kadar sürecek müzakerelerde Türkiye'nin söz sahibi olmaması anlamına geliyor.

Türkiye'nin Paris Anlaşması'na taraf olmaması, iklim değişikliği ile mücadelede üzerine düşenleri yapmadığı ve yapmayacağı anlamına gelmiyor. Türkiye'nin 30 Eylül 2015 tarihinde ulusal katkıya oldukça bilimsel ve net bir hedefi var: Türkiye 2030 yılına kadar seragazi salınımları hızını % 21 oranında azaltmayı taahhüt etti [2].

Paris Anlaşması'nı Türkiye'nin de imzalaması ve anlaşmaya taraf olması, aşağıdaki nedenlerden dolayı hayati önem taşıyor:

- Türkiye, iklimdeğişikliğinden en çok etkilenecek bölgelerden biri olan Akdeniz Havzası'ndayeralıyor. İklimdeğişikliği ile mücadelenin başarısız olması dünyada en çok Akdeniz Havzası'nın zarar görmesi, Türkiye'nincoğrafi, ekonomik ve sosyo-kültürel olarak büyük yıkıma uğraması anlamına geliyor.
- Paris Anlaşması, 2020 sonrası iklimpolitikalarının temelini oluşturuyor ve çerçevesini çiziyor. Türkiye'nin Paris Anlaşması'na taraf olmaması, anlaşmanın uygulama döneminin dinamiklerinin ve dengelerinin belirleneceği, son derece kritikaşamada sözsahibi olmaması ve küresel iklim hareketinin dışında kalması anlamına geliyor. Geleceğimizin belirleneceği iklimpolitikalarında Türkiye de irade ortaya koymalı ve düşükkarbonlu ekonomiye geçiş ilkelerinin ortaya koyulacağı bu tartışmalarda var olmalıdır.
- Düşük karbonekonomisi; iş potansiyeli, istihdam, halksağlığı, geleceğin karar vericilerinden biri olma ve enerjide dışabağımlılık gibi çokönemli alanlarda gelişim vaat ediyor ve fırsat potansiyeli taşıyor. Küresel iklim hareketinin dışında kalmak, bu fırsatların kaçırılması anlamına geliyor.

İklim değişikliğine karşı direnç geliştirmiş ve ekonomik olarak güçlü bir ülke olma yolunda adımlar atan Türkiye'nin, sera gazı salınımlarını hızla azaltacak enerji, sanayi ve ulaştırma politikalarını ve iklim değişikliğine uyum politikalarını hayata geçirmesi gerekiyor.

WWF-Türkiye verilerine göre, 2014 yılında 1990'a oranla atmosfere 261 milyon ton daha fazla sera gazı salan Türkiye, İklim Zirvesi Ulusal Katkı belgesinde

emisyonlarını 2030'da 1990'a oranla 461 milyon ton üstüne çıkarmayı taahhüt etti. (Sarı gazı salınımı artış oranının %21 azaltılması taahhütü bu anlama geliyor.) Beyan edilen bu hedef, Türkiye'nin sera gazı salınımlarını, salınım hızını %21 azaltsa da, 2030'da 2012 yılı seviyesine göre %162 oranında artıracığı anlamına geliyor.

Paris Anlaşması, iklim değişikliği ile mücadele açısından bir temel oluşturdu. Anlaşmaya göre, hükümetlerin verdiği taahhütler 5 yılda bir kontrol edilecek ve güncellenecek. Bu temelin üzerinde ulusal ve yerel ölçekte yapacaklarımızla bizler belirlemede etkili olacağız.

2.3.İklim Değişikliği ve Türkiye

WWF'in (Dünya Doğayı Koruma Vakfı) 30 Ekim 2018'de yayınlanan Yaşayan Gezegen raporuna göre, son 44 yılda dünya üzerindeki biyoçeşitlilik %60 oranında kaybedildi. Bu, son buzul çağından bu yana en hızlı biyoçeşitlilik kaybıdır.

Ülkemiz biyoçeşitlilik bakımından çok zengin bir coğrafyadır. Avrupa'daki bitki ve hayvan türleri çeşitliliğinin neredeyse tamamına sahiptir. 3 farklı iklim çeşiti ve bitki örtüsü kuşağını (maki, bozkır, orman) barındırır. Ege kıyılarından Kaçkar doruklarına kadar görebileceğimiz bitki örtüsü çeşitliliği, Sicilya'dan Sibiry'a kadar görülen birki örtüsünün tamamına sahiptir. Toroslardaki meşe ormanları ve Kaçkarların çam ormanları dünyanın en eski ormanlarından ve pek çok endemik türe ev sahipliği yapmaktadır.

Karadeniz'den Anadolu'ya sızan Yeşilırmak ve Kızılırmak ile Mezopotamya'yı besleyen Fırat ve Dicle biyolojik çeşitlilik bakımından eşsizdir. Ege'de Büyük Menderes deltası ve Akdeniz'de Çukurova deltası ekonomik, kültürel ve coğrafi yapıları bakımından çok değerlidir. Konya, Anadolu'nun tahıl ambarıdır, Karadeniz ari ırk kafkas arılarına ve dünyanın en lezzetli balına sahiptir. Ege'nin zeytin ormanları Akdeniz'in en lezzetli zeytinlerini ve zeytinyağını verir. Baltık ülkelerinden güneye göç eden pek çok göçmen kuş ülkemizden geçer, Van gölü ile Çukurova deltasına kışlar ya da ürer. Ülkemiz yılın 300 günü güneş görür, yağış alır, toprağı bereketlidir, tohumu atalıktır, ağacı vefalıdır, geleneksel bilgileri kadimdir.

Türkiye, içine yer aldığı Akdeniz Havzası iklim değişikliğinden nasıl etkileniyorsa o ölçüde etkilenecektir. Akdeniz Havzası ise iklim değişikliğine karşı en hassas alanlardan biridir.

Bugüne kadar iklim değişikliği Türkiye’de aşağıdaki etkileri doğurmuştur:

- Son 42 yılda Türkiye’nin her yerinde sıcaklık artışları gözlemlendi. Yaz sıcaklıklarındaki ve ani sıcak hava dalgalarındaki artış diğer mevsimlere göre daha fazla gerçekleşti. 2016 yazında dolu ve sel, 2017 yazında muson iklimi yağış rejimi ile karşılaştık. Sıcak dönemler zamansal olarak da genişledi.
- Son 50-60 yılda Ağrı, Toros ve Kaçkar dağbuzullarında yılda yaklaşık 10 metrelik geri çekilme gözlemlendi.
- Son 40 yıllık dönemde dağlardaki karlar 1 hafta daha erken erimeye başladı ve karla beslenen nehirlerde tepeakımları bir hafta erkene kayd.
- Türkiye’yi çevreleyen denizlerde deniz seviyesi yükseldi.
- Ağaçların meyve verme ve çiçeklenme dönemleri erkene kayd, sebzelerin olgunlaşma süresi kısaldı.

İklim dengesi bu hızla değişmeye devam ettiği sürece;

- Mevsimsel sıcaklıkların ülke genelinde yükselmesi, yaz mevsimlerindeki sıcaklık artışının mevsimi sıcaklık artışından fazla olması bekleniyor. Dolayısıyla da, su kaynaklarına azalma ve kuraklık riski öngörülüyor.
- Yağışların Türkiye’nin güneyinde azalması bekleniyor, kuzey ve özellikle kuzeydoğusunda artması yahut şiddetlenmesi mümkün. (Bu, Doğu Karadeniz’den daha çok sel ve toprak kayması haberleri almamız anlamına geliyor).
- Türkiye’de su sıkıntısı ve suya erişim zorluğu çeken alanlar artabilir, 2100’e kadar ülke nüfusunun % 45’i su yokluğuyla karşılaşabilir.

Doğa bize yaşamsal hizmetler sunar. Akarsular, ormanlar, denizler, kısacası doğal kaynaklar olmazsa enerji üretemeyiz, enerji üretemezsek sanayi, ulaştırma ve gıda da olmaz.

Bu çalışmada ulaştırma sektörünün karbon salınımları ve iklim değişikliğine katkısını araştırıp, bilimsel veriler ile örnekler üzerinden raylı sistemlerin

ekolojik olarak daha elverişli ve ekonomik açıdan düşük maliyetli olduğunu göstermeye çalışacağız.



3.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ULAŞTIRMA

Araştırmacıların yaptıkları incelemelerin sonunda, yerkürenin yüzey sıcaklığı geçtiğimiz yüzyılda yaklaşık 0.4°C lik bir yükselme gösterdiği belirlenmiştir. Son 20 senelik dönemde ise bu ısınmanın hızında artış tespit edilmiştir. Son 50 senede oluşan ısınma insan faaliyetleri sonucunda oluşmuştur. İnsan kaynaklı nedenlerle, atmosferin yapısı, sera etkisine neden olacak gazları üretecek şekilde bozulmaya maruz kalmakta; bilhassa karbondioksit oluşmasına neden olmaktadır. İklim sistemlerinin bu gazlara verdiği tepki hususunda belirsizlikler olmasıyla birlikte bu gazların ısı hapsedme özellikleri vardır.

Güneşten yayılan ısı ve enerji, atmosferi aşarak yerkürenin yüzeyini ısıtır; bununla birlikte, enerjinin bir kısmını yer yüzeyi uzaya tekrar gönderir. Atmosferde mevcut olan sera gazları geri yayılan enerjinin bir bölümünü hapseder. Bu şekilde sera etkisi olmamış olsaydı, sıcaklıklar yaşamın mümkün olamayacağı düşük derecelerde olurdu. Sera gazlarıyla yerkürenin sıcaklığı yaşanabilir bir düzey olan yaklaşık 16°C 'dir. Fakat, sera gazlarının atmosferdeki miktarının yükselmesi sorunlar ortaya çıkaracaktır.

Sanayi devriminden bu yana, atmosfer sistemindeki CO_2 miktarı %30 artmış, CH_4 oranı %200 den fazla yükselmiş, N_2O oranıysa %15 artmıştır. Bu gaz oranlarının fazla artışı, atmosferin ısı tutma özelliğini arttırmıştır. Hava kirliliğinde ciddi bir neden olan sülfat aerosollerini güneş enerjisini uzaya tekrar yayayarak atmosferin soğumasına fayda sağlar; fakat sülfat atmosferin içerisinde kısa zaman bulunur ve bölgesel değişiklik gösterir.

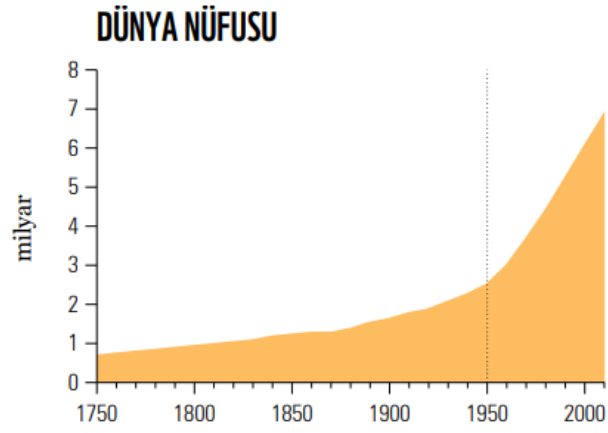
Sera gazlarının miktarının artmasını bilim insanları şöyle açıklamaktadır; Karbondioksit miktarının artışında ana neden, fosil yakıtlar ve diğer insan kaynaklı

alışmalardır. Bitkiler solunumuyla diğerk biyolojik yapısal değışikliklerin sonrasında, insan kaynaklı üretilen CO₂ ‘dan 10 kez dahafazla CO₂ üretimine neden olmaktadır. Fakat, bu CO₂ üretimi, bitkilerin fotosentezi ve okyanuslarının CO₂ hapsetme özellikleriyle geçmişten bugüne dengede kalmıştır. Ama sanayinin gelişmesiyle budenge bozulmuştur. Birkaç asırdır değışen ise insan faaliyetleri sonrasında ortaya çıkan CO₂ miktarının artmasıdır.

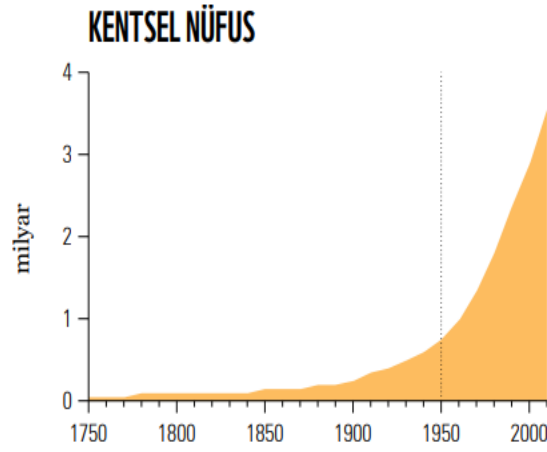
Gelecek zamanlardaki emisyon oranlarını tahmin etmek pek mümkün sayılmaz; demografik, ekonomik, teknolojik, siyasi gelişmelerle ilintilidir. Bu sözkonusu etmenler düşünülerek, birtakım senaryolar düşünülebilir. Örneğın, 2100 senesinde, emisyon denetim kanunları olmadığını varsayarsak, CO₂ emisyonları %35-160 katı daha fazla olabileceğı tahmin ediliyor. Yerkürenin yüzey sıcaklıkları 100 yıldan fazladır artmaktadır. NASA kayıtlarına göre, 2016tarihteki en sıcak yıl olmuştur. Kuzey küredeki kar örtüsü ve kutuplardaki buzlar azalmıştır. Yerküre genelinde deniz seviyesi son yüzyılda 10-20 cm düzeyinde yükselmiştir.

Sera gazı miktarının artışı, iklim değışikliğini de de hızlandırmıştır. Biliminsanları yerkürenin sıcaklık değerklerinin gelecek 50 senede 0,6-2,5⁰C, 100 senelik dönemdeyse 1,4-5,8⁰C yükseleceğini ve bunların bölgesel olarak dalgalanmalar göstereceğini ifade etmekte. Küresel ısınmayla birlikte buharlaşma artacaktır, devamında yağış miktarları artacak, toprağın içerdiki nem miktarı birçok bölgede azalma göstermekte iken, yağışlar dadaha fazla gerçekleşecektir.

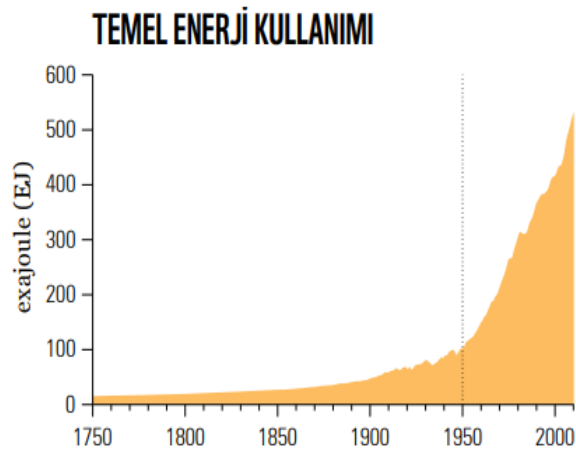
Günümüzde dünya nüfusunun yarısı kentlerde yaşıyor ve kentler, dünyadaki karbon salınımının %70’inin kaynağıdır. Artan dünya nüfusu ve artan kentsel nüfus, kent yaşamının gerektirdiğı ihtiyaçları da genişletiyor ve hem tüketimi hem de karbon ayakizini artırıyor. Aşağıdaki Şekil 3.1’de dünya nüfusu, Şekil 3.2’da kentsel nüfus, şekil 3.3’de enerji kullanımı, Şekil 3.4’de taşımacılık gösterilmiştir [1].



