

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SERA GAZI EMİSYONU AZALTILMASINDA KARBON
TİCARETİNİN ROLÜ

HASAN UZATICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. NİHAL BEKTAŞ

EKİM 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SERA GAZI EMİSYONU AZALTILMASINDA KARBON
TİCARETİNİN ROLÜ

HASAN UZATICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. NİHAL BEKTAS

EKİM 2024

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

**THE EFFECT OF THE EMISSION TRADE ON
REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

HASAN UZATICI

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

ADVISOR: PROF. DR. NİHAL BEKTAS

OCTOBER 2024



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 01/07/2024 tarih ve 2024/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/10/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Hasan UZATICI'ının tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ

ÜYE

: Prof. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL

ÜYE

: Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



Aileme

ÖZET

İklim değişikliği krizinin gün geçtikçe etkisini daha fazla arttırması, atmosfer sıcaklığında değişikliklere neden olan, insan kaynaklı faaliyetler sonucunda oluşan ve iklim değişikliği üzerinde önemli derecede olumsuz etki oluşturan sera gazı emisyonlarına dikkatlerin çekilmesini sağlamıştır. İklim değişikliği konusunda uluslararası alanda atılan en önemli adım olarak kabul edilen, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında, 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü sera gazı salınımlarını azaltma konusundaki çalışmaların geliştirilmesi ve belli taahhütler ile azaltım hedefleri oluşturulmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada, sera gazı emisyonlarının, iklim değişikliği üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak, sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik geliştirilen, piyasa temelli uygulama olan emisyon ticareti ele alınmıştır. Kyoto Protokolü ve yönnergeler doğrultusunda emisyon ticaret sistemi tanımlamaları ve örnek uygulamalar değerlendirilmiştir; ilk çok ulusal emisyon ticaret sistemi olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret sistemi ve Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi uygulamalarından sonra başlayan, ilk zorunlu ulusal emisyon ticaret sistemi olan Yeni Zelenda Emisyon Ticaret Sistemi verileri incelenmiştir. Ayrıca, istatistiksel analiz metodu olan sentetik kontrol yaklaşımı ile Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin 2005-2020 yıllarını kapsayan dönemi için çalışma yapılmıştır.

Emisyon ticaret sistemi, düşük karbonlu ekonomi süreçlerine göre işletmelerin üretim süreçlerini geliştirmeye teşvik etmektedir. Belirlenen üst sınırın aşılması durumunda, tahsisata sahip olan şirketlerden satın alının yapılabildiği piyasalarda, ilerleyen dönemlerde üst sınırlarında düşürüleceği göz önünde bulundurulduğunda, sera gazı salımının azaltılmasını sağlayan yenilikçi teknolojilerin uygulanmasına üretici firmalar teşvik edilmektedir. Tahsisat fazlası olanların da bu tahsisatlarını, emisyon ticaret sistemi dahilindeki piyasalarda işlem görmesini sağlayarak gelir elde etme imkanını sunmaktadır. Yine teşvik edici uygulamalar ile yenilenebilir enerji üretimi neticesinde kazanılan sertifikalar karbon kredisine dönüştürülmemekte, bu krediler zorunlu piyasalarda işlem görerek gelir elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sera Gazı, Emisyon Ticareti, İklim Değişikliği, Kyoto Protokolü, Karbon Kredisi.

ABSTRACT

The increasing impact of the climate change crisis has drawn attention to greenhouse gas emissions that cause changes in atmospheric temperature, occur as a result of human-induced activities and have a significant negative impact on climate change. The Kyoto Protocol, which was signed in 1997 within the scope of the United Nations Framework Convention on Climate Change, which is considered the most important step taken internationally regarding climate change, has enabled the development of studies on reducing greenhouse gas emissions and the establishment of reduction targets with certain commitments.

In this study, considering the effects of greenhouse gas emissions on climate change, emission trading, which is a market-based application developed to reduce greenhouse gas emissions, has been discussed. Emission trading system definitions and sample applications have been evaluated in line with the Kyoto Protocol and guidelines; data on the European Union Emission Trading System, which is the first multinational emission trading system, and the New Zealand Emission Trading System, which is the first mandatory national emission trading system that started after the European Union Emission Trading System applications, have been examined. In addition, a study was conducted for the period covering the years 2005-2020 of the European Union Emissions Trading System with the synthetic control approach, which is a statistical analysis method.

The emissions trading system encourages businesses to develop their production processes according to low-carbon economy processes. In the event that the determined upper limit is exceeded, in the markets where purchases can be made from companies with allocations, considering that the upper limits will be reduced in the future, manufacturing companies are encouraged to implement innovative technologies that reduce greenhouse gas emissions. It also offers the opportunity to generate income by allowing those with excess allocations to trade in markets within the emissions trading system. Again, with incentive applications, certificates earned as a result of renewable energy production are converted into carbon credits, and these credits help generate income by being traded in mandatory markets.

Keywords: Greenhouse Gas, Emission Trade, Climate Change, Kyoto Protocol, Carbon Credit.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamda çok kıymetli desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ' a, bütün çalışmam boyunca beni destekleyen değerli arkadaşım Mesut ÖZDEN' e, çalışmalarımda her zaman yanımdayan değerli ailem, annem, babam ve kardeşim ve meslektaşım Furkan UZATICI' ya en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti, Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
1.2. Projenin Amacı	3
2. SERA GAZI EMİSYONU VE ETKİLERİ	4
2.1. Sera Etkisi Kavramı	4
2.2. Sera Gazları ve Oluşum Kaynakları	6
2.3. Sera Gazlarının İklim Değişikliği Üzerine Etkileri	10
2.3.1. İklim Değişikliği Kavramı ve Etkileri	11
2.4. İklim Değişikliğine Karşı Atılan Adımların Özeti	14
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KARŞI ULUSLARARASI ANLAŞMALAR	16
3.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi	17
3.2. Kyoto Protokolü	18
3.2.1. Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları	18
3.2.1.1. Temiz Kalkınma Mekanizması	19
3.2.1.2. Ortak Uygulama Mekanizması	19
3.2.1.3. Emisyon Ticareti	20
3.3. Paris Anlaşması	21
3.4. Sınırda Karbon Mekanizması Düzenlemesi	22
4. SERA GAZI EMİSYONU AZALTILMASINDA KARBON TİCARETİni ROLÜ	24
4.1. Karbon Vergisi	27
4.2. Karbon Piyasaları	29
4.3. Emisyon Ticareti	30
4.3.1. Emisyon Ticaret Sisteminin Uygulanması	31
4.3.2. Karbon Vergisi	32
4.3.3. Emisyon Ticaretinde Kredilendirme	34
4.4. Emisyon Ticaret Sistemleri	34
4.4.1. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi	37
4.4.1.1. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin Kuruluşu	38
4.4.1.2. Avrupa Birliği Ticaret Sistemi Aşamaları ve Gelişimi	41
4.4.1.3. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemine İlişkin Verilerin Değerlendirilmesi	49

4.4.2. Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi	53
4.4.3. Emisyon Ticaret Sistemleri Verilerinin Değerlendirilmesi	58
5. SENTETİK KONTROL METODU İLE AB ETS' NİN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	63
5.1. Karşılaştırmalı Vaka Analizi	63
5.2. Farkların Farkı Yöntemi	64
5.3. Karşı Olgusal (Counterfactual) Yaklaşım	64
5.4. Sentetik Kontrol Metodu	64
5.5. Araştırmanın Dizayn Edilmesi	69
6. SONUÇ	74
 KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	81
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	82

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CO_2	: Karbondioksit
H_2O	: Su
CH_4	: Metan
N_2O	: Diazotmonoksit
O_3	: Ozon
CFC	: Kloroflorokarbon
HFCs	: Hidrofluorokarbonlar
PFCs	: Perfluorokarbonlar
GSYİH	: Gayrisafi Yurtıcı Hasıla
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
AB	: Avrupa Birliği
UK	: United Kingdom (Birleşik Krallık)
ETS	: Emisyon Ticaret Sistemi
EDGAR	: The Emission Data for Global Atmospheric Research
IPCC	: Intergovermental Panel on Climate Change
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
SKDM	: Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması
MtCO_2e	: Metrik ton karbondioksit eşdeğeri
AKAKDO	: Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişimi ve Ormancılık

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Sera etkisinin şematik gösterimi.	4
Şekil 2.2: Sera gazı emisyon oranları, 1990 ve 2021.	7
Şekil 2.3: Karbondioksit emisyonlarının yıllar içerisindeki değişimi.	8
Şekil 2.4: WEO-2021 senaryolarına göre küresel medyan yüzey sıcaklığının 2100 yılına kadar tahmin edilen artışı.	13
Şekil 4.1: Küresel toplam sera gazı emisyonlarının yıllara göre değişimi.	24
Şekil 4.2: Karbon fiyatının belirlenmesinde piyasalar.	27
Şekil 4.3: Karbon ticareti sisteminin oluşum süreci.	31
Şekil 4.4: Karbon ticareti çalışma şematiği.	32
Şekil 4.5: Zorunlu ve gönüllü karbon piyasaları şematiği.	33
Şekil 4.6: AB-27 Ülkelerinin enerji endüstrisi (elektrik ve ısısı üretimi, petrol işlenmesi, katı yakıt üretimi ve diğer enerji endüstrileri) kaynaklı sera gazı emisyonlarının yıllık değişimi.	39
Şekil 4.7: AB-27 Ülkelerinin toplam sera gazı emisyonlarının yıllık değişimi.	40
Şekil 4.8: AB ETS 2005-2007 dönemi, sabit yatırımlardan kaynaklı sera gazları için ücretsiz tahsisatlar ve doğrulanmış emisyon verilerinin yıllara göre değişimi.	42
Şekil 4.9: AB ETS 2008-2012 dönemi, sabit yatırımlardan kaynaklı sera gazları için ücretsiz tahsisatlar ve doğrulanmış emisyon verilerinin yıllara göre değişimi.	43
Şekil 4.10: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi karbon fiyatlarının yıllara göre değişimi.	45
Şekil 4.11: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi kapsamında doğrulanmış emisyonların bir önceki yıla göre değişim oranları (2. aşama).	45
Şekil 4.12: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi tahsisatlar ve doğrulanmış emisyonların yıllara göre değişimi (ab-27, birleşik krallık, İzlanda, Norveç ve Lihtenştayn ülkelerinin sabit yatırımlardan ve havacılık sektörlerinden kaynaklı toplam emisyonları).	47
Şekil 4.13: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi kapsamında doğrulanmış emisyonların bir önceki yıla göre değişim oranları (3. aşama).	48
Şekil 4.14: AB-27 Ülkelerinin doğrulanmış emisyon (yakıt tüketimi kaynaklı ve sabit yatırımlardan kaynaklı) miktarlarının yıllara göre değişimi.	50
Şekil 4.15: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilindeki ülkelerin (AB-27, UK, İzlanda ve Norveç) kişi başına düşen toplam sera gazı emisyon miktarlarının yıllara bağlı değişimi.	51
Şekil 4.16: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilindeki ülkelerin (AB-27, UK, İzlanda ve Norveç).	52
Şekil 4.17: Yeni Zelanda 1990-2022 yılları arası sera toplam net sera gazı emisyonları.	54
Şekil 4.18: Yeni Zelanda ETS doğrulanmış emisyon miktarları.	56
Şekil 4.19: Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde kişi başına düşen toplam sera gazı emisyon miktarlarının yıllara bağlı değişimi.	57
Şekil 4.20: Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde a) Toplam sera gazı emisyonları, b) Toplam gayri safi yurt içi hasila.	58