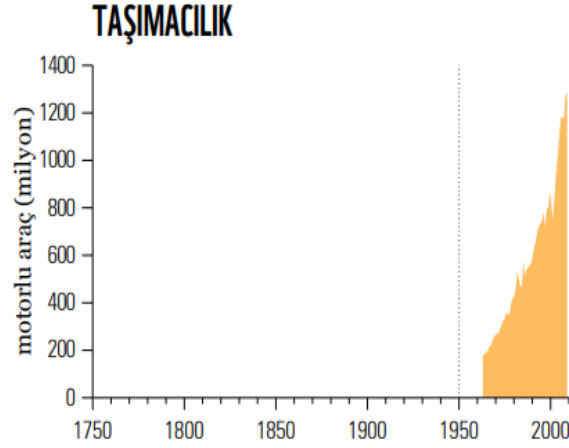
Şekil 3.1: Dünya nüfusu.



Şekil 3.2: Kentsel nüfus.



Şekil 3.3: Temel enerji kullanımı.



Şekil 3.4: Taşımacılık.

Dünya genelinde sera gazı salınımlarında ise ulaştırmanın payı yaklaşık %14'tür. Küresel ölçekte sera gazısalınımlarından ve dolayısıyla da iklim değişiklinden %14 oranında ulaştırma sorumludur.

3.1. Sera Gazlarının Çeşitleri ve Özellikleri

Yerkürenin, güneş ışınlarını uzaya geri iletmesi gerekir. Güneşten gelen ışınlar yerküreye kısa dalga boylu radyasyon biçiminde gelir. Radyasyonun bir kısmı, yerkürenin yüzeyi ve atmosfer sayesinde tekrar geri iletir. Fakat bu radyasyonun büyük kısmı, atmosferi aşarak, yerküreyi ısıtır. Dünya bu enerjiden, uzun dalga boylu, kızılötesi radyasyonla kurtulur.

Yerkürenin yüzeyi geri salınan kızılötesi radyasyonun büyük bir kısmı atmosferin barındırdığı su buharı, karbondioksit ve doğal olarak oluşan öbür “sera gazları”na emilir. Bu gazlar enerjinin, yerküreden geldiği gibi doğrudan uzaya gitmesini engeller. Birbiriyle etkileşimli birçok olay (radyasyon, hava akımları, buharlaşma, bulut ve yağmur) enerjiyi atmosferin üst kısımlarına taşır ve enerji oradan da uzaya aktarılır. Bu yavaş süreç yeryüzeyindeki canlılığın lehine bir durumdur. Çünkü yerkürenin yüzeyi enerjiyi uzaya hemen geri iletseydi, bu durumda dünyamız soğuk ve yaşanması mümkün olmayan bir gezegen olacaktı.

Sera gazlarından bazıları doğal şekilde ortaya çıkar, ama insan faaliyetlerinden direkt veya dolaylı şekilde etkilenir. Diğer sera gazlarıysa bütünüyle insan temellidir. Doğal biçimde ortaya çıkan sera gazlarının bir bölümü; su buharı (H_2O),

karbondioksit (CO₂), ozon (O₃), metan (CH₄), nitrit oksit (N₂O) dir. bütünüyle insan faaliyetleri sonucu oluşan sera gazları; kloroflorokarbon, hidrokloroflorokarbon, hidroflorokarbon ve tamamıyla florid olan kükürt hekzaflorid gazlardır. [3, 7, 8]

Bulutlar, güneş ışığını geri iletmesinin dışında, temel sera gazı bileşiklerinden bir tanesidir. Su buharı ve bulutlar atmosferdeki ana absorbe edicidir. CO₂, CH₄, N₂O, H₂O gazları birtakım biyolojik etkileşimler sonucunda üretilir veya tüketilir. H₂O gazının temel kaynağı okyanuslarda olan buharlaşmadır. Ozon, güneş tarafından oluşan tepkimelerin sonrasında üretilir. CFC gazları sentetik gazlardır ve atmosfere insanlar tarafından salınır. Ayrıca SF₆ ve CF₄ gibi perflorokarbon gazları ise asal sera gazı denilecek düzeyde etkilidir ve atmosferdeki yaşam süreleri 1000 yıldan daha fazladır. [7]

3.1.1. Su Buharı (H₂O)

Su buharı atmosferde en fazla olan sera gazıdır. Uzun yaşam süreli ya da atmosferde homojen şekilde olmamakla birlikte yerine göre %0-3 oranında değişiklik gösterir. Bununla birlikte gaz, sıvı ve katı şekilde atmosferde bulunur. İnsan temelli etkenlerin su buharı konsantrasyonuna doğrudan etki etmediği düşünülmekte; fakat atmosferde bulunan diğer sera gazlarının konsantrasyonunu arttırmasından dolayı ortaya çıkan ısıma, dolaylı şekilde suyun döngüsünü etkiler. Atmosferin ısısının artmasıyla su tutma gücünü yükseltir ve sonrasında su buharı yoğunluğunun artması bulutların ortaya çıkışına etki eder. Bulutlar güneşten gelen ışınları aynı zamanda yerküreden de yansıyan ışınları içine çeker veya geri yansımasına neden olur. Uçak motorlarından salınan ve atmosferde çizgi şeklinde bulut benzeri gözüken gaz da su buharı içerir. Uçak kaynaklı ortaya çıkan bu su kaynaklı iz şeklindeki bileşen, ışımaya etkileri açısından bulutlarla benzeşir [8].

3.1.2. Karbondioksit (CO₂)

Sera etkisine sahip gazlardan biri de CO₂'tir. Bir seranın camı gibi ısı yayan güneş ışınlarını içerisine alır; ama içerinin ısınıp geri vermez. CO₂ ve diğerleri yerküreyi sarmaktadır, bu durum olmasaydı yeryüzünün ortalama sıcaklığı -18⁰C civarında olurdu. Bu örtü nedeniyle sıcaklık +15⁰C civarındadır. Yerküre ısınıp verirken kızılötesi ışınlar yayar ve CO₂ bu ışınları tutarak, tekrar uzaya gitmesine engel olur.[5]

Yeryüzünde, karbon türlü çevrimlere dahil olur. En büyük çevrim atmosferle bitkiler arasında ve atmosferle okyanus arasındadır. Atmosferdeki karbon genellikle oksitlenmiş biçimi olan CO₂ biçimindedir. Atmosferdeki CO₂ karbon döngüsünün bileşenidir ve bu nedenle jeo-kimyasal ve biyolojik süreçlerin parçasıdır. Atmosferde var olan CO₂ yoğunluğu, sanayi devriminden önceki zamanlarda 290 ppmv iken 2000 senesinde 368 ppmv düzeyine, 2018 senesinde 410 ppmv seviyesine ulaşmıştır. [8]

Doğal şekilde CO₂ bitkiler ve okyanuslar tarafından emilir ve üretilir. Bununla birlikte odun, kömür, petrol ve doğalgazın yanması sonucunda ortaya çıkar. Karbondioksit artışındaki ana sebebin fosil yakıt kaynaklı olduğu, hem kararlı hem de radioaktif yapısındaki karbon izotoplarında azalma ve atmosferde bulunan oksijenin azalmasıyla ispatlanmaktadır. Senelik karbondioksit artması, sabit bir paratmetre olmadığından, ortalama senelik artışın son 20 senede 2 ppmv/sene civarında olduğu söylenebilir. [7]

3.1.3. Metan (CH₄)

Metan gazı, sera etkisinin oluşmasına %20 oranında etki eder. Karbondioksit ile karşılaştırıldığında, 25 kat daha fazla ısı tutar. Metan gazı doğalgazın temel bileşenidir. Pirinç ekimi, hayvancılık, madencilik, depolama işlemleri ve doğalgaz elde etme gibi insan kaynaklı çalışmalarla son 100 senede artma göstermiştir. Bu faaliyetler temelli salınımlar, atmosferde var olan metan yoğunluğunun artmasında rol oynamaktadır. Dünya genelinde ısı artışı anaerobik çürümenin hızlanmasına da neden olmuş, CO₂ gibi metanın da yoğunluğunu arttırmıştır. [5, 7]

Genel şekilde metan, biyolojik süreçlerde organik maddelerin anaerobik parçalanmasıyla ortaya çıkar. Atmosferde var olan metan yoğunluğu sanayi devriminden bugüne kadar %160 artmıştır. Atmosfere katılan CH₄ miktarının yarısından fazlasının insan temelli nedenlerle olduğu bilinmektedir. Metan, atmosfer içerisinde hidroksil ile tepkimeye girerek CO₂ 'e dönüşür. [8]

3.1.4. Diazot Monoksit (N₂O)

Diazot monoksit, azot oksitleri içinde en önemlisidir. Sera etkisinin %16'sının bu gaz temelli olduğu tahmin edilmektedir. Diazotmonoksitin insan faaliyetleriyle üretilmesindeki en yüksek oran, tarım arazilerinde sentetik ve doğal gübre kullanılması ve bilhassa ulaştırma nedeniyle fosil yakıtlar, nitrik asit üretimi, atık suların arıtımı, atıkların yakılması ve biyokütlelerin yakılmasıyla oluşmaktadır. Atmosfer içinde bulunan N₂O yoğunluğu 1700'den bugüne %20 artmıştır. Stratosferde güneş ışının fotolitik hareketi sonrasında N₂O atmosferde azalır[5].

3.1.5. Ozon (O₃)

Oksijenin bir başka şekli ozondur. Troposferin soğuk bölümlerindeki O₃, doğal şekillerde seyrek bulunur. Ana ozon miktarı stratosferde bulunur. Yüksek enerjili ultraviyole ışıklarının bombardımanı ile oksijen molekülleriyle parçalanır ve ortaya çıkan serbest oksijen atomlarının bir kısmının O₂ ile birleşerek ortaya O₃ çıkmasına neden olur. Bu şekilde ortaya çıkan ozonun, oksijende olmayan bazı özellikleri vardır. Ozon ultraviyole ışınlarını absorbe etme özelliğindedir. Stratosferden ilerlerken bu zararlı ışınlar tutulacağından alt tabakalardaki yani troposferdeki oksijen parçalanmaz. Ama, ozonun bir kısmı atmosferin alt seviyelerine bir başka deyişle troposfere doğal biçimde geçer. Bu kısımda ozonu oluşturan ve yokeden kimyasal süreçler gerçekleşir. Bu troposferdeki ozon seviyesi 19.yüzyıldan itibaren, içerisinde karbon ve azot bulunduran kirletici moleküllerin güneş ışığıyla tepkimesi sonrasında ortaya çıkan ek ozonun da dahil olmasıyla yükselmiştir. [5, 7]

Ayrıca sera gazı olan troposferdeki ozon, direk ısımaya etkisi açısından sanayi devriminden bugüne artarak, CO₂ ve CH₄ gazlarından sonra üçüncü sıraya geçmiştir. Troposferdeki ozon, uçucu organik bileşiklerin güneş ışığı etkisi altında nitrojen oksitlere karışmasıyla oluşmaktadır.[8]

3.1.6. Halokarbonlar, Perflorokarbonlar ve Kükürt Heksaflorid (SF₆)

Halokarbonlar, ısımaya direkt ve dolaylı tesir eden insan kaynaklı faaliyetlerinin sonucunda ortaya çıkan kimyasaldır. Klor ve brom içeren halokarbonlar, stratosferde

olan ve faydalı ozonun azalmasına sebep olduğundan, Montreal Anlaşması'nda ozonzararlı maddelerden biri olarak bul edilmiştir. CFC ve HCFC gazları küresel ısınmaya sebep olan gazlar içermesinin yanı sıra, bir bakımdan da stratosferdeki ozonu azalttığından, ısımaya olan zorlayıcı etkileri azaltır. Çünkü ozon yerküreyi güneşten yayılan ultraviyole ışınlarından korumasıyla ayrıca önemi olan sera gazıdır. Hidro florokarbonlar, perflorokarbonlar ve kükürthekzaflorid ozon etkisini azaltıcı bileşikler olmadıklarından dolayı Montreal Protokolü'ne dahil edilmemiştir. Hidro florokarbonlar ozonun incelmesine etki eden bileşiklerin yerine kullanılabilir ve günümüzde ısıma zorlayıcı etkileri fazla değildir. Ama genel olarak sera gazı özelliği olan maddelere katkı verir. PFC, SF₆, alüminyum ergime, yarı iletkenlerin imalatı, elektrik güç aktarımı ve dağıtımı, magnezyum dökümü benzeri sanayi süreçlerinde ortaya çıkar. PFC ve SF₆ gazları ısımaya zorlayıcı etkileri fazla olmamakla birlikte, hızla büyüme özelliği ve çok uzun atmosfer ömürleri olması ve kızılötesi ışınları tutma özelliği nedenleriyle ilerleyen zamanlarda iklime etkileri açısından ciddi potansiyeli vardır. [8]

3.1.7. Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit, CH₄ ve troposfer ozonunun, atmosfer bileşikleriyle kimyasal tepkimeye girmesine yardımcı olduğundan, CH₄ ve troposferde bulunan ozonunun yoğunluğunun artışından dolayı olarak sorumludur. Karbon bulunduran yakıtlar eksik yanmasıyla ortaya karbon monoksit çıkar. Atmosferde süreçlerin sonunda CO₂ formuna geçer. CO yoğunlukları atmosferde az ömürlüdür ve homojen dağılım göstermez. [8]

3.1.8. Azot Oksitleri (NO_x)

Azot oksitlerin temel iklim değişikliğine etkileri doğrudan değil, dolaylı şekilde yani troposferde ozonun oluşmasında etkilerinin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca hava taşıtlarından salınan NO_x salımları metan yoğunluğunu düşürmektedir. NO_x salımları yıldırım sayesinde, toprak içerisindeki mikrobik faaliyetlerden, biyokütlelerin yanmasından, yakıtların yanmasından ve stratosferde N₂O indirgenmesinden oluşur. NO_x in atmosferdeki yaşam süresi kısadır ve yer yer çeşitlilik gösterir. [8]

3.1.9. Metan Dışındaki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)

NMVOC gazlarının propan, etan, bütan gibi bileşenleri vardır. Bu bileşikler, NO_x ile birlikte, troposferdeki ozonun ve diğer foto kimyasal oksitleyicilerin ortaya çıkmasında etkilidir. NMVOC yoğunluklarının atmosferdeki yaşam süresi kısadır ve yer yer çeşitlilik gösterir [8].

3.2. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)

Küresel Isınma Potansiyeli rakamları, farklı sera gazlarının sera tesirini gösterme gücünün küresel ortalamaları şeklinde ifade edilmesidir. Kullanılan hesap, referans seçilen bir gaza(CO₂) karşın, birim miktarda gazın belirli zaman içerisinde direkt ve dolaylı şekilde sera etkisi gösterme niteliği saptanmaktadır. Karbondioksit, referans gaz olarak seçilmiştir. Gaz şayet sera gazıysa direkt etkilidir. Asıl gazın, sera gazı ortaya çıkaracak biçimde tepkimeye girmesi ve diğer gazların atmosfer yaşam sürelerine etki edecek biçimde tepkimeye girmesi dolaylı sera gazı etkisi olarak kabul edilir.

IPCC'ye göre, küresel ısınma potansiyelleri $\pm\%40$ gibi belirsizliğe sahiptir. Atmosfer ömürleri belirli olmayan gazlarda bu belirsizlik değeri diğerlerine göre daha fazladır. Atmosferdeki yaşam süreleri fazla olan sera gazları (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ gibi) atmosferde daha homojen biçimde dağılmaktadır ve sonuçta dünya genelinde ortalama yoğunluklar belirlenebilir. Su buharı, karbon monoksit, troposfer ozonu, diğer çevre kirleticiler, troposferdeki aerosoller gibi atmosferdeki yaşam süresi az olan gazlar, yer yer farklılık gösterir ve bu sebeple sera etkisini saptamak zordur. GWP değerleri temel anlamda bu türde kısa ömürlü ve yer yer farklılık gösteren gazlar için kullanılmamaktadır. Çizelge 3.1'de küresel ısınma faktörleri gösterilmiştir[4].

Çizelge 3.1: Bazı gazların küresel ısınma faktörleri (GWP) ve atmosfer yaşam ömürleri (20, 100 ve 500 senelik ömürleri)

Gaz	Atmosfer Ömrü	100 senelik GWP	20 senelik GWP	500 senelik GWP
CO ₂	50-200	1	1	1
CH ₄	12±3	21	56	6.5
N ₂ O	120	310	280	170
HFC-23	264	11700	9100	9800
CF ₄	50000	6500	4400	10000
SF ₆	3200	23900	16300	34900

3.3. Türkiye’de Sektörlere Göre Emisyonlar

1990-2013 yılları arasında Türkiye’nin toplam sera gazı salınımlarında karbondioksitin payı %70’ten %80’e yükseldi. Karbondioksit kaynakları arasında en büyük artış ise, elektrik enerjisi üretimi için kullanılan fosil yakıtların yakılması sonucu gerçekleşti. Elektrik üretimi için fosil yakıt kullanımı kaynaklı CO₂ emisyonları 1990’dan bu yana %236 oranında arttı ve elektrik sektörünün toplam CO₂ emisyonlarındaki payı %22’den %31’e yükseldi. Elektrik sektöründen sonra, karbondioksit emisyonları fazla olan sektörler şunlardır:

- Ulaştırma sektörü: 1990-2013 döneminde ulaştırma kaynaklı karbondioksit emisyonları %159 oranında arttı, ulaştırmanın karbondioksit emisyonlarındaki payı %17’den %18,6’ya yükseldi.
- Sanayi sektöründe enerji kullanımı: 1990-2013 döneminde sanayi sektöründe enerji kullanımı kaynaklı karbondioksit emisyonları %84 oranında arttı.
- Endüstriyel işlemlerden kaynaklanan emisyonlar: Mineral material üretimi kaynaklı işleme emisyonları %179, metal malzeme üretimi kaynaklı işleme emisyonları %51 oranında arttı.

2013 yılı TÜİK Sera Gazı Emisyon envanterine göre Türkiye’de ulaştırma sektörü kaynaklı karbon salınımları, Türkiye’nin karbon salınımlarını % 18,6’sını oluşturuyor. Ulaştırma, elektrik üretiminden sonra en fazla karbon

salınımına sahip sektördür. Sektörler için enerji üretiminden kaynaklanan karbondioksit salınım miktarlarını aşağıdaki Şekil 3.5’de görülmektedir[14].

Enerji Üretiminden Kaynaklanan TOPLAM CO ₂ Salımları (Milyon ton)		226,84
AG	Tarım	13,69
CO	Kömür	2,57
PG	Ham Petrol ve Doğal Gaz	13,86
PE	Rafine Petrol Ürünleri	5,58
CH	Kimyasallar	3,09
CE	Çimento	16,36
IS	Demir, Çelik	8,27
PA	Kağıt San. ve Basım	0,06
FD	Gıda Ürünleri	0,01
TE	Tekstil ve Giyim	0,06
MW	Makine San.	1,16
ET	Elektronik San.	2,08
AU	Otomotiv San.	0,07
EL	Elektrik Üretimi	112,41
CN	İnşaat	0,02
TR	Ulaşım	44,45
OE	Diğer Ekonomi	3,10
Hanehalkları TOPLAM CO ₂ Salımları		50,47
Endüstriyel Prosesler TOPLAM CO ₂ Salımları		48,65
	Çimento	31,48
	Demir, Çelik	17,18
TOPLAM Sera Gaz Emisyonları (CO ₂ eşdeğeri)		85,64
	CH ₄ Enerji kaynaklı	7,47
	CH ₄ Endüstriyel Kaynaklı	11,79
	CH ₄ Tarım kaynaklı	39,80
	CH ₄ Atıklar	1,38
	N ₂ O Ulaşım kaynaklı	19,48
	F Gazları	5,72
TOPLAM CO ₂ (eşdeğeri)		411,70

Şekil 3.5: Enerji üretiminden kaynaklı salınımlar

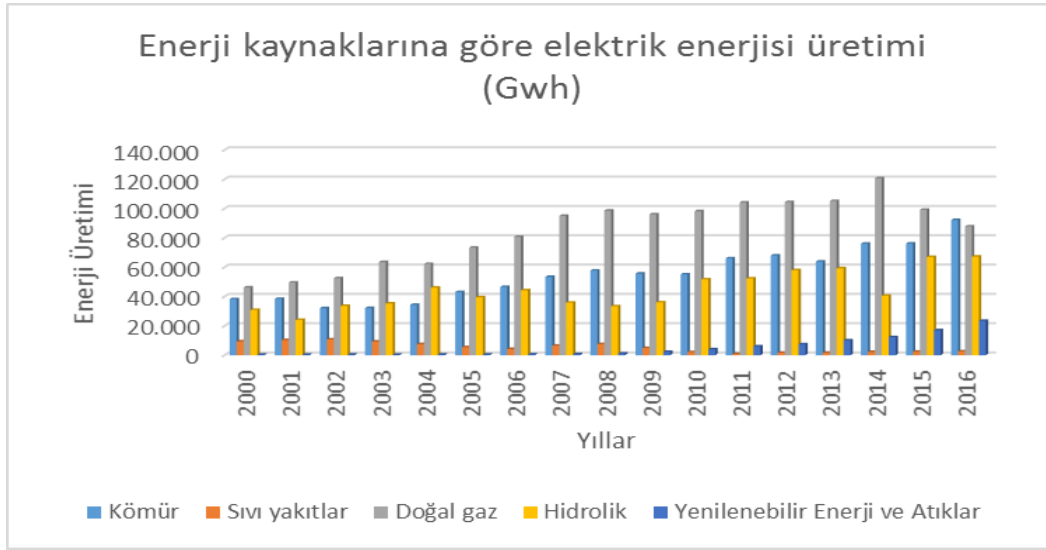
Ulaştırma sektörü 2010 atmosfere toplam 44,45 milyon ton karbondioksit salmıştır, en çok salınım yapan üçüncü sektördür. 2018’de bu miktarın daha da yükseldiği tahmin ediliyor.

Ayrıca, ulaştırma altyapısındaki değişiklikler, özel araç yerine toplu ulaşımın teşvik edilmesi ve tercih edilmesi, karayolu yerine, raylı sistem taşımacılığı

yatırımlarına ağırlık verilmesi ve denizyolu taşımacılığının desteklenmesiyle de emisyon azaltımı sağlanabilir.

3.4. Türkiye'de Enerji Kaynakları

Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde olan Türkiye'nin her yıl enerji gereksinimi de artmaktadır. Ülkemizde fosil kaynaklı enerji üretimi elektrik enerjisi üretimimizin başını çekmektedir. Şekil 3.6'da kaynaklara göre elektrik enerjisi üretiminin yıllar bazında kıyaslanması gösterilmiştir [19].

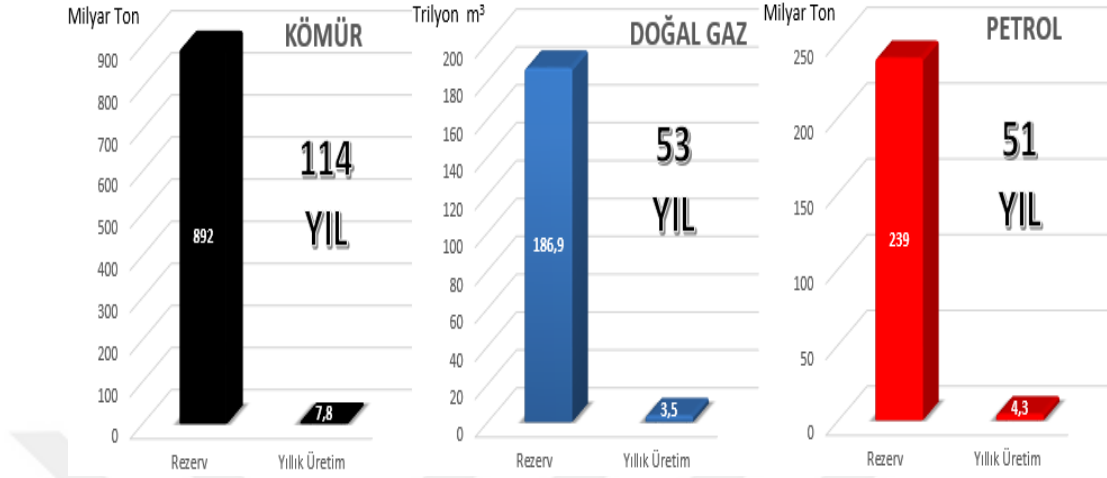


Şekil 3.6 Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi.

3.4.1. Fosil yakıt kaynaklı enerji

Sanayisi gelişmiş ülkelerin ekonomik açıdan gelişimleri fosil yakıttan sağlanan enerjiden faydalanmasıyla uyumaktadır. Günümüzde Dünya enerji ihtiyacının % 81'i kömür, petrol veya doğalgaz şeklinde fosil yakıtlardan sağlanır. Yerkürenin çeşitli bölgelerinde yoğunlaşmış bu kaynaklar çeşitli biçimlerde bulunur. İnsanlar bu kaynakları çeşitli metotlarla çıkarmayı ve enerjiye ulaşmayı öğrenmiştir. Fosil yakıtların depolanabilmesi ve taşınabilmesi ulaşım açısından avantajlı yakıt olarak tercih edilmiştir. Fosil yakıtlar; ulaşım, evlerde, sanayide, ısının üretiminde ve elektrik enerjisi üretiminde fazlasıyla tercih edilir. Ulaşım, genellikle petrol temelli ürünler kullanılır [20].

Fosil yakıt kaynakları peyince azalmış olup, bilhassa petrol ve doğal gaz rezervleri kritik düzeylere gelmiştir. Şekil 3.7’de dünya kömür, doğal gaz ve petrol kaynaklarıyla ilgili mevcut durum gösterilmiştir[19].



Şekil 3.7 Bazı fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri

Türkiye’de enerji üretiminin yaklaşık %65’i (182.711 Gwh) fosil yakıtlar (kömür, linyit, doğalgaz) kullanılarak karşılanmaktadır [19]. Bunun sonucu olarak kaynaktan oluşan kirlilik artmakta 1 kwh elektrik enerjisi üretmek için oluşan emisyonu miktarı oldukça fazla olmaktadır. Bazı termik santrallerin enerji üretimi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Bazı termik santrallerin yıllık enerji üretimi

	Yıllık Üretim Gwh
Gebze Doğalgaz Sant.	11.176
İzmir Doğalgaz Sant.	10.992
Zonguldak Kömür	13.720
Sugözü Termik Sant.	1.434
Tüpraş Kocaeli Sant.	1.122

3.4.2. Nükleer enerji

İçinde bulunduğumuz asıra "atom çağı" damgasını vuran Nükleer Güç Santralleri (NGS), elektriğin üretilmesinde temiz ve güvenilir bir teknoloji olmasına rağmen, bir çok ülkede kamuoyu baskılarına neden olmaktadır. NGS'lere karşı kamuoyu tepkilerinin sebepleri incelendiğinde, olumsuz görüşlerin temelinde korku olduğu

görülmektedir. İnsanlar nükleer gücün barışçıl gayelerle kullanacağına şüpheyle yaklaşmaktadır. Bu da insanların nükleer gücü atom bombasıyla tanımış olmasından ileri gelmektedir. İnsanlığın enerji problemlerini nükleer enerji sayesinde çözebileceğini düşünen insanlar da vardır. Çünkü 1 gram U235 izotopu, 2.5 ton kömürün verdiği enerjiyi sağlar [20].

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın kaynaklarına göre 32 ülkede 451 adet nükleer reaktör çalışmaktadır. Dünya genelinde elektrik %11 oranında nükleer enerjiden elde edilir. 98 santral ile dünyanın en çok nükleer santralini bulunduran ABD, 2015 senesinde ürettiği elektriğin %20 sini nükleer enerjiyle elde etmiştir. 35 nükleer santralin aktif olarak çalıştığı, 6 santralin ise yapım aşamasında olduğu Rusya elektrik üretiminin %19'unu, 25 santrali olan Güney Kore %32'sini, 58 nükleer santralin aktif olduğu Fransa ise %75'ini nükleer enerjiden karşılar. 37 nükleer santrali olan Çin, gelecek senelerde elektrik talebini karşılayabilmek adına 22 adet nükleer santral yapımına başlamıştır [19].

Bu enerji türündeki temel problem, radyoaktif atıkların yok edilmesiyle ilgilidir. Enerji üretim ömürleri, 30-35 seneye sınırlı nükleer santrallerin, bu sürenin sonrasında ne olacakları önemli bir problemdir. Nükleer atıklarla dolu olan santrallerin çevresi, çalışmaömrünü tamamlayan reaktörler ve diğer radyoaktif atıklar radyoaktif kirlilik kaynağıdır. Günümüzde İngiltere ve Almanya, nükleer santral çöplüklerini yok edebilme konusunda önemli bir çıkmazda olan iki ülkedir.

Yapılması planlanan nükleer santralle 2020 senesinde enerji ihtiyacımızın %10 oranında nükleer enerjiden sağlanması düşünülmektedir [19].

Yapılması planlanan nükleer enerji santrallerinin senelik enerji üretimleri Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 :Yapımı planlanan nükleer santraller ve enerji üretimleri

	Senelik Üretim Gwh
Akkuyu Nükleer	35.000
Sinop Nükleer	32.000
İğneada Nükleer	31.500

3.4.3. Hidro enerji

Hidroenerji, suyun durağan enerjisinin hareket enerjisine dönüştürülmesi sonucunda üretilen bir enerji çeşitidir. Çevreye olumsuz tesirlerinin fazla olmaması, çevrenin kirlenmesine sebebiyet vermemesi, işletme ve bakım maliyetlerinin pek fazla olmaması gibi nedenlerle hidroelektrik enerjisi, zaman içerisinde önemini arttırmıştır. Genellikle hidro enerjide, akarsulara barajlar yapılarak, sudaki potansiyel enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesiyle enerji elde edilir. Hidrolik enerji Amerika Birleşik Devletlerinin enerji ihtiyacının %10'nu karşılar. Ülkemizde üretilen enerjide hidro enerjinin payı gün geçtikçe düşmektedir. 1990 senesinde ülkemizde hidrolik enerjinin payı %35 düzeylerindeyken, 2001 senesinde bu oran %20 düzeylerine gerilemiştir. Şu andaki payı ise %25'tir (67.268 GWh). Termik santrallerden elde edilen enerjinin artması nedeniyle hidro enerjinin payı düşmüştür. Hidro enerji, termik santrallere kıyasla çevresel açıdan daha uygundur[21].

Bazı hidroelektrik santrallerinin senelik enerji üretimleri Çizelge 3.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4 : Bazı HES ve senelik enerji üretimleri

	Yıllık Üretim Gwh
Atatürk Barajı	6.952
Karakaya Barajı	6.720
Keban Barajı	5.852
Deriner Barajı	1.434
Beyhan Barajı	1.101

3.4.5. Güneş enerjisi

Sürdürülebilir ve bitmeyen bir kaynak olması nedeniyle güneş, gelecekte dünyadaki enerji ihtiyacını çözebilecek kapasitedir. Çevreye zararı olmaması, ilk maliyetten sonra pek fazla yatırım gerektirmeyen, elektrik enerjisi şeklinde de evlerde iklimlendirme olarak kullanılabilmesi açısından büyük potansiyel içermektedir. Güneş enerjisinden direk veya çeşitli yollardan elektrik elde edilebilir. İnsanların güneş enerjisinden yararlanması yerkürede homojen bir dağılım göstermemektedir. Türkiye'nin sahip olduğu coğrafi özellikler güneş enerjisini kullanmaya uygun olmasına rağmen yeterli seviyede yaygın olduğu söylenemez. Çoğunlukla seracılıkta ve sıcak su elde etmede kullanılan güneş enerjisi, bilhassa elektrik üretiminde çok daha büyük potansiyele sahiptir.[25].