Şekil 4.21: a) Küresel toplam sera gazı emisyonlarının yıllara bağlı değişimi, b) GSYİH başına düşen küresel sera gazı emisyonlarının yıllara bağlı değişimi.	61
Şekil 5.1: Kişi başına düşen CO ₂ emisyonlarının yıla bağlı değişimi: AB-15 ve sentetik grup karşılaştırması.	72
Şekil 5.2: AB-15 ile sentetik grup arasındaki kişi başına düşen CO ₂ emisyonu farkı.	73



TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: CO ₂ emisyonunun antropojenik kaynakları.	8
Tablo 2.2: Yüzey sıcaklığında değişme olmaması senaryosuna göre, artan sıcaklıklardan kaynaklanan ekonomik kayıpların GSYİH yüzdesi olarak simülasyonu.	14
Tablo 4.1: Karbon Vergisi Uygulayan Ülkeler (2023 Yılı Sonu İtibarıyle Güncel Durum).	28
Tablo 4.2: Uygulamada olan emisyon ticaret sistemleri ve başlangıç yılları.	36
Tablo 5.1: Donör Havuzu Ülkeleri.	69
Tablo 5.2: Bağımsız Değişkenler.	70
Tablo 5.3: Öngörülerin Ortalama Değerleri (Müdahale Öncesi Dönem İçin).	70
Tablo 5.4: Öngörü Katsayıları.	71
Tablo 5.5: Sentetik (donör havuzu) kontrol birimlerinin ağırlıkları.	72

1. GİRİŞ

İklim değişikliği krizinin gün geçtikçe etkisini daha fazla arttırması, atmosfer sıcaklığında değişikliklere neden olan, insan kaynaklı faaliyetler sonucunda oluşan, sera gazı emisyonlarına dikkatlerin çekilmesini sağlamıştır.

18. yüzyılda başlayan sanayi devrimi ile ülkelerin gelişmişlik düzeyi hızla artarken, endüstrileşmenin getirdiği yüksek miktarda fosil yakıt kullanımı, enerji üretimi, demir-çelik sanayi, çimento endüstrisi vb. çevreye kirletici etkisi yüksek olan sektörlerin gelişmesi, çevrenin artan ivme ile kirlenmesine neden olmuştur.

Başta karbon içerikli emisyonlar olmak üzere, ozon tabakasının da olumsuz etkilenmesine sebep olan, flor içerikli gazların atmosferdeki konsantrasyonlarının artması mevcut sera etkisinin yükselmesine katkı sağlamakta, bu durum küresel ısınmaya neden olmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) tarafından yayınlanan 6. Değerlendirme Raporunda, 2011-2020 yıllarında yeryüzü sıcaklığının 1850-1900 dönemine nazaran $1,1^{\circ}\text{C}$ üzerinde olduğu belirtilmektedir [IPCC, 2021]. İklim değişikliğine karşı önlem alınmaması durumunda, kısa dönem içerisinde daha fazla sıcaklık artışı gerçekleşmesi beklenmektedir.

Küresel ısınmanın etkisiyle son yıllarda artan kuraklık, aşırı sıcaklık vb. ekstrem hava olayları ile karşılaşılmaktadır. Bu durum, tarımsal üretimden sosyal yaşama kadar olumsuzluklara neden olmaktadır. Son yıllarda artan kuraklık neticesinde zeytin ve zeytin yağı üretimi, kahve üretimi vb. tarım endüstrisi olumsuz etkilenmektedir. Tarımsal üretimdeki üretim eksikliği gıda krizinin önünü açmaktadır, bu durum dolaylı olarak insan sağlığı, bireysel ve toplumsal gelişmenin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır.

1.1. Literatür Özeti, Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Emisyon ticareti kavramı ile ilgili 20. yüzyıl başlarında tartışma ve fikirler geliştirilmeye başlamıştır. Ancak ilk ulusal ve zorunlu emisyon ticaret sistemlerinin uygulamaları 21. yüzyılın başlarında hayataya geçmiştir.

İklim değişikliğinin olumsuz etkileri ve iklim değişikliğine neden olan faktörler üzerinde geniş bir kesimde ve otoritede fikir birliği bulunmaktadır. Ancak iklim değişikliğine neden olan faktörler ve alınması gereken önlemler üzerinde devam eden tartışmalar süre gelmektedir. 1990'lı yıllarda uluslararası kamuoyunun önem göstermesi ile iklim değişikliğine karşı somut adımlar atılmasına yönelik önemli kararların alınması ve yükümlülükler getiren sözleşmelerin kabulü ve imzalanması süreçleri başlamıştır.

Emisyon ticaret sistemleri, yakın geçmişte başlayan uygulamalar olması nedeniyle sistemlerin işleyişinin doğruluğu, sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerindeki etkileri birden çok değişken faktör olması nedeniyle kesin kabul gören veriler ile değerlendirilmesi mümkün olamamıştır.

Jung vd. (2023) tarafından emisyon ticaret sisteminin karbon emisyonları oranı üzerindeki değişimin etkisinin değerlendirilmesine yönelik çalışma yapılmıştır. Çalışmada, emisyon ticaret sistemi olmaması varsayımlı ile karşılaştırma yapılmış, Çevresel Kuznet Eğrisi teorisi ile inceleme ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Ellerman vd. (2003), Amerika Birleşik Devletleri'ndeki emisyon ticaret sistemi çalışmalarını değerlendirmiştir. 1970' li yıllarda bazı eyaletlerde yapılan çalışmalar başarısızlıkla sonuçlansa da 1980' lerin ortalarında, rafinerilerin kurşun içeriğinde zorunlu azaltımları aşan oranda otomatik olarak kredi kazanmalarına ve bu kredileri başkalarına satmalarına olanak tanıyan bir program kapsamında benzindeki kurşun içeriğinin yüzde 90 oranında azaltılmasıyla gerçekleştiği belirtilmektedir.

Babiker vd. (2004) emisyon ticaret sisteminin her zaman yararlı olup olmadığına dair, **Elitaş ve Çetin (2011)** karbon ticareti ve karbon bankacılığı üzerine, **Akbelen (2019)** karbon vergileri ve emisyon ticaret sistemleri üzerine çalışmalar yaparak Türkiye' de uygulanabilirliğini tartışmıştır.

İstatistiksel veri analizine dayanan sentetik kontrol metodu yaklaşımı ile yapılan çalışmalar bulunmaktadır. **Almer ve Winkler (2012)** sentetik kontrol yaklaşımı ile Kyoto Protokolü emisyon hedeflerinin karbondioksit emisyonları üzerine etkisini incelemiştir. **Beydemir (2016)** ise sentetik kontrol yaklaşımı ile emisyon ticaret sisteminin karbondioksit emisyonları üzerine etkisini incelemiştir.

Bu çalışmada sera gazlarının azaltılmasına yönelik geliştirilen azaltım yöntemleri değerlendirilerek, emisyon ticaret sistemi mekanizmaları ele alınmıştır. İlk çok uluslu

emisyon ticaret sistemi olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) ve global ticaret bakımından daha izole olan ve AB ETS' den sonra kurulan ilk ulusal emisyon ticaret sistemi olan Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi verileri incelenmiştir. Sentetik kontrol metodu yaklaşımı ile Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin etkinliği analiz edilmiştir. Ayrıca, ilerideki çalışmalara katkı sağlayacak güncel emisyon ticaret sistemi uygulamaları ve verileri ele alınmıştır.

1.2. Projenin Amacı

Bu çalışmada, sera gazı emisyonlarının, iklim değişikliği üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak, sera gazı salınımlarının azaltılmasına yönelik geliştirilen, piyasa temelli uygulama olan emisyon ticaret sistemi ele alınmıştır. Kyoto Protokolü ve önergeler doğrultusunda emisyon ticaret sistemi tanımlamaları ve örnek uygulamalar değerlendirilmiştir; ilk çok uluslu emisyon ticaret sistemi olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret sistemi incelenmiştir.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına emisyon ticareti etkilerini değerlendirmek amacı ile bu çalışma gerçekleştirılmıştır. Çalışmada Avrupa Birliği Emisyon Ticaret sistemi verileri incelenmiş ve sentetik kontrol metodu yaklaşımı ile emisyon ticaret sisteminin sera gazı emisyonunun azaltılmasındaki rolü değerlendirilmiştir.