Ülkemizde senelik enerji üretiminin %0,36'sı (972 GWh) güneş enerjisinden karşılanmaktadır [26]. Aşağıda güneş enerjisi santrallerinin senelik enerji üretimleri Çizelge 3.5'te belirtilmiştir

Çizelge 3.5 : Bazı GES ve yıllık enerji üretimleri

	Yıllık Üretim Gwh
Kayseri OSB GES	73
Konya Karatay GES	26
Derinkuyu GES	25
Makascı GES	18
Solentegre GES	16

3.4.6. Rüzgar enerjisi

Sürekli ve çevreyle dost olan bir kaynak olan rüzgar, yerkürede oldukça fazla miktarda olmasına karşın homojen bir dağılım göstermemektedir. Rüzgar enerjisi günümüzde elverişli koşullarda, alışılmış üretime katkı verebileceksürekli ve çevreyle uyumlu bir kaynaktır. Yerkürenin güneş tarafından farklı farklı ısınmasından dolayı basınç ve sıcaklık farkları meydana gelmekte, bu da rüzgarın oluşmasına neden olmaktadır. Bu bakımdan coğrafyaların ve ülkelerin rüzgar enerjisinden yararlanması dünya üzerinde

homojen olmayan bir dağılım göstermektedir. Rüzgar türbinleri sayesinde, elde edilen mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek rüzgardan faydalanılmış olunur. Rüzgar türbinleri, çevre dostu bir kaynak olmasına karşın kuş ölümlerine ve gürültüye neden olmaktadır[21].

Türkiyede senelik enerji üretiminin %5,67'si (15.492GWh) rüzgar enerjisinden elde edilir [19]. Aşağıda rüzgar enerjisi santrallerinin senelik enerji üretimleri Çizelge 3.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.6 : Bazı RES ve yıllık enerji üretimleri

Yıllık Üretim Gwh	
Soma RES	487
Balıkesir RES	407
Gökçedağ RES	389
Geycek RES	312
Dinar RES	196

3.4.7. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerkürenin içindeki ısının yeraltı sularını ısıtması sonrasında ısınan suyun yeryüzüne gelmesiyle ortaya çıkan enerji çeşididir. Bu enerji çoğunlukla ısı enerjisi şeklinde kullanılır. Buna karşın endüstri için diğer enerji kaynaklarına göre maliyeti epeyce ucuzdur. Amerika Birleşik Devletlerinde evlerde ısınma maksadıyla 1891 senesinde ilk defa kullanılmıştır. 1904 senesinde ise İtalya'da jeotermal enerjiden elektrik elde edilmiştir. 1969 senesinde Fransa'da daha büyük kentlerin jeotermalle ısıtılması sağlanmıştır. Ülkemizde ısınma maksadıyla amacıyla ilk kez 1964 senesinde Balıkesir'de bir otel tarafından kullanılmıştır. [21].

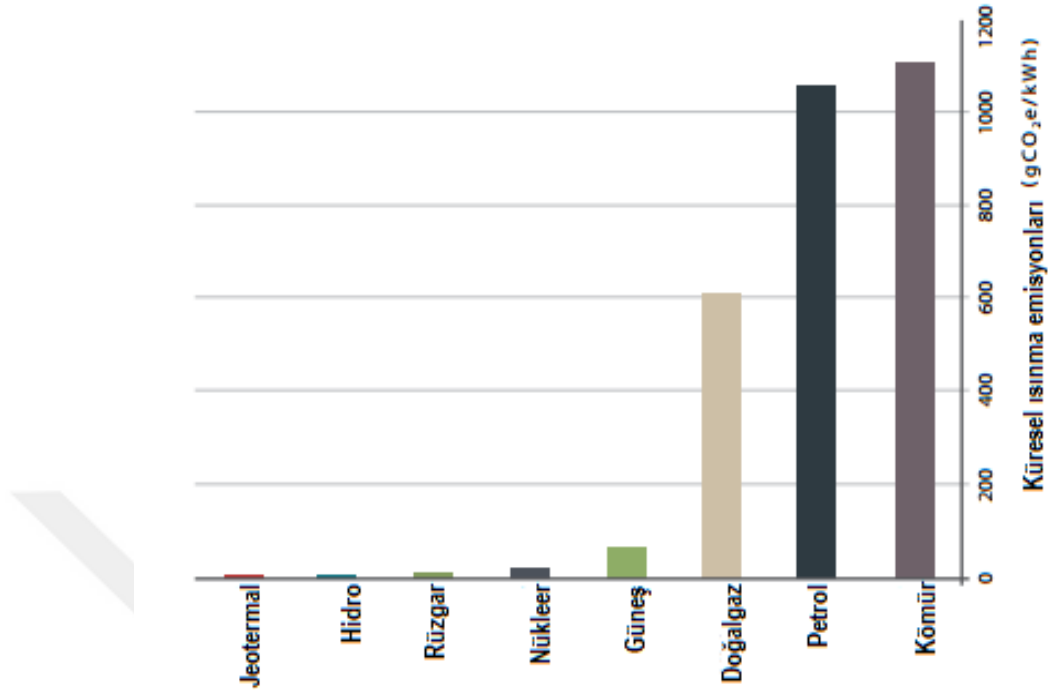
Türkiye'nin senelik enerji üretiminin %1,74'i (4.767GWh) jeotermal enerjiden elde edilir [26]. Bazı jeotermal enerji santrallerinin senelik enerji üretimleri Çizelge 3.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.7 :Bazı jeotermal santraller ve yıllık enerji üretimleri.

Yıllık Üretim Gwh	
Kızıldere 3 JES	750
Efeler JES	609
Kızıldere 2 JES	463
Germencik JES	316
Pamukören JES	245

3.5. Elektrik Üretiminden Kaynaklanan Emisyonlar

Elektrik enerjisinden kaynaklı emisyonlar elektrik enerjinin nasıl üretildiği ile doğrudan bağlantılıdır ve ülkeden ülkeye büyük değişiklikler göstermektedir. Örneğin linyit ve taşkömürü kullanılıyorsa kWh başına CO₂ emisyonu bu maddelerin yüksek karbon içerikleri nedeniyle yüksek, gaz yakıtlı güç santralleri için düşük, yenilenebilir enerjilerin çoğunda sıfırdır. CO₂ emisyonu aynı zamanda elektrik üretiminin tipine de bağlıdır. Yeni güç santrallerinde eskilere nazaran yüksek bir verim elde edilmektedir. Farklı güç üretim sistemlerinin CO₂ emisyonları Şekil 3.8’de gösterilmiştir [22].



Şekil 3.8 : Elektrik üretiminden kaynaklanan kWh başına CO₂ emisyonu

Türkiye’de mevcut elektrik üretim şartları ile beraber incelendiğinde, 2012 yılında arazi kullanımı dahil oluşan toplam CO₂ emisyonu eşdeğeri 380 Milyon tondur ve 2012 yılı emisyonları incelendiğinde, CO₂ eşdeğeri en yüksek oranı %70,2 ile (266,79 Milyon ton) enerji kaynaklı emisyonlar almaktadır. Şekil 3.9’da yıllara göre değişen emisyon değerleri verilmiştir. Açığa çıkan CO₂ emisyonunun %39’u (104,05 Milyon Ton) elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır [23].

Sector	2009	2010	2011	2012
Total (excluding LULUCF)	371.15	403.49	424.09	439.87
Energy	279.01	285.14	301.34	308.60
Industrial processes	33.16	55.67	58.61	62.77
Solvent and other product use	0	0	0	0
Agriculture	26.10	27.13	28.83	32.28
Waste	32.88	35.56	35.31	36.22
Compared to 1990 % (excluding LULUCF)	196.96	214.13	225.06	233.44
Land use, land-use change and forestry	-56.35	-57.85	-60.83	-59.82

Şekil 3.9 : Sektörlere göre sera gazı emisyonları.

Şekil 3.10’de yıllara göre enerji üretimleri verilmiştir ve 2012 yılı için üretilen toplam elektrik enerji miktarı 239.497 Gwhdır. Bu üretimin %73’ü fosil kaynaklardan, %24’ü hidrolik kaynaklardan elde edilmiştir [23].

Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları

Electricity generation and shares by energy resources

Yıl	Toplam	Kömür	Sıvı yakıtlar	Doğal gaz	Hidrolik	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar ⁽¹⁾
Year	Total	Coal	Liquid fuels	Natural Gas	Hydro	Renewable Energy and wastes
	(GWh)			(%)		
2008	198.418	57.740	7.540	98.614	33.334	1.191
2009	194.813	55.717	4.870	96.043	36.040	2.338
2010	211.208	55.125	2.112	98.212	51.746	4.013
2011	229.395	66.066	918	104.145	52.302	5.964
2012	239.497	68.017	1.676	104.421	57.958	7.424
2013	240.154	63.881	1.681	105.187	59.318	10.086
2014	251.963	76.093	2.268	120.690	40.566	12.346
2015	261.783	76.179	2.356	99.216	67.016	17.016

Kaynak: TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri

(1) Jeotermal, rüzgar, katı biyokütle, güneş, biogaz ve atık kaynaklarını içerir.

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Şekil 3.10 : Yıllara göre enerji üretimleri

Yukarıda bahsedilen verilere göre 2012 yılı için 1 kWh elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında ortaya çıkan CO₂ eşdeğeri =104/239≈0,4344 kg/kWh’dir.2016 yılı itibari ile fosil kaynakların kullanımı %67’dir. Fosil kaynak kullanımının azaldığı bunun yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttığı görülmektedir. Bundan dolayı 1 kWh elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında ortaya çıkan CO₂ eşdeğerinin de bir miktar azalttığı düşünülmektedir.

2015 yılı verileri ile 1 kWh elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında ortaya çıkan CO₂ eşdeğeri 0,421 kg/kWh olduğu söylenebilir. Çizelge 3.8’de benzer hesap yöntemi ile bazı gazlara ait emisyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.8 :2015 yılı kwh saat başına emisyon (gr/kwh)

	Emisyon
CO ₂	421
CO	1,97
NO _x	4,40

İlerleyen yıllarda fosil kaynak kullanım oranının daha da düşmesi ile kWh başına türetilen emisyonlar da azalacaktır. AB’de kWh elektrik üretimi başına CO₂ emisyonlarının ortalaması için geniş bir bölge mevcuttur. AB’de elektrik üretim sektörünün ortalama CO₂ emisyonları ülkeler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. 25 Avrupa ülkesinde yapılan ölçümlerde elektrik üretiminden kaynaklanan ortalama seragazı emisyonu 380 gr CO₂/kWh olarak ölçülmüştür. Emisyonlar; linyit ve taşkömürü kullanan ülkelerde daha yüksek, gazın çok kullanıldığı, nükleer güç üretimi ve hidro enerjinin olduğu ülkelerde daha düşüktür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artmasıyla CO₂ emisyonlarının önemli derecede azalması beklenmekte olup, 2030 yılı için tahmin edilen ortalama değer 130 gr CO₂/kWh’dır [22].



4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİ AZALTMA STRATEJİLERİNE ÖRNEKLER

Sera gazı salınımlarının %13ünü ulaşım sektörü oluşturur. Ulaşım sektöründe kullanılan enerjinin tamamına yakını petrol kaynaklıdır. Bireysel ve toplumsal çabalar/çözümler bulunamazsa 2030 yılında sera gazı salınımları bugünkünden %80 fazla olacaktır [16]. Modern yaşamla birlikte ulaşım isteği ve talebi artmıştır, karbon verimliliği düşük araçlar tercih edilmiştir. Modernleşen toplumun bireyleri yürümek yerine önce otobüsleri ve trenleri, sonra kişisel araçları daha sonra da uçakları tercih etmektedir. Önümüzdeki on yıllarda tahmin edilen artışın çoğunluğu gelişmesini henüz tamamlamamış gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanacaktır. Bu öngörülen salınımları engellemek için düşük karbon teknolojilerini, verimliliği yüksek araçları, alternatif enerji çeşitlerini, seyahat ve diğer yöntemleri geliştirmemiz gerekmektedir.

Atmosfere zarar vermeden akaryakıt elde etmenin bir yolu, karbonsuz biyokütleyi besin gibi kullanan yeşil yakıtlar üretmektir. Biyoetanol ve biyodizel günümüzde kullanılan biyoyakıtlardır. Biyoetanol nişasta içeren tarım ürünlerinden elde edilebilmektedir. Nişastalı tarım ürünlerinde ek bir kimyasal işlem gerekmektedir. Nişastaya maya katılır ve ortaya çıkan karışım fermente edilir. Biyodizel kolza, hurma ve ayçiçeği gibi ürünlerden elde edilir.

Bu tür yakıtlar arka planda bazı tehlikeleri içermektedir. Tarım arazilerinin yakıt tüketimi için kullanılması, gıda maddelerinin fiyatlarını arttıracak ve bu da yoksul kesimin gıdaya erişimini kısıtlayacaktır. Birleşmiş milletler gıda ve tarım örgütü 2007 Haziran sayısındaki raporda biyoyakıta dönüştürülecek, tarım ürünlerinin fiyatlarının oldukça yükselebileceğini söylemiştir. Gelişmekte olan ülkelerin ithal gıda fiyatlarının 2000 yılından bu yana %90 gibi bir artış gösterdiğini yazmıştır.

Ayrıca tarım ürünlerinin yetiştirilmesinde kullanılan azotlu gübreler, toprağın azot oksit yaymasına neden olur. Bununla birlikte toprağı işleyip ürünleri işlemek de enerji gerektirir. Dolayısıyla biyoyakıtları eski fosil yakıtların sera gazı salınımlarını engellemek için alternatif görmek uzun vadede ciddi problemlere neden olacaktır.

Birçok araştırmacı tahıl ürünlerinden elde edilen biyoetanol için yaşam döngüsü analizleri yapmaya çalışmıştır. Kalifornia üniversitesinden bir araştırma grubu bir çok araştırma yapıp, mısırdan elde edilen biyoetanolün petrolden %36 daha az sera gazı salınımı ile % 29 daha fazla sera gazı salınımını arasında bir yerde olduğunu söylemişlerdir [17].

Öte yandan Avrupa Birliği ülkeleri 2020 yılına kadar ulaşımda kullanılan yakıtın yüzde 10'unun biyoyakıtlardan elde edilmesini amaçlıyor. Yeterli tarım arazisine sahip olmayan Avrupa ülkeleri biyoyakıtı ithal etmek zorundadır. Bu durumda ithalat için gelişmemiş ülkelerin tarım arazileri kullanılmakta, bu da tarım ürünlerinin fiyatlarının artmasına neden olmaktadır. Malezya ve Endonezya gibi geniş yağmur ormanlarına sahip ülkelerde geniş arazilerin hurma ekosistemine dönüşmesine ve ekosistemde canlılığın tekdüzeleşmesine neden olmaktadır.

'Action Aid' örgütü biyoyakıtların daha küçük ve sürdürülebilir boyutlarda üretilmesini ve enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen tedbirlerin hayata geçirilmesini savunuyor. Gıda ile rekabet problemini çözmenin en iyi yolu bitkilerdeki selülozu kullanmanın yolunu bulmak olacaktır. Şeker biriktirebilen selülozdan biyoyakıt elde edilmeyi sağlarsak, bitki sapları, sert yabani otlar, gıda olarak tüketilmeyen bitkiler bu amaçla kullanılabilir. Aşağıdaki Şekil 4.1 de biyodizel döngüsü gösterilmiştir[14].



Şekil 4.1 : Biyodizel döngüsü.

4.1 Ulaşım Türlerinde CO₂ Salımını Azaltma Çalışmalarının İncelenmesi

4.1.1.Havayolu

Havacılık her yıl 700 milyon ton karbondioksit'e neden olmaktadır. Bu da küresel sera gazı salınımlarının %1,6'sıdır. Bununla birlikte asıl önemli olan yüksek irtifada açığa çıkarılan azot oksitinin yanı sıra, jet motorlarından çıkan ve sirüs bulutunu oluşturabilen yoğunlaşma izindeki su olup, karbondioksitin doğrudan etkisini yaklaşık üç kat artırır.

Ayrıca uçakların toplam sera gazı yüküne bu kadar az katkıda bulunmasının bir nedeni, bunları kullanmayan insan nüfusunun olmasıdır. Londra'dan New York'a bir uçak yolculuğu yolcu başına 1,5 ton gibi büyük miktarda karbondioksit üretir. Bu ortalama bir Hindistanlı'nın tüm bir yıl boyunca saldıgı karbondioksit miktarına eşittir.

Hava taşıtlarını diğer ulaşım taşıtlarına göre ayıran bir neden de fosil yakıtlara alternatif olacak teknolojiye ulaşamamaktır. Hidrojen uçak yakıtlarında kullanılırsa sıvı olarak taşınması gerekecek, bu durumda uçakların bugün kullandığı kerosenden çok daha ağır olacaktır. Ayrıca hidrojenin yakılmasıyla açığa çıkan su havada daha çok sirüs bulutunun oluşmasına, bu da dünyanın daha çok ısınmasına neden olacaktır.

Biyoyakıt olarak etanol ağırlıklı olarak düşünüldüğünde, daha fazla enerji üretir, ama yakıt tanklarının çok daha büyük olmasına neden olur. Alternatif olarak daha fazla karbon atomu bulunduran butanol ağırlığına göre daha fazla enerji üretir. Bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

Biyoyakıtların önümüzdeki otuz sene boyunca jet yakıtının yerini alması mümkün görünmüyor. Bundan dolayı bu aşamada, hava taşıtlarının çevresel etkilerini azaltmaya yönelik çabaların büyük bölümü, bu araçlardaki yakıt verimliliğini artırmaya dayanmakta. Uçuş maliyetlerinin büyük bölümünü jet yakıtı oluşturduğundan hava yolu şirketleri enerji verimliliği adına çalışmalar yapmaktadır. Günümüz uçakları kırk yıl önceye göre yaklaşık %70 daha verimlidir.

Yolcu sayısındaki artış gelecek yıllarda havayolu kaynaklı salımları arttıracak ve 2030 yılına gelindiğinde bugünkünün 2.5 katına çıkacak [18]. Bu nedenlerden dolayı

yeni ve tamamen yeşil bir jet yakıtı ortaya çıkana kadar, çözüm mümkün olduğunca özellikle kısa mesafelerde tren kullanmaktır.

4.1.2.Demiryolu

Diğer ulaşım türlerine kıyasla standart fosil yakıtlar kullanıldığında bile daha karbon dostudur. Demiryolu araçları doğru ücret planlamasıyla ve tarifeler sayesinde kısa yolculuklar için de kullanılabilir. Örneğin, İngiltere’de nüfusun yüzde 60’ı tren istasyonuna 15 dakikalık bisiklet mesafesindedir.

Bununla birlikte demiryolu taşıtlarında biyodizel gibi düşük karbonlu yakıtlar kullanmak ya da elektriği kullanmak karbon salımlarını oldukça azaltır. Fransa’da yüzde 80’i nükleer enerjiden elde edilen elektrikle çalışan TGV treni, oldukça az karbon salımı yapmaktadır.

Trenler uçaklarla rekabetinde, bilet sistemi konusunda planlamayla ve hızlı tren ağlarının genişletilmesiyle rekabet edebilir.

4.1.3 .Karayolu

Ulaşım kaynaklı salımların %75’i karayolu taşıtlarından kaynaklanmaktadır. Eğer önlem alınmazsa 2030 yılına gelindiğinde, bir milyardan fazla karayolu taşıtı olacak. Önlem konusunda şu anda en etki olan çözüm hibrit araçlardır. Mevcut hibrit araçlar, benzinle çalışan içten yanmalı motoru, elektrik motoru ve bataryasıyla birleştirir. Motor çalışırken ve özellikle frenleme sırasında bataryanın tekrar doldurulması gerekir. Hibrit araçlar yakıt verimliliğini yüzde 50 oranında arttırmakla birlikte sera gazı salımlarını da aynı oranda azaltır. Trafik sıkışıklığının yaşandığı şehirlerde, frenlemeyle birlikte batarya daha fazla doldurulabilir.

Sera gazı salımları açısından, doğrudan elektrik şebekesinden enerji alan, tamamen elektrikli araçları kullanmak daha makuldür.

Ayrıca otomobillerdeki yakıt verimliliğini arttırmak adına hafif malzeme kullanıp, motor verimliliğini arttıran tasarımlar salımların azaltılmasına yardımcı olacaktır. Burda tüketici tercihleri de önem kazanmaktadır. İnsanlar daha büyük daha güçlü

araçlara yöneldikçe üreticiler de bu talepleri karşılamak adına daha fazla güç harcayan büyük araçlar üreteceklerdir.

Otomobil kullanma biçimleri de yakıt tasarrufu ve enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Yumuşak yavaşlama, motor devrinin düşük tutulması, azami hızın azaltılması ve lastiklerin optimum şişirilmesi, yüzde 20 ye yakın yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bunlarla birlikte kısa mesafeli yolculuklarda karbon salımı az olan ulaşım türleri tercih edilmelidir. Otomobiller fazla enerji tüketir ve her kilometrede yolcu başına oranla diğer herhangi bir kara taşıtından daha fazla sera gazı salımı yapar. Otomobil sayısının azaltılması ayrıca daha güvenli yollar, sıkışık trafiğin olmadığı caddeler ve hava kirliliğinin daha az olduğu bir dünya sağlar.



5. İSTANBULDA FARKLI SENARYOLAR İÇİN CO₂ EMİSYON SALIMLARININ İNCELENMESİ

İklim değişimine sebep olan sera gazlarındaki artış birçok faktöre bağlıdır. Sera gazlarını oluşturan gazlar oldukça çeşitlidir. Fakat oran ve kalıcılık süresi olarak en etkili olanı CO₂ olduğu için tezde sayısal incelemelerde karbon salımı üzerinde durulmuştur.

Aşağıdaki hesaplamalartam kapasitenin kullanıldığı araç yolcu doluluk değeri kabul edilerek hesaplanmıştır. Aslında doluluk oranları koridorlar ve saatler bazında değişmektedir. Fakat bu parametreler dikkate alınmadan tüm modlarda tam doluluk sağlanması durumu için inceleme yapılmıştır. Böylece bir türün avantaj sağlamasının önüne geçilmiştir.

Ülkemizde TÜİK'in verilerine göre araçlarda yakıt kullanım oranları bellidir ve önemli miktarda LPG kullanımı sözkonusudur. Ancak tezde birçok ulaşım modu incelediği ve LPG sadece binek araçlarda kullanıldığı için, burada değerlendirmeye alınmamıştır. Bu kabullere göre;

Körüksüz otobüste 100 yolcunun seyahat ettiği, körüklü otobüste 165 yolcunun, minibüste 20 yolcunun,metroda 936 yolcunun, tramvayda 272 yolcunun, deniz otobüsünde 450 yolcunun, vapurda750 yolcunun, deniz motorunda 100 yolcunun seyahat ettiği kabul edilmiştir[23].

İstanbul için toplu taşıma araçları şehiriçiCO₂ emisyonları, birim kmde harcanan yakıtın, yakıt tipine göre değişim gösterenCO₂ dönüşüm faktörü ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.

Körüksüz otobüsüiçin km başına yakıt tüketim 0,4litre olduğundan, bu değerin dizel yakıtlara aitolan CO₂dönüşüm faktörü 2630gram/litre ile çarpılmasıyla körüksüz otobüslerden birim km başına salınanCO₂ (gram) miktarı elde edilir.

$$0,4 \text{ litre /kilometre} \times 2630 \text{ gram/litre} = 1052 \text{ gram/kilometre}$$

Bu değerin körüksüz otobüsler için yolcu doluluk oranına bölünmesiyle seyahat eden yolcu başınaCO₂ emisyonu bulunur.

$$1052 \text{ gram/kilometre} / 100 = 10,5 \text{ gram/kilometre}$$

Körüklü otobüslerden birim kilometre başına salınan CO₂ miktarı:

$$0,6 \text{ litre/kilometre} \times 2630 \text{ gram/litre} = 1578 \text{ gram/kilometre, seyahat eden yolcu}$$

$$\text{başınaCO}_2 \text{ emisyon } 1578 \text{ gram/kilometre} / 165 = 9,6 \text{ gram/kilometre}$$

Ortalama otobüslerden birim kilometre başına salınan CO₂ miktarı:

$10,5 \text{ gram/kilometre} \times \% 82 \text{ (körüksüz)} + 9,6 \text{ gram/kilometre} \times \% 18 \text{ (körüklü)} = 10,3 \text{ gram/kilometre}$

Minibüsler için birim kilometre başına salınan CO₂ miktarı:

$0,135 \text{ litre/kilometre} \times 2630 \text{ gram/litre} = 355,1 \text{ gram/kilometre}$, seyahat eden yolcu başına CO₂ emisyonu $355,1 \text{ gram/kilometre} / 20 = 17,8 \text{ gram/kilometre}$

Metrolar için birim kilometre başına salınan CO₂ miktarı:

$3,7 \text{ kwh/km} \times 530 \text{ g/kWh} = 1961 \text{ gram/kilometre}$, seyahat eden yolcu başına CO₂ emisyonu $1961 \text{ gram/kilometre} / 936 = 2,1 \text{ gram/kilometre}$

Tramvaylardan birim km başına salınan CO₂ miktarı:

$2.098 \text{ kwh/km} \times 530 \text{ g/kWh} = 1111,9 \text{ gram/kilometre}$, seyahat eden yolcu başına CO₂ emisyonu $1111,9 \text{ gram/kilometre} / 272 = 4,1 \text{ gram/kilometre}$

Deniz otobüsleri için km başına salınan CO₂ miktarı:

$7,94 \text{ lt/km} \times 2630 \text{ g/kWh} = 20882,2 \text{ gram/kilometre}$, seyahat eden yolcu başına CO₂ emisyonu $20882,2 \text{ g/km} / 449 = 46,5 \text{ gram/kilometre}$

Yolcu vapurları için km başına salınan CO₂ miktarı:

$6.075 \text{ lt/km} \times 2630 \text{ g/kWh} = 15976 \text{ gram/kilometre}$, seyahat eden yolcu başına CO₂ emisyonu $15976 \text{ g/km} / 750 = 21,3 \text{ gram/kilometre}$

Deniz motorları için km başına salınan CO₂ miktarı:

$2.7 \text{ lt/km} \times 2630 \text{ g/kWh} = 7100,4 \text{ gram/kilometre}$, seyahat eden yolcu başına CO₂ emisyonu $7100,4 \text{ g/km} / 100 = 71,0 \text{ gram/kilometre}$

Bununla birlikte, toplu taşıma araçlarının kullanan kişilerin metroyu tercih etmeleri durumunda senaryoların karşılaştırılabilir olması için bazı kabuller yapılmıştır.

1. Otomobillerin günlük 62 km mesafe yaptığı kabul edilmiştir.
2. Minibüslerin günlük 300 km mesafe yaptığı kabul edilmiştir.
3. Ticari taksilerin günlük 250 km mesafe yaptığı kabul edilmiştir.
4. Otobüslerin içinde %7 oranında bulunan CNG araçlar ihmal edilmiştir.
5. Ticari taksilerin içinde %15 oranında bulunan LPG araçlar ihmal edilmiştir.
6. Emisyonlar için Euro V standardı kabul edilmiştir.

5.1 Araçların CO₂ türetim değerleri

Yakıt türü benzin olan otomobil taşıtları için km başına CO₂ salımları aşağıdaki Çizelge 5.1 de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 : Farklı otomobil markalarının km başına CO₂ değerleri

ARAÇ (BENZİNLİ)	Alt Değer (Gram)	Üst Değer (Gram)	Ort.Tüketim (Gram)
AUDI	154	351	252,50
BMW	139	352	245,50
FIAT	110	204	157,00
FORD	119	244	181,50
HONDA	125	237	181,00
HYUNDAI	119	245	182,00
MERCEDES	139	392	265,50
OPEL	143	376	295,50
PEUGEOT	106	229	167,50
RENAULT	130	289	209,50
TOYOTA	99	224	161,50
VOLKSWAGEN	138	348	243,00
VOLVO	174	322	248,00

Yakıt türü dizel olan otomobil taşıtları için km başına CO₂ salımları, Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.2 : Farklı otomobil markalarının km başına CO₂ değerleri (gram)

ARAÇ (BENZİNLİ)	Alt Değer	Üst Değer	Ort.Tüketim
AUDI	119	294	206,50
BMW	118	220	169,00
FIAT	110	199	154,50
FORD	98	215	156,50
HONDA	134	173	153,50
HYUNDAI	116	225	170,50
MERCEDES	116	313	214,50
OPEL	84	174	129,00
PEUGEOT	112	225	168,50
RENAULT	115	250	182,50
TOYOTA	109	270	189,50
VOLKSWAGEN	99	315	207,00
VOLVO	115	224	169,50

Yukarıdaki tablolara ek olarak toplu taşımaya ilişkin diğer taşıt türlerinin km başına CO₂salımları aşağıdaki Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3 :Farklı toplu taşıma araçlarının km’de yolcu başınaCO₂değerleri(gram)

ARAÇ TÜRÜ	Toplam CO ₂ Salımı	Taşınan Yolcu Başına CO ₂ Salımı
OTOBÜS-KÖRÜKSÜZ	1052,00	10,50
OTOBÜS-KÖRÜKLÜ	1578,00	9,60
ORTALAMA OTOBÜS	1260,30	10,30
MİNİBÜS	355,10	17,80
METRO	1961,00	2,10
TRAMWAY	1111,90	4,10
DENİZ OTOBÜSÜ	20882,20	46,50
YOLCU VAPURU	15976,00	21,30

Araç türlerine göre karşılaştırmalar Çizelge5.4’de verilmiştir.Çizelge 5.4 : Farklı araç türlerinin km’de taşınan yolcu başınaCO₂değerleri

ARAÇ TÜRÜ	Taşınan Yolcu Başına Km’de CO ₂ Salımı(gram)
Otobüs-Körüksüz	10,50
Otobüs-Körüklü	9,60
Ortalama Otobüs	10,30
Minibüs	17,80
Metro	2,10
Hafif Metro	7,20
Tramway	4,10
Deniz Otobüsü	46,50
Yolcu Vapuru	21,30
Dizel Otomobil	175,00
Benzinli Otomobil	214,00
Dizel Otomobil (1 sürücü 1 Yolcu)	87,50
Benzinli Otomobil (1 sürücü, 1 Yolcu)	107,00

Yukarıdaki çizelgeler toplu taşıma araçlarının otomobillere göre çok daha az CO₂emisyonu türettiğini göstermektedir. Metro ve otobüs gibi araçlar çok sayıda yolcuyu taşıdığından, yolcu başına CO₂ emisyon değeri daha az olmaktadır.

5.2 İstanbulda İncelenen Raylı Sistemler veCO₂ Türetimleri

Bu bölümde İstanbuldaki bazı demiryolu hatları diğer türlerle salım miktarları açısından kar ıla tırılmaktadır.

5.2.1.Yenikapı-Atatürk Havalimanı Hattı

Yenikapı-Atatürk Havalimanı, İstanbul'daki ilk metro i letmesidir. M1 hattı Yenikapı'dan Otogar durağına eiri ir, Merter'den geçerek Atatürk Havalimanı'na gider.