2. SERA GAZI EMİSYONU VE ETKİLERİ

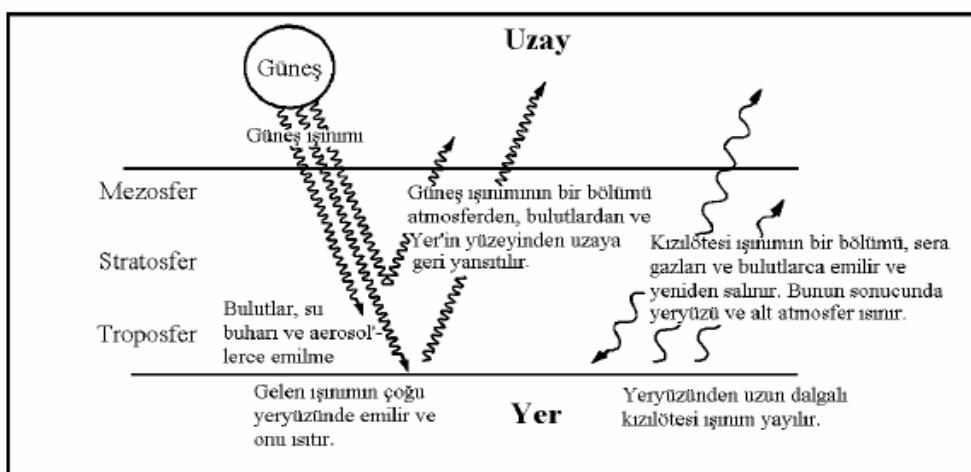
Yaşamın temel kaynağı olan güneş, dünya üzerinde ısı ve ışık kaynağı olmasının yanı sıra, bitkilerin fotosentezi gerçekleştirmesini sağlayan en önemli varlıklıdır.

Doğal denge içerisinde atmosferde bulunan su buharı, karbondioksit, metan, ozon gibi gazların yanı sıra antropojenik kaynaklardan meydana gelen sera gazları konsantrasyonlarının atmosferde miktarlarının artması hava kirliliğine neden olmaktadır.

Atmosferde yüksek konsantrasyonlara ulaşan bu gazlar yer küre yüzeyinden yansiyan güneş ışınlarının atmosfer dışına çıkışını engellemektedir. Bu durum sera etkisi yaratarak atmosferin olağan sıcaklığının zaman içerisinde yükselmesine neden olmaktadır.

2.1. Sera Etkisi Kavramı

Güneş ışınları yaşamın temelini oluştururken, radyasyon içeriği olan zararlı ışınları da içermektedir. Atmosferi çevreleyen ozon tabakası zararlı ışınların filtrelenmesini sağlarken, yeryüzüne ulaşan ışınların bir kısmı da yansıyarak tekrar atmosfer dışına çıkmaktadır. Sera etkisinin şematik gösterimi **Şekil 2.1'** de gösterilmiştir [Türkeş vd., 2001].



Şekil 2.1: Sera etkisinin şematik gösterimi.

Ağırlıklı olarak karbon içeriği olan gazların atmosferdeki konsantrasyonlarının artması sonucunda, yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının, artan bu gaz konsantrasyonu nedeniyle atmosfer dışına çıkması kısıtlanır. Yansıyan güneş ışınlarının atmosferde tutulmasına neden olan bu gazlar, atmosferin olağan sıcaklığının artmasına neden olmakta ve atmosferde sera etkisi oluşturmaktadır. Bu nedenle bu gazlara sera gazları, bu gazların belirli kaynaklardan salınımına ise sera gazı emisyonu adı verilmektedir.

Yeryüzünden yayılan uzun dalga ısı, atmosferin üst katmanlarında bulunan ve sera etkisi yaratan gazlar tarafından tutulur. Doğal sera gazı olarak adlandırılan bu gazlar arasında su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazotmonoksit (N_2O) ve ozon (O_3) bulunur. Sera gazlarının bu tutucu etkisi, gezegenimizin sıcaklığını dengelemeye yardımcı olur, ancak insan etkisiyle bu gazların atmosferdeki miktarları artmaktadır. Bu da küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle, sera gazlarının kontrol altına alınması ve azaltılması, çevresel koruma açısından büyük önem taşımaktadır [**Türkeş, 2001**].

Atmosfer bilimcileri tarafından sera etkisi kavramı 19. yüzyıl sonlarında kullanılsa da olumsuz etkilerinden ziyade atmosferde bulunan gazların iklim üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile ele alınmaktadır. Endüstriyel faaliyetlerin artması ile dünya genelinde atmosferde bulunan sera gazı emisyonlarının konsantrasyonlarının yükselmesi neticesinde sera etkisinin olumsuz anlamda etkileri ele alınmaya başlanmıştır. Bununla beraber, doğal denge içerisinde sera gazlarının bulunmaması durumunda dünya üzerindeki yaşam döngüsünün mümkün olmayacağı da göz ardı edilmemelidir.

Sera gazları, iki veya daha fazla atomdan oluşan gazlardır. Bu moleküller yapıları, gazların daha fazla ısı tutmasını sağlar ve ısıyı yeryüzüne ileter. Bu süreç, atmosferdeki ısının artmasına yol açan bir döngüyü başlatır.

Karbondioksit gazı, sera gazı etkisine önemli derecede katkıda bulunan bir bileşiktir. İki oksijen ve bir karbon atomundan oluşan bu molekül atomları birbirine sıkıca bağlıdır. Karbondioksit molekülü, kızılıtesi ışınları emdiğinde, titreşimsel enerjisi artar ve bu enerjinin artışı, molekülü daha fazla kızılıtesi ışın emme kapasitesini artırır. Bu emilim-emisyon-emilim döngüsü, yer yüzeyinin uzayın soğuk etkilerinden yalıtlmasına ve ısının yer yüzeyine yakını tutulmasına sebep olur [**Kweku vd., 2017**].

Atmosferdeki karbon dioksit yoğunluğu sanayi devriminin başladığı günden bu yana %40 oranında artmış, 1800' lü yıllarda yaklaşık 280 ppm seviyesinden günümüzde 400 ppm seviyesine çıkmıştır [Kweku vd., 2017].

Artan sanayileşme ile fosil yakıtların üretimi ve tüketimi, tarım faaliyetleri, anız yakma, çeşitli kimyasalların kullanımı sonucu ortaya çıkan atıklar ve diğer endüstriyel faaliyetler gibi insan kaynaklı bazı etkinlikler, atmosferdeki sera gazlarının, özellikle CO₂, CH₄ ve N₂O'nun konsantrasyonlarını artırarak bu gazların neden olduğu sera etkisini, küresel ısınmaya neden olacak boyutta zararlı hale getirmiştir.

İnsan faaliyetleri, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artmasına büyük ölçüde neden olmuştur. Fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz) üretimi ve tüketimi, bu gazların salinimındaki en önemli kaynaklardan biridir. Elektrik üretimi, ulaşım, sanayi üretimi gibi sektörlerde fosil yakıtların yanması, büyük miktarda karbondioksit (CO₂) salinimina yol açmaktadır. Ayrıca, metan (CH₄) ve azotoksit (N₂O) gibi diğer sera gazları da önemli ölçüde salınımaktadır.

Ayrıca, orman yangınları, çalı yakma ve toprak işleme gibi tarımsal faaliyetler, karbonu serbest bırakmakta ve bu da karbon salinimının artmasına neden olmaktadır. Ormanların yok edilmesi (ağaç kesimi ve orman yangınları gibi) CO₂'nin serbest kalmasına neden olur; çünkü ağaçlar atmosferden karbonu emmektedir. Bu süreçler, dünya genelindeki sera gazı emisyonlarının artmasına ve küresel ısınmaya yol açmaktadır.

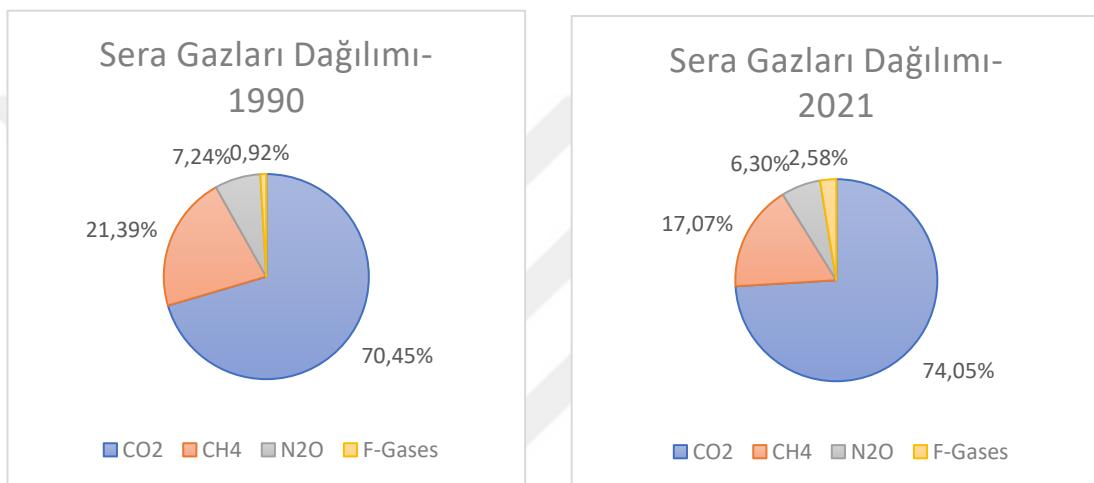
Bu sera gazlarının atmosferdeki birikimi, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi çevresel sorunları tetikleyerek, hava sıcaklıklarının artmasına, deniz seviyelerinin yükselmesine ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıtların kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve sera gazı emisyonlarını sınırlamaya yönelik küresel çabalar önemlidir.

2.2. Sera Gazları ve Oluşum Kaynakları

Sera gazları, metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), diazotmonoksit (N₂O), Hidrofluorokarbonlar (HFCs), Perfluorokarbonlar (PFCs), Kükürtheksaflorür (SF₆) gazlarıdır. Atmosferde sera gazı etkisine neden olan bu gazların etkisi ile yeryüzü ve atmosfer sıcaklığının artması küresel ısınma olarak adlandırılmaktadır. Bazı uzmanlar

su buharının da sera etkisi yaptığını göz önünde bulundurmaktadır. Su buhari konsantrasyonu kirletici tutma kapasitesine sahip olduğu için sera etkisine neden olmaktadır. Ancak su buharı doğal döngü içerisinde bulunduğuundan sera gazlarından ayrı tutulmaktadır.

Sera gazları hem doğal hem de insan kaynaklı olarak, atmosferdeki kızıl ötesi radyasyonu emen ve yayan gaz oluşumları şeklinde tanımlanmaktadır [UNFCCC, 1992]. Sera gazlarının dağılımlarının 1990 ve 2021 yıllarına ait değişimleri **Şekil 2.2**'de verilmektedir [**Web 1**].