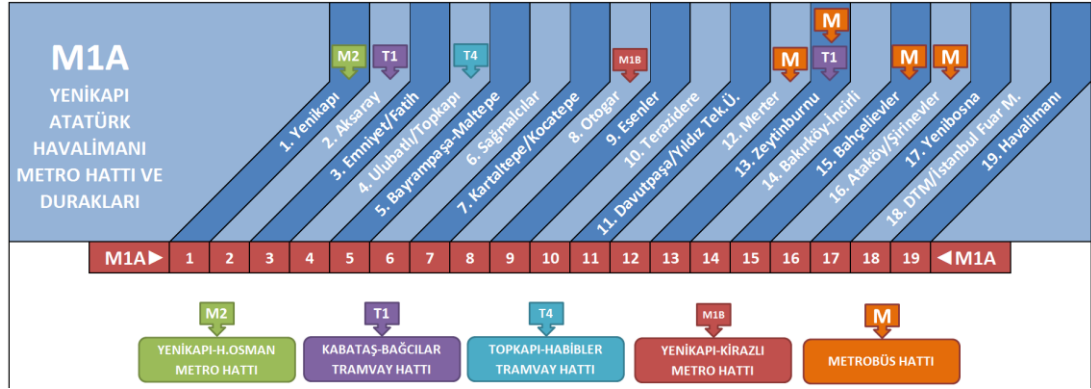
Hizmete Açılış Tarihleri

- İlk kısım Aksaray Kartaltepe, 3 eylül 1989 tarihinde
- İkinci kısım, Otogar Zeytinburnu arası 31 ocak 1994 tarihinde
-     nc  kısım, Zeytinburnu Bakırköy arası 7 mart 1994 tarihinde
- Bakırköy Ataköy arası 26 Temmuz 1995 tarihinde,
- Ataköy Yenibosna arası 25 Ağustos 1995 tarihinde,
- Bahçelievler durağı 15 ocak 1999 tarihinde ,
- İstanbul Fuar Merkezi Atatürk Havalimanı arası 20 aralık 2002 tarihinde hizmete açılmıştır.

İşletme Bilgileri

- Hattın uzunluğu 21 kilometredir.
- 18 adet istasyon vardır.
- 105 adet vagon vardır.
- Sefer süresi 35 dakikadır.
- 06.00-23.59 saatleri arasında hizmet verir.
- Günlük 400.000 kişi taşır.

Aşağıdaki Şekil 5.1’de hattın durakları gösterilmiştir[20].



Şekil 5.1 : Yenikapı-Havalimanı metro hattı durakları.

Yenikapı-Atatürk Havalimanı Arası Taşıt Türlerine Göre CO₂ Salımının Kıyaslanması

Yenikapı'dan Atatürk havalimanına otomobiliyle giden bir yolcu için km başına CO₂ salımları Çizelge 5.3 ten değer alınarak, hesaplanmıştır.

Otomobille ulaşım sağlanmak istendiğinde, Yenikapı-Havalimanı arası 16 km'dir, buna karşın bu kesimde metro hattı ise 21 kmdir. Dizel bir otomobil ortalama olarak km başına 175 gram CO₂ salımı yapmaktadır. Buna göre dizel otomobiliyle bir sürücü Yenikapı'dan Atatürk Havalimanına gitmek istediğinde, toplam 2800 gram CO₂ salımı yapacaktır. Benzer şekilde benzinli otomobil ile toplam 3424 gram CO₂ salımı yapacaktır. Aynı seyahat metroyla yapıldığında ise, kişi başına 7.5 gram CO₂ salımı yapıldığından bir kişi için toplam 120 gram CO₂ salımı yapılmış olacaktır. Araç türlerine göre karşılaştırmalar aşağıdaki Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Yenikapı-Havalimanı arası farklı araçlar için CO₂ emisyon değerleri

ARAÇ TÜRÜ	Toplam CO ₂ Salımı (Gram)	Taşınan Yolcu Başına CO ₂ Salımı (Gram)
Dizel otomobil	2800	2800
Benzinli otomobil	3424	3424
Dizel otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	2800	1400
Benzinli otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	3424	1712
Dizel otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	2800	700
Benzinli otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	3424	856
Otobüs	20164,8	164,8
Metro	41181	44,1

Ağaç eşdeğerliği; Bu kavram tez kapsamında CO₂ emisyon miktarını tüketmek için gerekli ağaç sayısı şeklinde ele alınmaktadır. Ortalama bir ağaç yılda 6 ton CO₂ kullanır. Hesaplamalarda bunu, bir kişinin 1 yıl boyunca belirli bir hatta gidiş-geliş yolculuğunda ortaya çıkan CO₂ değerini tüketmek veya kullanmak için, gerekli ‘‘ağaç sayısı’’ olarak alabiliriz.

Çizelge 5.6 : Yenikapı-Havalimanı arası bir yıl için ağaç eşdeğerliği

ARAÇ TÜRÜ	1 Yıl Boyunca 1 Yolcunun Yaptığı Toplam Salım	CO ₂ /Yolcu/Yıl değerini karşılamak için gerekli ağaç sayısı(Ağaç Eşdeğerliği)
Dizel otomobil	2,016	0,336
Benzinli otomobil	2,465	0,411
Otobüs	0,119	0,020
Metro	0,032	0,005

Bu durumda Yenikapı’dan Havalimanına 1 yıl boyunca metroyla gidiş ve geliş şeklinde seyahat eden kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,005 adet ağaç

gerekli iken, aynı yolculuğu dizel otomobiliyle yapan kişi 0,336 adet ağacın gerektiği görülmektedir.

5.2.2. Yenikapı-Kirazlı Metro Hattı

M1B hattı, Yenikapı ile Otogar durakları arasında M1A hattı ile birlikte yapılmaktadır. Otogar durağından sonra ayrılan hat, M3 Kirazlı-Olimpiyat-Başakşehir metro hattı ile beraber Kirazlı bölgesinde sonlanır.

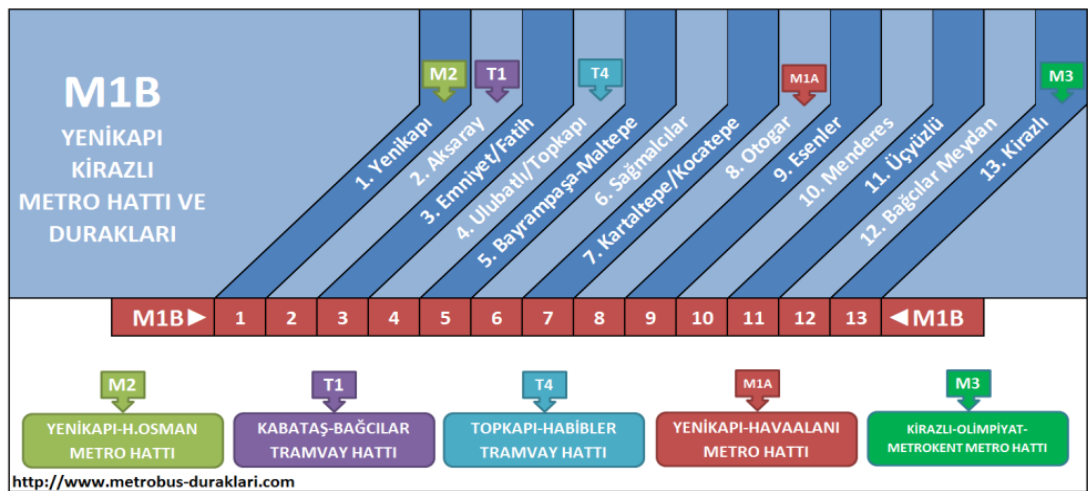
Hizmete Açılış Tarihleri

- İlk kısım, Aksaray Kartaltepe 3 eylül 1989 tarihinde
- İkinci kısım, Otogar Zeytinburnu 31 ocak 1994 tarihinde
- Üçüncü kısım, Otogar Kirazlı uzatmasının tamamlanması ve M1B Yenikapı Kirazlı hattı 14 haziran 2013 tarihinde hizmete açılmıştır.

İşletme Bilgileri

- Hattın uzunluğu 14 kilometredir.
- 13 adet istasyon vardır.
- 105 adet vagon vardır.
- Günlük 400.000 adet yolcu taşır.

Aşağıda Şekil 5.2’de hattın durakları gösterilmiştir[20].



Şekil 5.2 : Yenikapı-Kirazlı metro hattı durakları.

Yenikapı-Kirazlı Arası Taşıt Türlerine Göre CO₂ Salımının Kıyaslanması

Yenikapı'dan Kirazlı'ya otomobiliyle giden bir yolcu için km başına CO₂ salınımları Çizelge 5.3 ten değer alınarak hesaplanmıştır. Otomobille ulaşım sağlanmak istendiğinde Yenikapı-Kirazlı arası 15 km,metro hattında ise 14 km'dir. Dizel bir otomobil ortalama olarak km başına 175 gram CO₂ salımı yapmaktadır. Buna göre dizel otomobiliyle bir şoför Yenikapı'dan Kirazlı'ya gitmek istediğinde toplam 2625 gram CO₂ salımı yapacaktır. Benzer şekilde benzinli otomobiliyle toplam 3210 gram CO₂ salımı yapacaktır. Aynı seyahat metroyla yapıldığında ise yolcu başına km'de2,1 gram CO₂ salınımları yapıldığından, bir kişi için toplam 29,4 gram CO₂ salımı yapılmış olacaktır. Araç türlerine göre karşılaştırmalar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Yıllık hesaplamalar bir yolcunun günlük bir gidiş bir dönüş yaptığı varsayılarak değerler hesaplanmıştır. Çizelge 5.7'de Yenikapı-Kirazlı arası toplam CO₂ emisyon değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : Yenikapı-Kirazlı arası toplam CO₂ emisyon değerleri

ARAÇ TÜRÜ	Toplam CO ₂ Salımı (gr)	Taşınan Yolcu Başına CO ₂ Salımı(gr)
Dizel otomobil	2625	2625
Benzinli otomobil	3210	3210
Dizel otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	2625	1312,5
Benzinli otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	3210	1605
Dizel otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	2625	656,25
Benzinli otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	3210	802,5
Otobüs	18904,5	154,5
Metro	27454	29,4

Çizelge 5.8 : Yenikapı-Kirazlı arası ağaç eşdeğerliği

ARAÇ TÜRÜ	1 Yıl Boyunca 1 Kişinin Yaptığı Toplam CO ₂ Salımı	Ağaç Eşdeğerliği
Dizel otomobil	1,890	0,315
Benzinli otomobil	2,311	0,385
Otobüs	0,111	0,019
Metro	0,021	0,004

Bu durumda Yenikapı'dan Kirazlı'ya 1 yıl boyunca metroyla gidiş ve geliş şeklinde seyahat eden kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,004 adet ağaç gerekli iken, aynı yolculuğu dizel otomobiliyle yapan kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,315 adet ağaç gerekmektedir.

5.2.3.Yenikapı-Hacıosman Metro Hattı

İnşasına 1992 senesinde başlanan ve ilk durağı Yenikapı, son durağı Hacıosman olan hattın ilk kısmı, 16 Eylül 2000 'de hizmete açılmıştır. Günlük, yaklaşık 320.000 yolcu taşımaktadır.

Hizmete Açılış Tarihleri

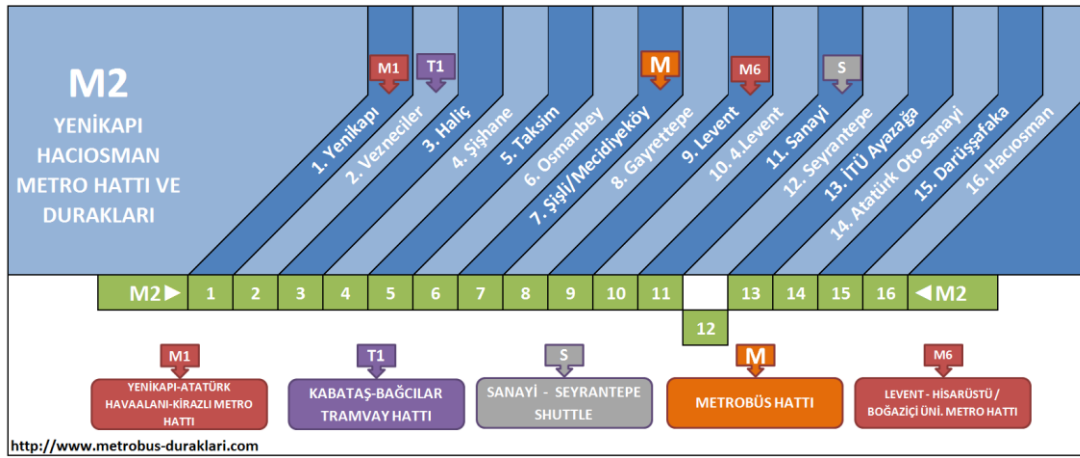
- 19 ağustos 1992 tarihinde temeli atılmıştır.
- Taksim Şişli hattı 12 haziran 1994 tarihinde birleşmiştir.
- Şişli 4. Levent hattı 8 temmuz 1994 tarihinde hizmete açılmıştır.
- Taksim - Şişli ve 4. Levent hattı 30 nisan 1995 tarihinde birleşmiştir.
- 1. Etap Taksim - Levent arası 16 eylül 2000 tarihinde
- Levent - 4. Levent arası 24 ekim 2000 tarihinde
- 2. Etap Taksim - Şişhane ve 4. Levent - Atatürk Oto Sanayi kısmı 30 ocak 2009 tarihinde
- Darüşşafaka durağı 2 eylül 2010 tarihinde
- Seyrantepe durağı 11 kasım 2010 tarihinde
- Hacıosman durağı 29 nisan 2011 tarihinde
- 3. Etap Yenikapı Uzatması 15 şubat 2014 tarihinde
- Vezneciler -İstanbul Üniversitesiİstasyonu 16 mart 2014 tarihinde

hizmete açılmıştır.

İşletme Bilgileri

- Hattın Uzunluğu 24 kilometredir.
- 16 adet durak vardır.
- 180 adet vagon vardır.
- Günde 320.000 yolcu taşır.

Aşağıda Şekil 5.3’de hattın durakları gösterilmiştir[20]



Şekil 5.3 : Yenikapı-Hacıosman metro hattı duraklar

Yenikapı-Hacıosman Arasında Taşıt Türlerine Göre CO₂ Emisyonları

Yenikapı'dan Hacıosman'a otomobiliyle giden bir yolcu için km başına CO₂ salınımları Tablo 2.1 den alınarak hesaplanmıştır. Otomobille ulaşım sağlanmak istendiğinde Yenikapı-Hacıosman arası 21 km, metro hattı ise 24 km'dir. Dizel bir otomobil ortalama olarak km başına 175 gram CO₂ salımı yapmaktadır. Buna göre dizel otomobiliyle bir şoför Yenikapı'dan Hacıosman'a gitmek istediğinde toplam 3675 gram CO₂ salımı yapacaktır. Benzer şekilde benzinli otomobiliyle toplam 4494 gram CO₂ salımı yapacaktır. Aynı seyahat metroyla yapıldığında ise yolcu başına km'de 2,1 gram CO₂ salınımları yapıldığından bir kişi için toplam 50,4 gram CO₂ salımı yapılmış olacaktır. Yenikapı-Hacıosman arası toplam CO₂ emisyon değerleri aşağıdaki Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Yenikapı-Hacıosman arası toplam CO₂ emisyon değerleri

ARAÇ TÜRÜ	Toplam CO ₂ Salımı(gram)	Taşınan Yolcu Başına CO ₂ Salımı
Dizel otomobil	3675	3675
Benzinli otomobil	4494	4494
Dizel otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	3675	1837,5
Benzinli otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	4494	2247
Dizel otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	3675	918,75
Benzinli otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	4494	1123,5
Otobüs	26466,3	216,3
Metro	47064	50,4

Araç türlerine göre karşılaştırmalar tablolarda verilmiştir. Yıllık hesaplamalar bir yolcunun günlük bir gidiş bir dönüş yaptığı varsayılarak hesaplanmıştır.Çizelge 5.10’da Yenikapı-Hacıosman arası ağaç eşdeğerlikleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 : Yenikapı-Hacıosman arası ağaç eşdeğerliği

ARAÇ TÜRÜ	1 Yıl Boyunca 1 Kişinin Yaptığı Toplam CO ₂ Salımı(ton)	Ağaç Eşdeğerliği(adet)
Dizel otomobil	2,646	0,441
Benzinli otomobil	3,236	0,539
Otobüs	0,156	0,026
Metro	0,036	0,006

Bu durumda Yenikapı’dan Hacıosman’a 1 yıl boyunca metroyla gidiş ve geliş şeklinde seyahat eden kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,006 adet ağaç gerekli iken aynı yolculuğu dizel otomobiliyle yapan kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,441 adet ağaç gerekmektedir.

5.2.4.Kadıköy-Tavşantepe Metro Hattı

Hattın ilk kısmı 2012 senesinde tamamlanmış ve Kadıköy ile Kartal arasındaki 21,7 km’lik bölümde, 16 durak ile hizmet vermeye başlamıştır. Yakacık-Adnan Kahveci, Pendik ve Tavşantepe istasyonlarının yapılmasıyla, hattın ikinci bölümü de tamamlanmıştır. İkinci etabın tamamlanmasıyla birlikte, hat 27 km’ye, durak adeti de 19’a yükselmiştir.

Hizmete Açılış Tarihleri

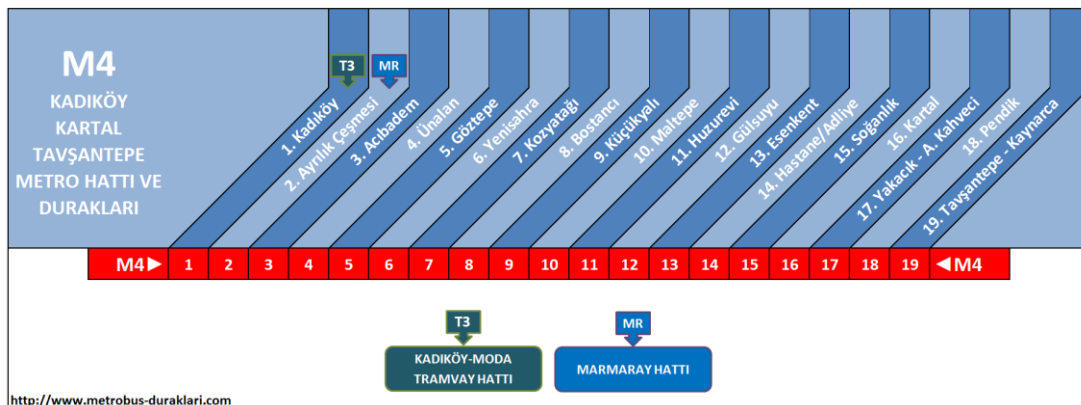
- 14 ocak 2008 tarihinde ihalesi yapılmıştır.
- 6 mart 2008 tarihinde sözleşmesi yapılmıştır.
- İlk etap 17 ağustos 2012 tarihinde
- Ayrılık Çeşmesi durağı 29 ekim 2013 tarihinde
- 2. Kısım 10 ekim 2016 tarihinde

hizmete açılmıştır.

İşletme Bilgileri

- Hattın uzunluğu 27 kilometredir.
- 19 adet durak vardır.
- 144 adet vagon vardır.
- Saatte 70.000 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir.

Aşağıda Şekil 5.4’de hattın durakları gösterilmiştir[20]



Şekil 5.4 Kadıköy-Tavşantepe metro hattı durakları

Kadıköy-Tavşantepe Arası Taşıt Türlerine Göre CO₂ Salımının Kıyaslanması

Kadıköy'den Tavşantepe'ye otomobiliyle giden bir yolcu için km başına CO₂ salınımları Tablo2.1 den alınarak hesaplanmıştır. Otomobille ulaşım sağlanmak istendiğinde Kadıköy-Tavşantepe arası 24 km,metro hattı ise 27 km'dir. Dizel bir otomobil ortalama olarak km başına 175 gram CO₂ salımı yapmaktadır. Buna göre dizel otomobiliyle bir şoför Yenikapı'dan Hacıosman'a gitmek istediğinde toplam 4200 gram CO₂ salımı yapacaktır. Benzer şekilde benzinli otomobiliyle toplam 5136 gram CO₂ salımı yapacaktır. Aynı seyahat metroyla yapıldığında ise yolcu başına km'de2,1 gram CO₂ salınımı yapıldığından bir kişi için toplam 56,7 gram CO₂ salımı yapılmış olacak. Araç türlerine göre karşılaştırmalar aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Yıllık hesaplamalar bir yolcunun günlük bir gidiş bir dönüş yaptığı varsayılarak hesaplanmıştır. Kadıköy-Tavşantepe arası toplam emisyon değerleri aşağıdaki Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Kadıköy-Tavşantepe arası toplam CO₂ emisyon değerleri.

Araç Türü	Toplam CO₂ Salımı(gram)	Taşınan Yolcu Başına CO₂ Salımı(gram)
Dizel Otomobil	4200	4200
Benzinli Otomobil	5136	5136
Dizel Otomobil(1 Sürücü, 1 Yolcu)	4200	2100
Benzinli Otomobil(1 Sürücü, 1 Yolcu)	5136	2568
Dizel Otomobil(1 Sürücü, 3 Yolcu)	4200	1050
Benzinli Otomobil(1 Sürücü, 3 Yolcu)	5136	1284
Otobüs	30247,2	247,2
Metro	52947	56,7

Çizelge 5.12’de Kadıköy-Tavşantepe arası ağaç eşdeğerlikleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 : Kadıköy-Tavşantepe arası ağaç eşdeğerliği

ARAÇ TÜRÜ	1 Yıl Boyunca 1 Kişinin Yaptığı ToplamCO₂Salımı(ton)	Ağaç Eşdeğerliği(adet)
Dizel otomobil	3,024	0,504
Benzinli otomobil	3,698	0,616
Otobüs	0,178	0,030
Metro	0,041	0,007

Bu durumda Kadıköy’den Tavşantepe’ye 1 yıl boyunca metroyla gidiş ve geliş şeklinde seyahat eden kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,007 adet ağaç gerekli iken aynı yolculuğu dizel otomobiliyle yapan kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,504 adet ağaç gerekmektedir.

5.2.5.Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı

Hattın ilk bölümü, Sirkeci ve Aksaray arasında yapılmış ve 1992 senesinde hizmet vermeye başlamıştır. Topkapı ve Zeytinburnu yönlerine bağlanan hat, daha sonra Eminönü İstasyonu’na kadar uzatılmıştır. 29 Haziran 2006 tarihinde de Galata Köprüsü üzerinden geçerek Kabataş’a bağlanmıştır.

Kabataş bölgesinde, F1 Taksim - Kabataş Füniküler Hattı üzerinden M2 Yenikapı Hacıosman Metro Hattı ile bağlantısı kurulmuş ve bu şekilde 4. Levent ile Atatürk Havalimanı arasında raylı sistemler ile ulaşım imkânı sağlanmıştır. 2006 yılında hizmete alınan ve yüksek tabanlı tramvay araçları ile işletilmekte olan T2 Zeytinburnu - Bağcılar Hattı’nın tüm istasyonları, sadece bir hafta sonunda alçak tabanlı tramvaylar ile uyumlu hale getirilmiş ve 3 Şubat 2011 tarihinde T1 Hattı ile birleştirilmiştir. Bu çalışma ile Bağcılar’dan Kabataş’a aktarmasız raylı ulaşım sağlanmıştır.

Hizmete Açılış Tarihleri

- 13 haziran 1992 tarihinde Aksaray – Beyazıt hattı
- 10 temmuz 1992 tarihinde Sirkeci – Beyazıt hattı
- 29 ekim 1992 tarihinde Aksaray – Topkapı hattı
- 10 mart 1994 tarihinde Topkapı – Zeytinburnu hattı
- 20 nisan 1996 tarihinde Sirkeci – Eminönü hattı
- 1 ocak 2005 tarihinde Eminönü – Fındıklı hattı
- 1 haziran 2006 tarihinde Fındıklı – Kabataş hattı
- 15 eylül 2006 tarihinde Zeytinburnu – Bağcılar hattı

hizmete açılmıştır.

İşletme Bilgileri

- Hattın uzunluğu 19 kilometredir.
- 31 adet durak vardır.
- 92 adet vagon vardır.
- Günde 320.000 adet yolcu taşır.

Kabataş-Bağcılar Arasının Taşıt Türlerine Göre CO₂ Salımının Kıyaslanması

Kabataş'tan Bağcılar'a otomobiliyle giden bir yolcu için km başına CO₂ salınımları tablo2.1 den alınarak hesaplanmıştır.

Otomobille ulaşım sağlanmak istendiğinde Kabataş-Bağcılar arası 17 km'dir. Tramway hattı ise 19 km'dir. Dizel bir otomobil ortalama olarak km başına 175 gram CO₂ salımı yapmaktadır. Buna göre dizel otomobiliyle bir şoför Kabataş'tan Bağcılar'a gitmek istediğinde toplam 2975 gram CO₂ salımı yapacaktır. Benzer şekilde benzinli otomobiliyle toplam 3638 gram CO₂ salımı yapacaktır. Aynı seyahat tramway yapıldığında ise yolcu başına km'de 4,1 gram CO₂ salınımları yapıldığından bir kişi için toplam 77,9 gram CO₂ salımı yapılmış olacak. Araç türlerine göre karşılaştırmalar aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Yıllık hesaplamalar bir yolcunun günlük bir gidiş bir dönüş yaptığı varsayılarak hesaplanmıştır. Kabataş-Bağcılar arası toplam CO₂ emisyon değerleri aşağıdaki Çizelge 5.13 'te verilmiştir.

Çizelge 5.13 : Kabataş-Bağcılar arası toplam CO₂ emisyon değerleri.

ARAÇ TÜRÜ	Toplam CO ₂ Salımı(gram)	Taşınan Yolcu Başına CO ₂ Salımı(gram)
Dizel otomobil	2975	2975
Benzinli otomobil	3638	3638
Dizel otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	2975	1487,5
Benzinli otomobil(1 sürücü, 1 yolcu)	3638	1819
Dizel otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	2975	743,75
Benzinli otomobil(1 sürücü, 3 yolcu)	3638	909,5
Otobüs	21425,1	175,1
Tramvay	21126,1	77,9

Çizelge 5.14 : Kabataş-Bağcılar arası ağaç eşdeğerliği

ARAÇ TÜRÜ	1 Yıl Boyunca 1 Kişinin Yaptığı Toplam CO ₂ Salımı(ton)	Ağaç Eşdeğerliği(adet)
Dizel otomobil	2,142	0,357
Benzinli otomobil	2,619	0,437
Otobüs	0,126	0,021
Tramvay	0,056	0,009

Bu durumda Kabataş'tan Bağcılar'a 1 yıl boyunca tramwayla gidiş ve geliş şeklinde seyahat eden kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,009 adet ağaç gerekli iken aynı yolculuğu dizel otomobiliyle yapan kişinin CO₂ emisyon değerini nötrlemek için 0,357 adet ağaç gerekmektedir.

5.3. Ulaşım tercihlerine göre inceleme

Bu bölümde kapasitesi düşük fakat birim işe düşen yakıt tüketimi dolayısı ile emisyon oluşumu yüksek araçlardan raylı sisteme geçiş senaryoları üzerinde durulmuştur. Bu amaçla taksi, minibüs, özel araç (otomobil) kullanım oranları değiştirilerek ortaya çıkacak sonuçlar incelenmektedir. Yani İstanbul'daki ulaşım türü tercihlerine göre senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar aşağıdaki Çizelge 5.15 kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.15: İstanbul'daki yolcuların toplu taşıma aracına göre oranları.

2018 Yılı	Günlük Yolcu Sayıları	Payı(%)
Raylı sistem	2.709.914	18,07
Metro/Hafif metro	1.728.555	11,53
Tramway	640.351	4,27
Teleferik/Nostaljik Tramway/Tünel/Füniküler	54.168	0,36
Tcdd(Marmaray)	286.840	1,91
Karayolu	11.717.979	78,15
İETT Otobüs/Metrobüs	1.940.750	12,94
Özel Halk Otobüsü	1.571.393	10,48
Otobüs A.Ş.	835.422	5,57
Minibüs	3.098.963	20,67
Taksi/Taksi dolmuş	1.403.949	9,36
Servis	2.867.502	19,13
Denizyolu	565.472	3,77
İDO	163.434	1,09
Şehir hatları	231.444	1,54
Özel tekne/motor	170.594	1,14
Toplam	14.993.365	100

5.3.1. Taksi Kullanım Tercihinin Kısmen Metroya Kayması

Toplamdaki Taksi kullanımının Yüzde 5'e inmesi:

İETT'nin vermiş olduğu bilgilere göre İstanbul'da günlük 1,4 milyon yolcu taksiyle yolculuk etmektedir. Taksiyi kullananların günlük yolcu sayısındaki payı %9,36'dır. Bu verilere göre taksiyi tercih eden yolcuların payını %5'e ve %2'e indirmenin CO₂ emisyonuna etkisi aşağıda tablolştırılmıştır. Taksiyi kullananların oranını %5'e düşürüp, yolcuların metroyu tercih ettiğini varsayarak aşağıdaki çizelge5.16hazırlanmıştır.

Çizelge 5.16 : İstanbulda mevcut taksi ve metro kullanımı

SENARYO ÖNCESİ	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı (%)
Metro	1.728.555	11,53
Taksi	1.403.949	9,36

Çizelge 5.17 : İstanbulda taksiyi kullananların oranının %9,36'dan %5'e düşürülüp yolcuların metroyu kullanması senaryosu

SENARYO SONRASI	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı(%)
Metro	2.382.265	15,89
Taksi	750.239	5,00

Taksiyi kullananların toplam payı % 5'e düşürüldüğünde 653.710 yolcu daha metroyu kullanmış olacaktır. Bu senaryoya göre CO₂ emisyonları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Hesaplamalarda taksi yakıt türü dizel varsayılmıştır. İstanbul'da taksilerin günlük ortalama katettikleri mesafe 250 km olduğu verisi hesaplamalarda kullanılmıştır.

Km'de yolcu başına CO₂ salımı metroda 2,1 km iken, dizel takside (1 şoför,1 yolcu için) 87,5 gr olduğu daha önce belirtilmişti. Bu durumda bu senaryoya göre km'de yolcu başına 85,40 gr daha az CO₂ salımı yapılacaktır. Bu veriler doğrultusunda aşağıdaki çizelge 5.18 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.18 : Bu senaryoya göre yıllık CO₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı

CO ₂ emisyon tasarrufu	
Günlük	1.388 ton
Yıllık	5.065.288 ton
Ağaç eşdeğeri (yıllık)	844.215 adet

Toplamdaki Taksi kullanımının Yüzde 2’ye inmesi:

İETT’nin vermiş olduğu bilgilere göre İstanbul’da günlük 1,4 milyon yolcu taksiyle yolculuk etmektedir. Taksiyi kullananların günlük yolcu sayısındaki payı %9,36’dır. Bu verilere göre taksiyi tercih eden yolcuların payını %5’e ve %2’e indirmenin CO₂ emisyonuna etkisi aşağıda tablolandırılmıştır. Taksiyi kullananların oranını %2’e düşürüp, yolcuların metroyu tercih ettiğini varsayarak aşağıdaki Çizelge 5.19 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.19: İstanbulda mevcut taksi ve metro kullanımı

SENARYO ÖNCESİ	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı (%)
Metro	1.728.555	11,53
Taksi	1.403.949	9,36

Çizelge 5.20 : İstanbulda taksi kullananların oranının %9,36 dan %2’ye düşürülüp yolcuların metroyu kullanması senaryosu

SENARYO SONRASI	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı(%)
Metro	2.832.247	18,89
Taksi	299.867	2,00

Taksiyi kullananların toplam payı % 2’e düşürüldüğünde 1.104.082 yolcu daha metroyu kullanmış olacaktır.