Şekil 2.2: Sera gazı emisyon oranları, 1990 ve 2021 (arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği, ormancılık dahil).

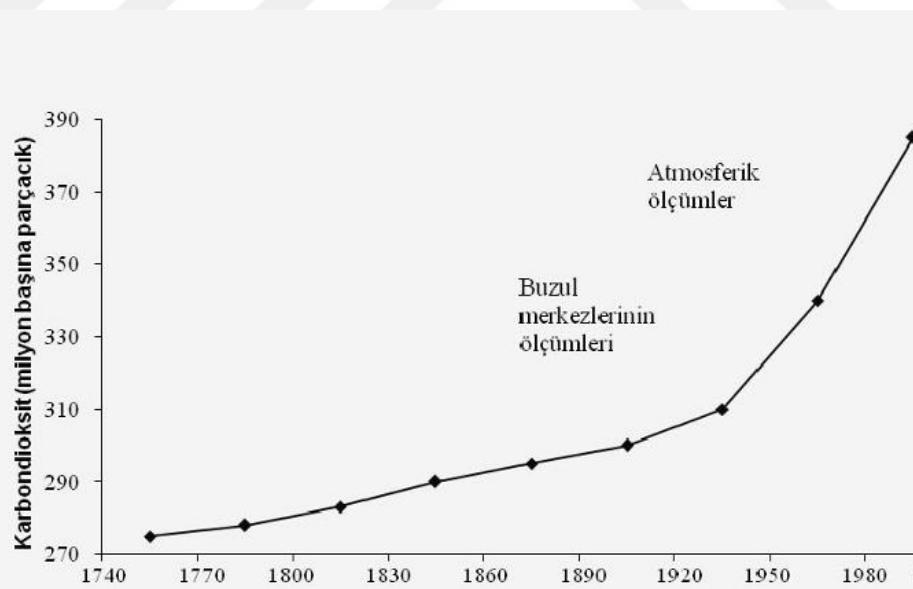
2021 yılı verilerine göre atmosfere salınan sera gazlarının %74,05' i karbondioksit, %17,7' si metan, %6,1' i azotdioksit ve %3,1' i küükürt hekzaflorür ve diğer florlu gazlardır.

Sera gazı emisyonları doğal kaynaklardanoluştuğu gibi insan faaliyetleri neticesinde yüksek miktarda oluşmaktadır. Şehirleşme, ormansızlaştırma, anız yakma, hayvancılık, gübreleme, çeltik üretimi vb. tarımsal faaliyetler nedeniyle sera gazlarının miktarı hızla artmıştır [**Öztürk ve Tiftikçigil, 2022**].

Tablo 2.1: CO₂ emisyonunun antropojenik kaynakları.

Doğrudan CO ₂ emisyonu üreten faaliyetler		Tüketim sektörleri
Fosil yakıt kullanımı	Elektrik ve ıslı üretimi	Sanayi sektörü
		Konut ve ticari sektör
		Elektrik-ulaştırma sektörü
Ulaştırma (elektriksiz)		
Endüstriyel süreçler	Kireç, çimento, alüminyum, kok ve çelik, hidrojen ve amonyak üretimi	
Toprak kullanımı değişikliği	Ormanlık alanların tahrifatı	

Sera gazları emisyonu, hayvancılık ve doğal sebeplere dayansa da sanayinin etkisi çok yüksektir. Başta fosil yakıtlarının kullanılması, artan emisyon miktarları her geçen gün sera gazı konsantrasyonunun artmasında neden olmaktadır. **Tablo 2.1’** de doğrudan CO₂ emisyonu üreten faaliyetler ve tüketim sektörleri gösterilmektedir [Değirmen ve Şanlı, 2022]. Karbondioksit emisyonlarının yıllar içerisindeki değişimi **Şekil 2.3’** de verilmiştir.



Şekil 2.3: Karbondioksit emisyonlarının yıllar içerisindeki değişimi.

Son yarım milyon yıl içinde dünya, dört buzul çağının ve bunları ayıran dört sıcak dönem yaşayarak iklim değişimlerini deneyimlemiştir. Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'daki buzullar geniş alanlara yayılmış ve daha sonra eriyerek deniz seviyesinde büyük

değişikliklere neden olmuştur. Bu süreç boyunca atmosferdeki karbondioksit (CO_2) birikimi, milyon başına 300 partikülü geçmemiştir. Ancak 2007 yılında atmosferde bulunan CO_2 seviyesi 380 partikülü aşmıştır. Diğer sera gazları da (CFC'ler) eklenince bu rakam 430 partikülü aşmaktadır [**Arslan, 2007**].

Atmosferde biriken CO_2 gazi miktarı, **Şekil 2.3'** de de görülebileceği gibi, iklim ölçümelerinin başladığı 1744 yılında yaklaşık olarak milyonda 273 partikül düzeyinde iken sanayi devriminin hızlanmasıyla birlikte bu miktar sürekli artmış ve 1950'de 310 partikülü geçmiştir. 1950 yılından sonra CO_2 yoğunluğundaki artış hızı daha da ivme kazanarak 2007 yılında 380 partikül düzeyine ulaşmıştır [**Flavin ve Kitasei, 2010**].

Sera gazları oluşumuna neden olan sektörler/kaynaklar Kyoto Protokolü'nde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, enerji sektörü, endüstriyel işlemler, Çözücü ve diğer ürün kullanımı, tarım ve atık olmak üzere beş ana başlıkta yapılmıştır [**Kyoto Protocol, 1998**].

Kyoto Protokolü kapsamında yapılan sınıflandırmada;

- Enerji sektörü; enerji endüstrileri, imalat endüstrileri ve inşaat, ulaşırma, diğer sektörler ile katı yakıtlardan, petrol ve doğalgazdan vb. yakıtlardan kaynaklanan kaçak salımlar
- Endüstriyel işlemler; mineral ürünler, kimyasal ürünler, metal üretimi, diğer üretim,
- Halokarbonlar ve kükürt heksaflorürlerin üretimi; Halokarbonlar ve kükürt heksaflorürlerin tüketimi ve diğer
- Çözücü ve diğer ürün kullanımı
- Tarım; Bağırsak fermantasyonu, çiftlik gübresi yönetimi, çeltik yetiştiriciliği, tarımsal topraklar, öngörülmüş çayırların yakılması, tarımsal kalıntıların tarlada yakılması, diğerleri
- Atık sektörü ise arazide katı atık bertarafı; atıksu işlemesi, atık yakma, diğer olarak kategorize edilmiştir [**Kyoto Protocol, 1998**].

2.3. Sera Gazlarının İklim Değişikliği Üzerine Etkileri

Sanayileşme sonrası atmosferdeki konsantrasyonları hızla artan sera gazı emisyonları küresel ısınmanın ana faktörü olup, sera gazlarının azaltılmasına yönelik önlem alınmadığı takdirde, bu gazların iklim değişikliğinin önlenemez şekilde gerçekleşmesine neden olması aşikardır.

Sera gazlarının atmosferde neden oldukları sıcaklık artışları üç temel faktöre bağlıdır. Bunlar; gazların ısısı tutma özellikleri, atmosferde bulunma miktarları ve atmosferde yaşama süreleridir [**Çetintaş vd., 2016**].

Atmosfer hava sıcaklığının artmasının, iklim üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bu durum yağış koşullarının değişmesine neden olduğundan kuraklık ya da aşırı yağışlara neden olmaktadır.

İklim değişikliğine neden olan en büyük etkenlerden biri olan artan sera gazı salınımı, atmosfer sıcaklığında değişikliğe neden olduğu için yağış rejiminde beklenmedik değişimlere neden olurken, birbirleriyle etkileşim içerisinde olan rüzgar, buharlaşma, sis vb. tüm doğa olaylarını etkilemektedir. Doğadaki dengenin bozulmasına neden olan bu durum tarımsal üretimde verimsizliğe yol açmaktadır.

Küresel ısınmanın etkileri gün geçtikçe artan şekilde belli olmaktadır. Sıcaklık artışları, yağış rejiminin değişmesi, deniz seviyesindeki yükselme, artan sıklıkla oluşan kuraklık, sel, yüksek sıcaklık, tufan gibi ekstrem hava olayları tarımsal üretim verimliliğini azaltmakta, gıda tedarik zincirlerini bozmaktadır [**IFPRI, 2022**].

Uluslararası Gıda ve Kalkınma Politikaları Araştırma Enstitüsü tarafından 2022 yılında yayınlanan Küresel Gıda Politikası Raporunda, iklim değişikliğinin, 2050 yılına kadar dengesiz beslenme ve yoksulluk riskiyle, milyonlarca kişinin açlık tehlikesi ile karşı karşıya kalacağı belirtilmiştir.

Küresel ısınma sonucu dünya yüzeyine yakın hava sıcaklığındaki artış, 21. yüzyılda, ortalama $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ olmuştur. Bu artış 2005 yılında sona eren geçmiş yüz yıllık süreç içerisinde ise $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselmiştir. Yapılan iklim modeli projeksiyonlarına göre ortalama küresel yüzey sıcaklığının 21. yüzyılda $1,1\text{--}6,4^{\circ}\text{C}$ arasında daha da yükselebileceği belirtilmektedir [**Sağlam vd., 2008**].

1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde ele alınan iklim değişikliği tehdidi üzerine, 2016 Paris Anlaşması ile 2030 yılına kadar atmosfer

sıcaklığındaki artışın $1,5^{\circ}\text{C}$ derecede tutulabilmesi için atılması gereken adımlar ve yükümlülükler belirlenmiştir.

2.3.1. İklim Değişikliği Kavramı ve Etkileri

İklim tanımlaması, yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlemlenen tüm hava koşullarının ortalama durumu olarak yapılmaktadır [**Türkeş vd., 2001**]. Yağmur, sis, kar, dolu, basınç değişiklikleri, deniz yüzeyi hareketleri, atmosferik diğer olaylar iklim bilimi incelemeleri için kaydedilmekte ve ileriye dönük tahmin ve bekłentilerin her geçen gün yüksek doğrulukla bilinmesini sağlamaktadır.