Bu senaryoya göre CO₂ emisyonları aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir. Hesaplamalarda taksi yakıt türü dizel varsayılmıştır. İstanbul’da taksilerin günlük

ortalama katettikleri mesafe 250 km olduğu verisi hesaplamalarda kullanılmıştır. Km’de yolcu başına CO₂ salımı metroda 2,1 km iken, dizel takside (1 şoför,1 yolcu için) 87,5 gr olduğu daha önce belirtilmişti. Bu durumda bu senaryoya göre km’de yolcu başına 85,40 gr daha az CO₂ salımı yapılacaktır. Bu veriler doğrultusunda aşağıdaki çizelge 5.21 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.21 : Bu senaryoya göre yıllık CO₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı

CO ₂ emisyon tasarrufu	
Günlük	23.572 ton
Yıllık	8.603.780 ton
Ağaç eşdeğeri (yıllık)	1.433.963 adet

5.3.2. Minibüs Kullanım Tercihinin Metroya Kayması

Minibüs kullanımının Yüzde 20’den Yüzde 10’a inmesi:

İETT’nin vermiş olduğu bilgilere göre İstanbul’da günlük 3,1 milyon yolcu minibüsle yolculuk etmektedir. Minibüs kullananların günlük yolcu sayısındaki payı % 20,67’dir. Bu verilere göre minibüsü tercih eden yolcuların payını %10 ve %5’e indirmenin CO₂ emisyonuna etkisi aşağıda tablolatırılmıştır. Minibüs kullananların oranını %10’a düşürüp, yolcuların metroyu tercih ettiğini varsayarak aşağıdaki 5.22çizelge hazırlanmıştır.

Çizelge 5.22: İstanbulda mevcut minibüs ve metro kullanımı

SENARYO ÖNCESİ	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı (%)
Metro	1.728.555	11,53
Minibüs	3.098.963	20,67

Çizelge 5.23 : İstanbulda minibüs kullananların oranının %20,67 den %10’a düşürülüp yolcuların metroyu kullanması senaryosu

SENARYO SONRASI	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı(%)
Metro	3.329.527	22,20
Minibüs	1.499.337	10,00

Minibüsü kullananların toplam payı %10'a düşürüldüğünde 1.600.972 yolcu daha metroyu kullanmış olacaktır. Bu senaryoya göre CO₂ emisyonları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. İstanbul'da minibüslerin günlük ortalama katettikleri mesafe 300 km olduğu verisi hesaplamalarda kullanılmıştır. Km'de yolcu başına CO₂ salımı metroda 2,1 gram iken, minibüste 17,80 gram olduğu daha önce belirtilmişti. Bu durumda bu senaryoya göre km'de yolcu başına 15,70 gram daha az CO₂ salımı yapılacaktır. Bu veriler doğrultusunda aşağıdaki çizelge 5.24 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.24 : Bu senaryoya göre yıllık CO₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı

CO ₂ emisyon tasarrufu	
Günlük	7.539 ton
Yıllık	2.751.735 ton
Ağaç eşdeğeri (yıllık)	458.623 adet

Minibüs kullanımının Yüzde 20 den Yüzde5'e inmesi

Minibüs kullananların oranını %5'e düşürüp, yolcuların metroyu tercih ettiğini varsayarak aşağıdaki çizelge 5.25 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.25: İstanbulda mevcut minibüs ve metro kullanımı

SENARYO ÖNCESİ	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı (%)
Metro	1.728.555	11,53
Minibüs	3.098.963	20,67

Çizelge 5.26 : İstanbulda minibüs kullananların oranının %20,67'den %10'a düşürülüp yolcuların metroyu kullanması senaryosu

SENARYO SONRASI	Günlük yolcu sayısı	Toplamdaki payı(%)
Metro	4.078.120	27,20
Minibüs	749.668	5,00

Minibüs kullananların toplam payı %5'e düşürüldüğünde, 2.349.640 yolcu daha metroyu kullanmış olacaktır. Bu senaryoya göre CO₂ emisyonları aşağıdaki tabloda

belirtilmiştir. İstanbul’da minibüslerin günlük ortalama katettikleri mesafe 300 km olduğu verisi hesaplamalarda kullanılmıştır. Km’de yolcu başına CO₂ salımı metroda 2,1 gram iken, minibüste 17,80 gram olduğu daha önce belirtilmişti. Bu durumda bu senaryoya göre km’de yolcu başına 15,70 gram daha az CO₂ salımı yapılacaktır. Bu veriler doğrultusunda aşağıdaki Çizelge 5.27 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.27 : Bu senaryoya göre yıllık CO₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı

CO ₂ emisyon tasarrufu	
Günlük	11.066 ton
Yıllık	4.039.384 ton
Ağaç eşdeğeri (yıllık)	673.231 adet

5.3.3. Otomobil Kullanım Tercihinin Metroya Kayması

İstanbul’da otomobil kullanarak yolculuk yapan yolcu sayısı TUIK verilerine 3,3 milyondur. Hesaplamalarda otomobilde ortalama olarak 1 sürücü 1 yolcu kabul edilmiştir. Otomobille yolculuk yapan yolcuların yarısı otomobil yerine metroyu tercih ederse oluşacak tasarruflar aşağıda tablolştırılmıştır. Yolcu başına km de CO₂ emisyonu otomobil için daha önce de belirtildiği gibi ortalama 97 gram alınmıştır. Aynı şekilde Tuik verilerine göre otomobillerin günlük katettikleri mesafe İstanbul’da ortalama 62 km’dir. Bu senaryoya göre aşağıda tasarruf edilen ağaç sayısını gösteren Çizelge 5.28 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.28 : Bu senaryoya göre yıllık CO₂ emisyon tasarrufu ve ağaç sayısı

SENARYO SONRASI	Günlük otomobille yolculuk eden sayısı	Tasarruf edilen Günlük CO ₂ emisyonu	Yıllık ağaç eşdeğeri
Otomobille yolculuk %50 azalırsa	1.664.578	9.804 ton	596.410 adet ağaç

İstanbul’da otomobille yolculuk edenlerin oranı %50 azalıp, metroyu kullanmayı tercih ettiklerinde 1 sene sonunda 596.410 adet ağacın tüketebileceği kadar CO₂ tasarrufu sağlanmaktadır. Yukarıdaki çizelgeler genel olarak kapasiteleri fazla olan ulaşım araçlarının tercih edilmesinin sonucunda CO₂ emisyonlarında ciddi olumlu

gelişmeler olabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda CO₂ emisyonu açısından metroyla yolculuk yapmanın en avantajlı ulaşım türü olduğu anlaşılmaktadır.

Daha önce elektrik üretiminde santralde oluşan emisyon değerleri Çizelgeler şeklinde verilmişti. Daha çevre dostu olan santrallere ağırlık verilerek, raylı sistemlerin çevresel faydası daha da arttırılabilir. Modern elektrikli demiryollarının payının arttırılması diğer otomobil ve toplu taşıma ile iyi bir entegrasyon sağlanması, iyi planlanmış ve kaliteli hatlar oluşturulması, taşıt doluluk oranının arttırılması ile birim işe düşen enerji gideri ve kirletici miktarı azalacaktır. Bunların sağlanması için bütün ilgili Kurumların hassasiyet göstermesi ve toplumun bilinçlendirilmesi gerekir.

Ayrıca ulaştırmanın tüm modlarında ve ulaştırma dışındaki bütün sektörlerde konuya ağırlık ve önem verilmesi ile alınan sonuçlar daha tatmin edici seviyelerde olabilecektir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında ulaşımın ve ulaşım türlerinin iklim değişikliğine etkisi ve raylı sistemlerin olumlu katkısı incelenmiştir. Yapılan tüm çalışmalar yerküredeki yaşamın sera gazları etkisiyle ciddi tehdit altında olduğunu göstermektedir. Eğer yeterli önlemler alınmazsa, iklim değişimi ve etkisi giderek hızla artacak ve dünyamız tüm canlılar için yaşanmaz duruma gelecektir. Sera gazları içinde tezde açıklanan gazlar yer almakla birlikte oranı ve etkisi açısından en çok üzerinde durulanı CO₂ olmaktadır.

Çalışmada İstanbul'da farklı senaryolar oluşturularak karbon salım değişimlerinin ne mertebede değişeceği sayısal olarak incelenmiştir. Bu incelemede bazı genel kabuller yapılmıştır. Buna göre otomobillerin İstanbul'da günlük ortalama kattettikleri mesafe 62 km, minibüslerin 300 km, taksilerin 250 km alınmıştır. Ayrıca körüksüz otobüste 100 yolcunun seyahat ettiği, körüklü otobüste 165 yolcunun, minibüste 20 yolcunun, metroda 936 yolcunun, tramvayda 272 yolcunun, deniz otobüsünde 450 yolcunun, vapurda 750 yolcunun, deniz motorunda 100 yolcunun seyahat ettiği kabul edilmiştir.

Bu incelemenin sonucuna göre İstanbulda taksiyi kullananların oranının %9,36'dan %5'e düşürülüp yolcuların metroyu kullanmasıyla yıllık 844.215 adet ağaç tasarrufu ve 5.065.288 ton CO₂ tasarrufu sağlanmaktadır. İstanbulda minibüs kullananların oranının %20,67 den %10'a düşürülüp yolcuların metroyu kullanmasıyla yıllık 2.751.735 ton CO₂ tasarruf sağlanabilmektedir. Ayrıca İstanbul'da otomobille yolculuk edenlerin oranı %50 azalıp, metroyu kullanmayı tercih ettiklerinde 1 sene sonunda 596.410 adet ağacın tüketebileceği kadar CO₂ tasarrufu sağlanmaktadır.

Toplu taşımayı özendirmek ve iklim değişimine ulaştırmanın katkısını azaltmak için bazı iyileştirme ve düzenlemeler yapılması mümkündür. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir;

Yolcular kısa ve uzun mesafelerde raylı sistemleri kullanabilmelidir. Yolcuların toplu taşımadan beklentisi çabukluk, konfor, güvenilirlik, erişebilirlik olup, bu beklentiler yeterince karşılanmadığı sürece insanlar toplu taşımayı tercih

etmeyeceklerdir. Bu nedenle istasyon seçimi ve hat güzergahları ulaşım ihtiyacını karşılayabilecek şekilde seçilmelidir.

Ayrıca karayolunun payı İstanbul'da çok fazladır. Bu payı azaltmak için otomobil kullanımına vergilendirme getirilebilir, bisiklet ve toplu taşıma kullanımı teşvik edilebilir.

Bununla birlikte yakıt enerjisi biyodizel gibi temiz yakıtlarla sağlanabilir. Yakıt teknolojisi ve enerji verimliliği konusunda teknolojik atılımlar da gerekirse devletlerin desteğiyle teşvik edilmelidir.

Karbon salınımına önemli etkisi olan ulaşım sektöründe kapsamlı önlemler alınmaktadır bu daha da artmalıdır. Öncelikle ulaşım türleri arasında karbon salınımı oldukça az olan raylı sistemler daha fazla tercih edilmelidir. Raylı sistemlerin insanlar tarafından cazip görülmesi temel sorun olarak görülmektedir. Dünya şehirlerinde birçok örneği olduğu gibi raylı sistemlerin insanlar tarafından tercih edilmesi için geniş ve kapsamlı bir demiryolu ağı gerekmektedir.

Karayollarında yaşanan trafik tıkanıklığı, bilindiği gibi zaman kaybına neden olmakta bununla birlikte iklim değişimine ve sera gazı salınımına oldukça olumsuz etki yapmaktadır. Bu nedenlerle zaman kaybının yanında çevresel endişelerden dolayı da trafik problemlerine sürdürülebilir çözümler getirilmeye çalışılmalıdır.

Küresel ısınmanın, iklim değişiminin olumsuz etkileri konusunda toplum aydınlatılmalı ve bu konular sürekli hatırlatılmalıdır. Otomobil alma tercihlerinde insanların daha hafif ve küçük araçları seçme konusunda özendirici çalışmalar yapılmalıdır.

Demiryolunda elektrik kullanılması halinde işletimde emisyon oluşmaz, fakat santrallerde elektrik elde edilirken, meydana gelen kirletici emisyonların dikkate alınması önemlidir. Toplu taşımada iyi bir entegrasyon, iyi planlama ve kaliteli hizmetle talebi ve taşıt doluluk oranını artırmak mümkündür. Bu şekilde birim işe düşen enerji gideri ile birlikten kirletici miktarı da azalacaktır.

Çalışmada, İstanbul'da mevcut bazı raylı sistem hatları, diğer alternatif ulaşım türleri ile CO₂ türetimi açısından karşılaştırılmakta ve bu CO₂ türetiminin nötrlenmesi için gerekli ağaç miktarı da belirlenmektedir. Ayrıca talebin değişik oranlarda raylı

sistemlere kaydırılmasının sera gazları içinde önemli yeri olan CO₂'in azalmasına sağlayacağı katkı da sayısal olarak araştırılmıştır.

Bu çalışma iklim değişimine dikkat çekmek ve raylı sistemlerin karayoluna göre daha çevre dostu olduğunu göstermek amacıyla yapılmıştır. Daha ayrıntılı incelemek ve bunu geliştirecek çalışmalar yapmak da mümkündür.





7.KAYNAKLAR

- [1] **IPCC 2018 Raporu** (2018). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*
- [2] **Ataletin Bedeli** (2017).WWF, *Türkiye için Düşük Karbonlu Kalkınma Politikaları ve Uygulamaları Projesi*, WWF, İstanbul
- [3] **Ay, Eyüp F., Balta, M., Çolak, M., Semercioğlu, H.** (2010) *Hava Kirliliği ve Modellenmesi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [4] **Yeni İklim Anlaşması Raporu** (2018), WWF, *Doğal Hayatı Koruma Vakfı*
- [5] **Öztürk, Z.**, *Motorlu Araçlardan Oluşan Kirlilik ve Egzos Emisyon Regülasyonları*, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi Sergisi.
- [6] **Erel, A.**, (1986), *Sosyal ve Ekonomik Gelişmemizde Ulaştırma Sempozyumu, Ulaştırma ve Enerji*, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu İTÜ Ulaştırma ve Ulaşım Araçları UYG-AR Merkezi.
- [7] **Andersson, E., Lukaszewicz, P.**, (2006), *Energy Consumption and Related Air Pollution for Scandinavian Electric Passenger Trains*, Department of Aeronautical and Vehicle Engineering Royal Institute of Technology, KTH.
- [8] **TÜBİTAK-TTGV** (1998), *Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu*, Ankara, TÜBİTAK-TTGV.
- [9] **İklim Çözümleri Raporu** (2017), WWF
- [10] **Soruşbay, C. ve diğerleri.** (2009) Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltımı, Proje No. 105G039, TÜBİTAK (Kamu Kurumları Ar-Ge Projesi - 1007) ve T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Ankara.
- [11] **Samur, H.** (2011) *Küresel İklim Değişiminin Etkileri ve Uluslararası Alandaki Mücadele Stratejileri*, Selçuk Üniversitesi İİBF Kamu Yönetimi, Konya.
- [12] **Kozak M., Kozak Ş.** (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. SDU International Technologic Science, vol. 4, no 2, November 2012. 17 – 29.
- [13] **Yaşayan Gezegen 2018 Raporu** (2018), WWF, İstanbul
- [14] **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi** (2016) *İstatistikler*, DEM-TMK Ankara.
- [15] **Soruşbay, C. ve diğerleri.** (2009) Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltımı, Proje No. 105G039, TÜBİTAK (Kamu Kurumları Ar-Ge Projesi - 1007) ve T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Ankara.
- [16] **IPCC 2007 Raporu** (2007). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*

- [17] **Öztürk, Z.**, Ulaştırmanın Çevresel Etkileri Ders Notları
- [18] **T.C İstanbul Valiliği** (2016) *İstanbulun yerleşkesi ve yapısı*[2016/09 E-Bülten]
<http://www.istanbul.gov.tr/Files/ebulten/2016-9/icerikyerlesim.html>.
- [19] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2017).
Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, T.C
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
- [20] <<http://www.metro.istanbul>>, erişim tarihi 19.09.2017.
- [21] **Çukurçayır M. A., Sağır H.** (2013).
Enerji Sorunu Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları,
Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Konya.
- [22] **Aydemir, T** (2014). Elektrikli Araçların Çevresel Etkilerinin ve Yakıt Avantajlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [23] **Türkiye İstatistik Kurumu** (2016) *İstatistik yılı 2016*, TÜİK Ankara.
- [24] **Avinç, A.** (1998). Değişik Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri, *Çev-kor*, cilt 7, sayı 27, s. 19-23.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : NURİ METİN
Doğum Tarihi : 09.03.1988
E-posta : nurimetin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2015, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.