İklim, magma hareketleri dahil birçok doğal etkenler ile değişikliğe uğramaktadır. Doğal denge içerisindeki değişiklikler olumsuz yönde olsa da doğanın, kendi kendini yenilemesi olarak da adlandırılan, olumsuzlukları tolere edebilme özelliği bulunmaktadır.

Belirli bir bölgede çok sık gözlemlenmeyen hava olaylarının şiddetindeki ve sayısındaki belirgin artış, iklim değişikliğinin etkilerine işaret etmektedir. İklim verilerinde uzun süreli yaşanan istatistiksel olarak anlamlı değişimler, iklim değişikliği olarak tanımlanmaktadır [**Sayman vd., 2015**].

İnsan faaliyetleri neticesinde (antropojenik etmenler) oluşan çevre kirliliği, doğal kaynakların kontrollsüz kullanımı, doğanın tahribatı ile doğal iklim değişikliği hızlandırarak geri döndürülemez boyutlara ulaşmaktadır. Hükümetlerarası İklim değişikliği Paneli' nin değerlendirme raporu ile iklim değişikliğinin asıl nedeninin antropojenik etmenler olduğu belirtilmektedir [**Demirbaş ve Rozelin, 2020**].

Nüfus artışına bağlı olarak artan talep sanayileşmeyi hızlandırmakta ve doğal kaynak kullanımı her geçen gün artmaktadır. Çevre kirliliği ve iklim değişikliği üzerindeki etkileri ile ilgili toplumlar üzerinde farkındalık oluşturulmaması ve eğitim eksikliği başta kaynak kullanımındaki bilinçsizlik ile çevre kirliliğinin önlenmesi bakımından büyük eksiklikler olduğunu açıkça göstermektedir.

Gözlemlenen tüm hava koşullarının ortalama durumda değişikliklerin neden olduğu, iklim değişikliğinin göstergesi olan belirtiler gün geçtikçe artmaktadır. Gözlenen bazı değişiklikler su şekilde sıralanabilir [**Bilgiç, 2017**]:

- Yağmurun genellikle şiddetli sağanaklar şeklinde yağması,
- Buzulların erimesi,
- Deniz suyu seviyesindeki değişimler,
- Orman yangınlarının artması,
- Buharlaşma ve yağmur miktarının artması
- Ortalama hava sıcaklıklarının yükselmesi
- Fırtına ve sel hasarlarının artması

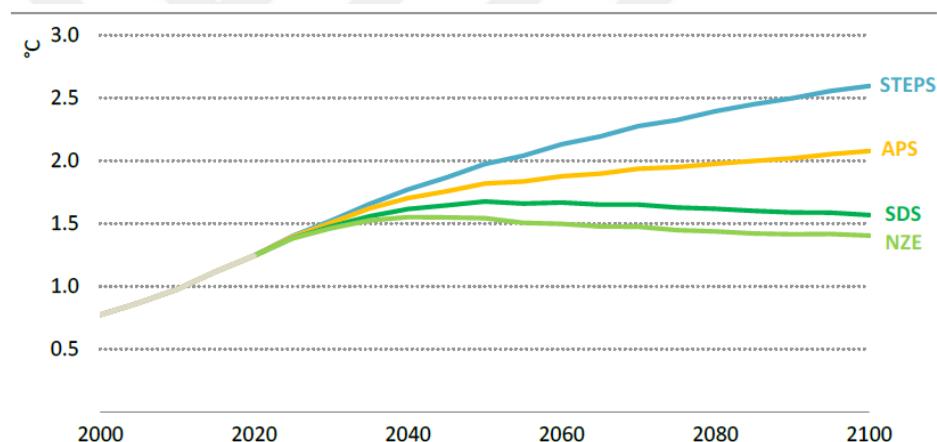
Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından 2023 yılında yayımlanan İklim Değişikliği Sentez Raporunda iklim değişikliğinin bazı olumsuz etkileri şunlardır [IPCC, 2023]:

- Gözlemlenen deniz seviyesi yüksekliği 1971-2006 yılları arasında yılda ortalama 1,9 (0,8 - 2,9) mm yükselmişken, 2006-2018 yılları arasında yılda ortalama 3,7 (3,2 – 4,2) mm yükselmiştir.
- Küresel hava sıcaklığı 2011-2020 yılları arasında, 1850-1900 yılları ortalamasına göre yaklaşık $1,1^{\circ}\text{C}$ ısınmıştır.
- Yaklaşık 3,3 – 3,6 milyar insan iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı savunmasız yaşamaktadır. 2010-2020 yılları arasında, kuraklık, sel, fırtınaların sebep olduğu insan ölümleri, çok düşük hassasiyetli bölgelere kıyasla hassas bölgelerde 15 kat daha fazla gerçekleşmiştir.
- Antropojenik kaynaklı küresel sera gazları emisyonları 2019 yılında $59 \pm 6,6$ Gt CO₂e olarak belirlenmiştir. Bu değer 2010 yılı seviyesinden (6,5 Gt CO₂e) %12, 1990 yılı seviyesinden (21 Gt CO₂e) %54 oranında yüksektir.
- İklim değişikliği gıda güvenliğini ve su kaynaklarının güvenliliğini olumsuz olarak etkilemekte, bu durum sürdürülebilir gelişme hedeflerini olumsuz etkilemektedir.

Yeryüzü ve hava ekosistemlerinde doğal çevrim döngüsünün dengesiz duruma gelmesinde en büyük etken olan küresel ısınma, ortalama hava sıcaklıklarının yükselmesine neden olmaktadır. 2011-2020 yıllarında yeryüzü sıcaklığının 1850-1900 dönemine nazaran $1,1^{\circ}\text{C}$ üzerinde olduğu göz önünde bulundurulduğunda [IPCC,

2023], yeterli önlemin alınmaması durumunda bu sıcaklık artışının ciddi boyutlara varacağı öngörülmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayımlanan 2021 yılı Dünya Enerji Öngörülerı (World Energy Outlook-WEO) raporunda da değerlendirilen farklı senaryolara göre **Şekil 2.4**' de verilen iklim değişikliğinin olumsuz etkileri ele alınmıştır. Küresel medyan yeryüzü sıcaklık artışının, mevcut politikaların sürdürülmesi senaryosunda (Stated Policies Scenario-STEPS) $2,6^{\circ}\text{C}$; açıklanmış taahhütlerle uyulması senaryosunda (Announced Pledges Scenario-APS) $2,1^{\circ}\text{C}$; önemli sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için enerji sistemini doğru yola koyan bir yaklaşım izleyen sürdürülebilir kalkınma senaryosunda $1,7^{\circ}\text{C}$; 2050 yılı hedefi olan sıfır emisyon (Net Zero Emission-NZE) politikasına uyum senaryosunda $1,5^{\circ}\text{C}$ ile sınırlandırılabileceği öngörülmektedir.



Şekil 2.4: WEO-2021 senaryolarına göre küresel medyan yüzey sıcaklığının 2100 yılına kadar tahmin edilen artışı.

İklim değişikliği, sosyo-ekonomik yaşam, tarımsal faaliyetler, üretim süreçlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Bu durum iklim değişikliğinin ekonomik kayıplara yol açmasına neden olmaktadır. Yüzey sıcaklığında değişme olmaması senaryosuna göre, artan sıcaklıklardan kaynaklanan ekonomik kayıpların GSYİH (Gayrisafi Yurtıcı Hasıla) yüzdesi olarak simülasyonu **Tabelo 2.2**' de verilmektedir [Türkeş, 2022].

Tablo 2.2: Yüzey sıcaklığında değişme olmaması senaryosuna göre, artan sıcaklıklardan kaynaklanan ekonomik kayıpların GSYİH yüzdesi olarak simülasyonu.

Coğrafi Alan	2 °C' nin altında artış	2 °C artış	2,6 °C artış	3,2 °C artış
	Paris hedefi	Küresel sıcaklık artışlarının olası aralığı		Şiddetli durum
Avrupa	-2,8	-7,7	-8,0	-10,5
Kuzey Amerika	-3,1	-6,9	-7,4	-9,5
Güney Amerika	-4,1	-10,8	-13,0	-17,0
Orta Doğu ve Afrika	-4,7	-14,0	-21,5	-27,6
Okyanusya	-4,3	-11,2	-12,3	-16,3
Asya	-5,5	-14,9	-20,4	-26,5
OECD	-3,1	-7,6	-8,1	-10,6
Dünya	-4,2	-11,0	-13,9	-18,1

2.4. İklim Değişikliğine Karşı Atılan Adımların Özeti

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi tüm iklim görüşmelerinin temel metnidir. Akabinde önemli kararlar alınan Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Kyoto Protokolü'nde sera gazlarının azaltılması yükümlülükleri tanımlanmış, Paris Anlaşmasıyla da sıcaklık değişiminin 2030 yılı sonunda 1,5 °C seviyesinde tutulması hedeflenmiştir [REC Türkiye, 2008].

Mevcut emisyonları azaltma ve geçmiş dönemlere göre daha az emisyon salımını sağlamak üzere farklı yöntemler değerlendirilmektedir. Karbon yutakları oluşturarak mevcut karbon emisyonlarının depolanmasını sağlayan teknikleri, karbon yakalama teknolojileri ile havadaki serbest karbonun yakalanması ve yer altına depolanması tekniklerini içeren yenilikçi teknolojilerin araştırma ve geliştirme süreçleri devam etmektedir.

Sera gazı oluşumunu azaltmak için dikkat edilebilecek bazı hususlar bulunmaktadır. Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, sera gazı emisyonlarını azaltmanın etkili bir yoludur. Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal gibi temiz enerji kaynakları, çevre dostu enerji üretimine katkı sağlamaktadır.

Fotosentez işleminin temel girdisi olan CO₂' i kullandıkları için en önemli karbon yutağı ağaçlardır. Ağaçlandırma projeleri ve ormanların korunması, atmosferdeki karbondioksit seviyelerini düşürmeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca yapılan araştırmalarda, yosun tarlaları oluşturmak, biyokütleden piroliz yöntemi ile biyoçar üretimi ile karbonu biyoçar bünyesine hapsetmek ve bu teknoloji ile yapı malzemeleri elde etmek havada bulunan karbonun bağlanmasına yardımcı olmaktadır.

Enerji verimliliğini artırmak, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Binalarda, endüstriyel tesislerde ve ulaşım araçlarında daha verimli teknolojilerin kullanılması, enerji tüketimini azaltmaktadır. Enerji verimliliği ile kaynakların etkin kullanılması sağlanmakta ve sera gazı emisyon salınımıları azaltılmaktadır.

Taşımacılıkta biyoyaklı araçlar, elektrikli araçlar gibi alternatif yakıtlar ile çalışan araçların tercih edilmesi emisyon salınımının azaltılması konusunda yardımcı olacaktır.

Sera gazı salınımlarının düşmesine yardımcı olacak tüm bu adımlar için öncelikle, toplumda sera gazı emisyonlarının etkileri konusunda farkındalık yaratmak ve çevresel bilinci artırmak, bireylerin ve kuruluşların daha sürdürülebilir yaşam tarzları benimsemesine yardımcı olacaktır.

Yukarıda bahsedilen azaltım teknikleri, sera gazı emisyon miktarlarının zaman içerisinde azaltılmasına yönelik önemli etki sağlsa da artan iklim krizinin önüne geçebilmek için karbon vergisi, emisyon ticareti, temiz kalkınma mekanizmaları ve ortak yürütme mekanizmaları geliştirilmiştir.

3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KARŞI ULUSLARARASI ANLAŞMALAR

İklim değişikliği 1970' li yıllarda tartışılmaya başlanmış, artan küresel iklim değişikliği tehdidi nedeniyle 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesi imzalanarak uluslararası alanda önlemlerin alınmasına yönelik önemli bir adım atılmıştır.

Sera gazlarının ana etken olduğu iklim değişikliği ile ilgili araştırmaların uluslararası platformda tartışılması 1970' li yıllara dayanmaktadır. İklim değişikliği konusunun uluslararası platforma taşınma süreci, 1975 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (BMÇP) tarafından açıklanan, ozon tabakası hakkında yapılan araştırmalarda bir incelme meydana geldiği ve bu incelenmenin büyük ölçüde CFC (kloroflorokarbon) salımından kaynaklandığı rapor ile başlamıştır [Aslan, 2013].

Bu araştırmayı takiben; 1985 yılında Ozon Tabakasının Korunması konusunda Viyana Sözleşmesi, CFC tüketimini daha uzun zamanda ancak daha büyük oranlarda indirmeyi öngören 1987 yılında Cenevre’ de Montreal Protokolü imzalanmıştır [Aslan, 2013].

Kirletici emisyonların çevre üzerine olumsuz etkileri hakkında bilim insanları tarafından yapılan bireysel çalışmalar ve öne sürülen teoriler 1960' li yıllara dayanmaktadırken uluslararası alanda, aşırı sıcaklık ve kuraklık tehlikesine dikkat çekilerek, iklim değişikliği tehdidi 1979 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından gündeme getirilmiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından düzenlenen Birinci Dünya İklim Konferansı ile riske dikkat çekilmiş ve ilk somut yapılanma Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (International Panel on Climate Change - IPCC) ile uluslararası kamuoyunda gündeme getirilmiştir [Uyduranoğlu, 2008].

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, 1988 yılında, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme - UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization – WMO) tarafından oluşturulmuştur. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından düzenli olarak yayımlanan Değerlendirme Raporları ile iklim değişikliği ile ilgili bilimsel bulgular ortaya konulmuştur. Özellikle insan aktivitelerine bağlı sera gazı salınımları ile iklim

değişikliği arasındaki ilişkiye yönelik çalışmalar ve raporlamalar yapılmıştır [Uyduranoğlu, 2008].

Diğer bir taraftan iklim değişikliği üzerine ciddi etkisi olduğu kabul edilen ozon tabakasındaki incelme ve hasar oluşumu üzerine 1987 yılında imzalanan Montreal Protokolü'ne taraf olan ülkeler 1990 yılında çok uluslu bir fon oluşturmuşlardır.

3.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

1988 yılında kurulan ve belirli aralıklar ile iklim değişikliği ile ilgili raporlar sunan Hükümetlerarası İklim Değişikli Paneli (International Panel on Climate Change – IPCC) iklim değişikliği ile ilgili farkındalıkın ve çalışmaların temelini oluşturmuştur. IPCC' nin ortaya koyduğu küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki etkilerine karşı 1992 yılında düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi – BMİDÇS (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) uluslararası alanda atılan en önemli adımdır.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 1992 yılında Rio' da imzalanmış ve 1994 yılında uygulanmaya başlanmıştır. İnsan faaliyetlerinin neden olduğu kirliliklerin iklim değişiklikleri üzerinde olumsuz olduğunu kabul ederek, mevcut sera gazlarının olumsuz etkilerini minimum düzeyde tutmayı amaçlayan sözleşme olup bu gazların iklim değişikliği üzerindeki sosyo-ekonomik ve çevresel etkilerine karşı birtakım önlemler alınabileceği düşünülmektedir [Çetintaş vd., 2016]. BMİDÇS sera gazı salınımlarını kontrol altına almak amacıyla taşımaktadır. Sözleşmenin yürürlüğe girdiği 1994 yılından itibaren her yıl taraflar konferansı (Conference of the Parties – COP) düzenlenmektedir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile sera gazlarının kontrol altına alınması ile ilgili adım atılmış, Kyoto Protokolü ile sera gazı emisyonu azaltılmasına yönelik esneklik mekanizmaları belirlenmiştir. Ayrıca, Protokol' e taraf ülkeler azaltım taahhütlerine imza atarak yükümlülükler belirlenmiştir. Kyoto Protokolü, 1997 yılında imzalanmış ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir.

Sera gazlarının azaltılması ile ilgili önemli bir adım olan Kyoto Protokolü'nden sonra, 2009 yılında Birleşmiş Milletler tarafından imzalanan Kopenhag Anlaşması, atmosferdeki sera gazı emisyonunu tehlkeyi önleyecek seviyede tutmak için

imzalanan önemli anlaşmalardan biridir. Bu anlaşma ile BM tarafından iklim değişikliği ile mücadelede güçlü bir siyasi irade ortaya konmuştur. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde ekonomik ve sosyal kalkınma ile yoksulluğun ortadan kaldırılmasına yönelik olup düşük emisyonlu bir kalkınma stratejisinin belirlenmesinde rol oynamıştır [**Çimen, 2024**].

3.2. Kyoto Protokolü

İklim değişikliği ile mücadelede sera gazları emisyonlarının azaltılması ile ilgili olarak 1997 yılında taraflar konferansının en önemlilerinden biri olan konferansta Kyoto Protokolü Japonya' da imzalanmıştır. Kyoto Protokolü' ne taraf olan ülkeler 2008-2010 yılları arasındaki dönemdeki sera gazı emisyon oranlarını 1990 yılı seviyesinin en az %5 altına indirme yükümlülüğünü kabul etmiştir [**Kyoto Protocol, 1998**].

Sera gazı emisyon salımlarını azaltma taahhütü getiren Kyoto Protokolü, azaltımların gerçekleştirilmesi için esneklik mekanizmaları belirlemiştir. Bu mekanizmalar, temiz kalkınma mekanizması, ortak yürütme mekanizması ve emisyon ticaretidir. Bunlardan temiz kalkınma ve ortak yürütme mekanizmaları proje temelli, emisyon ticareti ise piyasa temellidir.

Protokol 169 ülke tarafından 1997 yılında imzalanmış, Rusya ve Eski Doğu Avrupa Bloğu ülkeleri 2004 yılında sözleşmeye taraf olmuştur. Protokolün devreye girmesi için taraf ülkelerin emisyonlarının toplamının, toplam küresel sera gazı emisyonlarının %55' ini bulması şartı olması ve bu şartın 2004 yılında Rusya' nın taraf olması ile sağlanması ile Protokol 2005 yılında yürürlüğe girmiştir [**Özcan, 2020**].

2012 yılında Katar' in Doha şehrinde gerçekleştirilen 18. Taraflar Konferansı' nda alınan karar ile Kyoto Protokolü, sekiz yıl süre ile, 1 Ocak 2013 itibari ile 31 Aralık 2020 tarihine kadar uzatılmıştır.

3.2.1. Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları

Kyoto Protokolü' ne taraf olan ülkelerin azaltım taahhütleri doğrultusunda hedeflerini gerçekleştirebilmesi ve gelişmekte olan ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik projelerine mali ve teknolojik kaynak aktarılmasını sağlamak için Protokol'

de esneklik mekanizmaları tanımlanmıştır. Bu esneklik mekanizmaları şunlardır **[Kyoto Protocol, 1998]**:

- Temiz kalkınma mekanizması
- Ortak uygulama mekanizması
- Emisyon ticaret sistemi

3.2.1.1 Temiz kalkınma mekanizması

Temiz kalkınma mekanizması proje temelli bir mekanizmadır. Bu mekanizma, Kyoto Protokolü'ne taraf olan Ek-1 ülkelerinin, Ek-1 dışındaki ülkelerde uygulanacak projeler çerçevesinde gelişmiş teknolojiyi transfer ederek, proje faaliyeti sonucunda ölçülebilir azaltım sağlamış olmalarını gerekli kılmaktadır. Protokolün 12. Maddesinde temiz kalkınma mekanizmasının amacı “Ek-I'de yer almayan Taraflara, sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmek ve Sözleşme'nin nihai amacına katkıda bulunmak üzere destek sağlamak ve Ek-I' de yer alan Tarafların 3. Madde' deki sayısallaştırılmış salım sınırlandırma ve azaltım taahhütlerini yerine getirmelerine yardım etmektir.” şeklinde tanımlanmaktadır **[Kyoto Protocol, 1998]**.

BMİDÇS Ek-1 listesinde yer alan tarafların, Ek-1 listesinde yer almayan ülkelerde emisyon azaltım projeleri için mali ve teknolojik kaynak desteği sağlanması esastır. Böylece gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlanırken, Ek-1'de yer alan tarafların sera gazı salım sınırlandırma ve azaltım taahhütlerini yerine getirmeye yardım edilmiş olacaktır.

Temiz kalkınma mekanizması kapsamında tamamlanan proje neticesinde “emisyon azaltım sertifikası (certified emission reduction – CER)” diğer adıyla sertifikalandırılmış emisyon azaltım kredisi kazanılmaktadır.

3.2.1.2. Ortak Uygulama Mekanizması

Ortak yürütme mekanizmasında ise Ek-1 ülkesi tarafından, başka bir Ek-1 ülkesinde emisyon azaltımına yönelik ortak bir proje yürütmek temeli esas alınmaktadır.

Ortak Uygulama Mekanizması, projelerin planlanması, uygulanması, yönetimi ve izlenmesi gibi süreçlerin belirli bir yönteme göre yapılmasını gerektirir. Projeler,

gelişmekte olan ülkelerin ulusal sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu olmalıdır. Ayrıca, proje faaliyetleri sırasında çevresel ve sosyal etkilerin dikkate alınması, yerel toplulukların katılımı ve projelerin uzun vadeli sürdürülebilirliği önemlidir.

Ortak Uygulama Mekanizması, gelişmiş ülkelerin ekonomik olarak gelişmekte olan ülkelerin sürdürülebilir kalkınmalarını destekleyerek, küresel iklim değişikliği ile mücadelede küresel bir işbirliği örneği sunmaktadır.

Ortak uygulama projesi neticesinde de “tahsis edilmiş emisyon sertifikası birimi (assigned amounts unit – AAU)” verilmektedir. Bunlar krediye dönüştürülerek emisyon ticaret sisteminde kullanılmaktadır.

3.2.1.3. Emisyon Ticareti

Temiz kalkınma ve ortak uygulama mekanizmaları proje esaslı mekanizmalar olup emisyon ticareti ise piyasa temelli esneklik mekanizmasıdır.

Emisyon ticareti esneklik mekanizması, uluslararası iklim politikalarının bir parçası olarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasını teşvik etmek için kullanılan bir araçtır. Bu mekanizma, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması gibi uluslararası iklim değişikliği anlaşmalarının temel bir parçasıdır. Emisyon azaltımı hedeflerini daha maliyet etkin bir şekilde karşılamak ve sera gazı emisyonlarını azaltma çabalarını teşvik etmek amacıyla uygulanır. Azaltım hedeflerine ulaşmak için ekonomik teşvikler sağlanırken aynı zamanda küresel iklim değişikliği ile mücadelede uluslararası iş birliğini güçlendirmektedir.

Emisyon ticareti esneklik mekanizması genellikle şu unsurları içermektedir:

- **Emisyon Kredileri (Emission Credits):** Bu mekanizma altında, belirli bir coğrafi bölgedeki veya sektördeki sera gazı emisyonları için ulusal veya bölgesel hükümetler veya uluslararası anlaşmalar tarafından bir üst limit belirlenmektedir. Bu üst limitler doğrultusunda, tahsisatlar dağıtılmakta ve/veya farklı projeler ile emisyon/karbon kredileri kazanılmaktadır.
- **Emisyon Ticareti (Emission Trading):** Emisyon ticareti, emisyon kredilerinin/tahsisatların alınıp satılmasını içeren bir piyasa mekanizmasıdır.

Gelişmiş ülkeler veya sektörler, belirlenen emisyon tavanını aşan emisyonlarını azaltmak zorunda olduklarında, ek kredi satın alabilmektedirler. Bu krediler, ticaret sistemi dahilindeki diğer ülkelerden veya sektörlerden satın alınabilmektedir. Böylece emisyonları azaltmak için alternatif maliyet etkinlikleri sağlanmış olunmaktadır.

- **Esneklikler (Flexibilities):** Emisyon ticareti esneklik mekanizması, farklı ülkeler veya sektörler arasında esneklik sağlar. Örneğin, bir ülke veya sektör, kendi emisyon azaltım hedeflerini karşılamak için kendi içinde emisyon ticareti yapabilmekte veya dışarıdan kredi satın alabilmektedir. Bu esneklikler, emisyon azaltımını gerçekleştirmenin en etkili ve maliyet etkin yollarını bulma ve kullanma fırsatı sunmaktadır.

Emisyon ticaret sistemleri ve uygulamalarına “Sera Gazi Emisyonlarında Karbon Ticaretinin Rolü” bölümünde ayrıca debynmiştir.

3.3. Paris Anlaşması

İklim değişikliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması konusunda önemli bir kilometre taşı olan Paris Anlaşması, 2015 yılında Fransa’ının Paris şehrinde görüşülmüş olup 2020 yılı sonrası için kabul edilmiştir. Paris Anlaşması, küresel sera gazı emisyonlarının %55’inden sorumlu en az 55 Taraf ülke tarafından onaylanması neticesinde 4 Kasım 2016 itibariyle yürürlüğe girmiştir. Günümüz itibariyle 197 taraf ülkeden 187’si Paris anlaşmasını onaylamış bulunmaktadır [T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2023].

Paris Anlaşması ile küresel ısınma ile artan ortalama hava sıcaklığını sanayi devrimi öncesine göre 2°C nin altında tutmak ve $1,5^{\circ}\text{C}$ ile sınırlamayı amaçlayan hedef belirlenmiştir. Kyoto Protokolü’nde yalnızca gelişmiş olan ülkeler azaltım taahhütü vermektedenken Paris Anlaşması’nda taraf ülkelerin hepsinin sera gazı azaltımları konusunda ulusal katkı beyanlarını sunmaları ve güncellelemeleri gerekliliği öngörmüştür. Ayrıca, Anlaşma’da karbon fiyatlandırmasının emisyon azaltım politikasında önemli bir yere sahip olduğu vurgulanmaktadır.

Paris Anlaşması’nın imzalandığı 21. Taraflar Konferansı (COP21) iklim değişikliği ile mücadele çabalarını güçlendirmek ve küresel ısınmayı sınırlamak için önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Anlaşmanın temel hedefleri arasında, iklim

değişikliğinin olumsuz etkilerine maruz kalan ülkelerin uyum ve direnç kabiliyetlerinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik her ülke tarafından kendi ulusal katkı beyanlarının ve raporlarının düzenli olarak sunulması bulunmaktadır [Sadioğlu ve Ağıralan, 2020].

3.4. Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması

Avrupa Birliği tarafından 2019 yılında duyurulan Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal), iklim değişikliği ile mücadelede kapsamlı bir stratejidir. Bu mutabakat, Avrupa Birliği'nin iklim değişikliği ile mücadele etme çabalarını güçlendirmeyi, ekonomiyi sürdürülebilir hale getirmeyi ve çevresel sürdürülebilirliği artırmayı amaçlamaktadır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın ana hedefleri arasında şunlar bulunmaktadır:

- **İklim Nötralitesi:** Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarını net sıfıra indirme hedefi.
- **Temiz Enerji Dönüşümü:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının teşviki ve enerji verimliliğinin artırılması.
- **Sürdürülebilir Ulaşım:** Daha temiz ve daha yeşil ulaşım sistemlerinin teşviki, elektrikli araçlar ve sürdürülebilir altyapı yatırımları.
- **Tarım ve Biyoçeşitlilik:** Tarımın sürdürülebilir hale getirilmesi, ormanların korunması ve biyoçeşitliliğin artırılması.
- **Sıfır Kirlilik:** Su, hava ve toprak kirliliğinin azaltılması için önlemler.
- **Dijital Dönüşüm ve Yeşil Teknoloji:** Yeni teknolojilerin ve dijitalleşmenin çevresel hedeflere katkı sağlama.
- **Adalet ve Dahil Edicilik:** Yeşil dönüşüm sürecinin sosyal olarak adil ve herkesi kapsayıcı bir şekilde yönetilmesi.

Avrupa Yeşil Mutabakatı, sadece çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik büyümeye ve sosyal refahı desteklemek amacıyla Avrupa Birliği'nin politika ve ekonomik yapısını dönüştürmeyi hedeflemektedir. Bu çerçevede, Avrupa'nın karbon emisyonlarını azaltmak, doğal kaynak kullanımını optimize etmek ve çevresel etkiyi minimize etmek için bir dizi strateji ve eylem planı içermektedir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı ile, Avrupa Birliği'nin iklim politikalarıyla uyumlu olarak, iç pazarın korunup aynı zamanda dış ticareti de sürdürülebilirliği artırarak düzenlemeyi hedeflenmektedir. Emisyon ticaret sistemi doğrultusunda belirlenen üst limitlere uyum için gerek emisyon salınınımının azaltılmasına yönelik yeni yatırımlar gerekse tahsisat satın alınması için sistem dahilindeki sektörlerin ticari rekabet çerçevesinde korunabilmesi için Avrupa Birliği tarafından "Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (Carbon Border Adjustment Mechanism)" uygulaması başlatılmaya karar verilmiştir.

AB'nin Emisyon Ticareti Sistemi (ETS) çerçevesindeki karbon fiyatlandırması, yüksek sera gazı emisyonuna sahip enerji yoğun sektörlerde maliyet artışlarına neden olmaktadır. Bu durum, şirketlerin, üretimlerini emisyon azaltım zorunluluğu olmayan ülkelere kaydırma riskini beraberinde getirmektedir. Şirketler tarafından maliyetlerin azaltılmasına yönelik, üretimlerini farklı ülkelere kaydırarak emisyon azaltım maliyetlerini düşürmeleri karbon kaçağı olarak adlandırılmaktadır. Aynı şekilde Avrupa Birliği ülkelere ihracat yapan kuruluşlar Birlik içerisinde üretim yapan şirketlere göre, emisyon azaltım maliyetlerinin olmaması nedeniyle, maliyet avantajı sağlamaktadırlar [**Web 2**].

Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), AB ETS içinde karbon kaçağı riskini önlemek için geliştirilen bir mekanizma olarak ortaya çıkmıştır ve ücretsiz tahsisatların aşamalı olarak sonlandırılmasıyla SKDM yükümlülükleri devreye girecektir. SKDM uygulamasıyla, AB ETS kapsamına giren ürünlerin üretiminden kaynaklı sera gazı emisyon değerleriyle bağlantılı olarak, AB ETS ile benzer maliyetlerin ithalatçılar tarafından da üstlenilmesi öngörmektedir [**Web 2**].

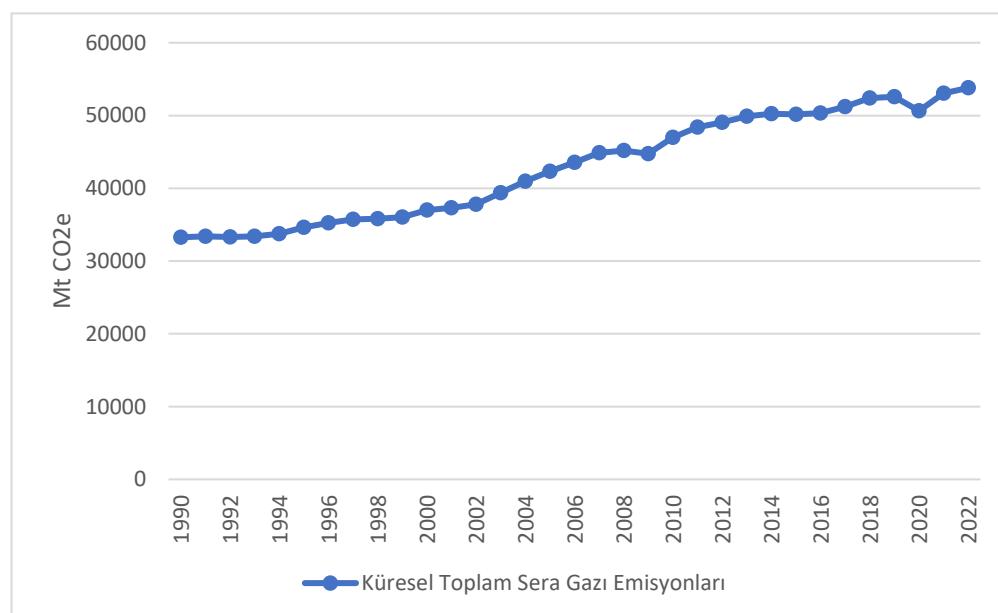
Sınırda karbon düzenleme mekanizması demir-çelik, alüminyum, çimento, gübre, elektrik ve hidrojen sektörlerini kapsamaktadır. 01 Ekim 2023 ve 31 Aralık 2025 tarihleri arası geçiş dönemi olup kapsamda olan sektörlerde ait ürünler için sadece raporlama yapılacaktır. 01 Ocak 2026 tarihi itibarı ile vergi uygulamaları başlatılacaktır. Geçiş dönemindeki veriler doğrultusunda ürün ve sektörlerin geliştirilmesi değerlendirilecektir.

4. SERA GAZI EMİSYONU AZALTILMASINDA KARBON TİCARETİNİN ROLÜ

Ağırlıklı olarak fosil yakıtların kullanılması neticesinde atmosfere salınan karbon içerikli gazlar ve ozon tabakasının da ciddi anlamda zarar görmesine neden olan florokarbon içerikli gazlar sera etkisi kapsamında güneş radyasyonunu normalden fazla tutarak küresel ısınmaya yol açmaktadır.

Kişilerin ya da kurumların faaliyetleri neticesinde oluşan çevre kirliliği negatif dışsallık kapsamında değerlendirilerek, çevre kirliliğinin doğanın dengesi üzerinde olumsuz etkilerinin artması ile kirliliğin azaltılması, engellenmesi anlamında farkındalıklar başlamıştır.

Dünya genelinde her yıl CO₂ eşdeğerinde artan sera gazı salınımı, 1940'lı yillardan itibaren sürekli artış eğilimi ile yükselmiştir. Küresel toplam sera gazı emisyonlarının yıllara göre değişimi **Şekil 4.1'** de verilmiştir [Web 1]. Görüldüğü üzere dünya genelinde toplam sera gazları artış ivmesi 2000'li yıllarının başından itibaren artıya geçmiştir.



Şekil 4.1: Küresel toplam sera gazı emisyonlarının yıllara göre değişimi.

İklim değişikliği üzerine tehdit oluşturan, atmosferde her geçen gün konsantrasyonları artan sera gazları emisyonlarının salınımlarını azaltmak, mevcut gazların etkisini en aza indirmek ve yutak projeleri ile atmosferde bulunan karbon emisyonlarını azaltmak için yakın geçmişte başlayan çalışmalar gün geçtikçe geliştirilmektedir.

Sanayileşme ile sera gazı emisyonlarının atmosferdeki konsantrasyonlarının artması iklim değişikliği üzerinde önemli rol oynayan etkenlerden biri durumuna gelmiştir. Sera gazı emisyonu salınınımının sürekliliği de göz önüne alındığında, havada bulunan mevcut emisyon konsantrasyonlarının azaltılmasına yönelik yutak oluşturma projeleri, devam eden salınınım filtreleme sistemleri ya da salınınım azaltıcı yenilikçi teknolojilere yatırıma teşvik edici uygulamalar yapılması gerekmektedir.

Teknolojik yatırımlar ile belirlenen hedeflere ulaşılmasına yönelik teşvik edici çalışmalar yapılsa da diğer yandan vergi, emisyon salınım limitleri belirleme, limit aşımlarında cezai işlem uygulanması önlemleri de alınmaktadır. Vergi, cezai işlem vb. uygulamalar kirleten öder ilkesi temelinde değerlendirilmektedir. Kirleten öder ilkesi, kirlilik vb. farklı şekilde çevreye verilen zararın, zarara neden olan kişilere ya da kuruluşlara sebep oldukları zararlar ile mücadelenin bedelinin ödettirilmesi yaklaşımıdır [**Güneş, 2011**].

İlk olarak 1972 yılında OECD tarafından gündeme getirilen kirleten öder ilkesi, Ülkemizde yürürlükte olan Çevre Kanunu 3. Maddesi “*Kirlenme ve bozulmanın önlenmesi, sınırlandırılması, giderilmesi ve çevrenin iyileştirilmesi için yapılan harcamalar kirleten veya bozulmaya neden olan tarafından karşılanır.*” nde de yer almaktadır.

Cevre kirliliğine sebep olanlara vergi uygulanması kapsamında vergiler, çevresel dışsallığa neden olan tarafın zarar verdiği tarafa tazminat ödemesi gerekliliği görüşü temeline dayanmaktadır. Teorik olarak dışsallık kavramı ilk olarak **Wicksell (1896)** tarafından ortaya atılmış, Pigou ise dışsallıklar ile ilgili önemli çalışmalar yapmıştır. Pigou, dışsallıkların içselleştirilmesi için vergi uygulanması gerekliliği fikrini ilk olarak 1920 yılında dile getirmiştir [**Özbek, 2023**].

Sera gazı emisyonlarının olumsuz etkilerine farkındalığın başlaması ile, emisyonlara sebep olan kişi ya da kuruluşlara farklı vergilendirme uygulamaları gündeme getirilmiştir. Kullanılacak fosil yakıt miktarına bağlı olarak belirlenecek vergi,

belirlenen üst sınırın aşılması durumunda uygulanacak vergi, ulaşım vergileri, enerji ürünleri üzerinden alınacak vergiler vb. farklı vergi uygulamaları tartışılmaktadır.

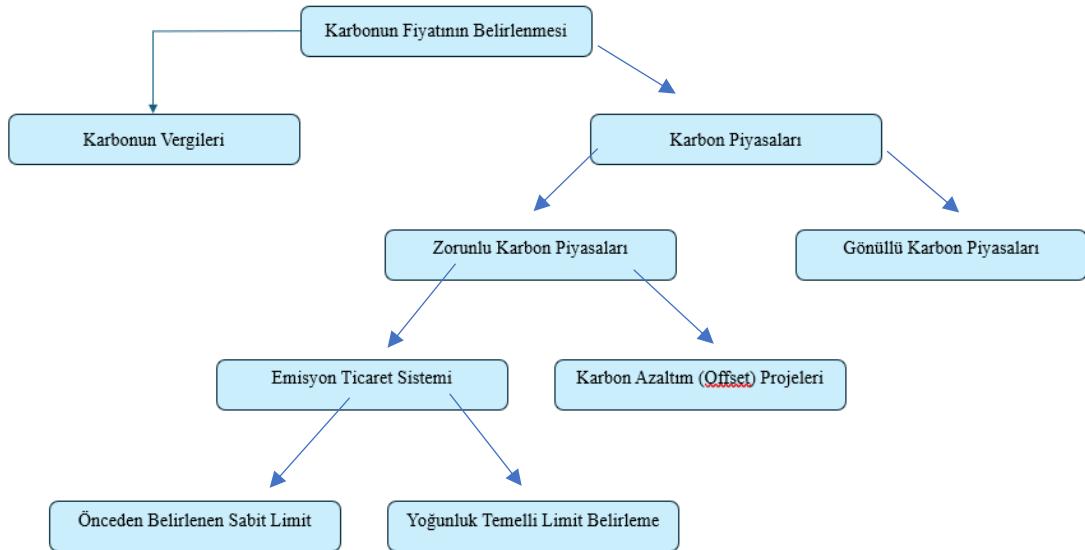
Atmosferde konsantrasyonu artan mevcut sera gazlarının doğal yöntemler ile azaltılması için ormanlaştırma, karbonu uzun dönemlerde bünyesinde barındıran bitki çeşitlerinin kullanılması gibi karbon yutakları oluşturulması ve biyokütleden elde edilen, karbonu uzun yıllar bünyesinde hapseden, biyoçar üretimi uygulamaları söz konusudur. Ayrıca, son yıllarda, havadaki karbonu yakalayarak ayırtırıp yer altına hapseden teknolojik çalışmalar hız kazanmıştır.

Karbon kredisi kazanmaya yönelik gönüllülük esasına dayanan azaltım projelerinin doğrulandığı ve onaylandığı bazı kuruluşlar tarafından, standartlar oluşturulmuştur. Özellikle orman alanları oluşturarak karbon kredisi kazanma ve net-sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda kullanım tercih edilmektedir. Ancak, kirliliğe sebep olan kişi ya da kuruluşlar tarafından bulundukları ülkede veya başka ülkelerde orman kurulmasına yönelik uygulamaları, net-sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda uygun olarak karşılansa da herhangi bir sera gazı emisyonu azaltım teknolojisi kullanılmadan sadece salınım yaptığı miktarın karşılığında orman oluşturulması uzmanlar tarafından tartışılmaktadır. Herhangi bir emisyon azaltıcı önlem ya da yatırım yapılmadan, sera gazı emisyon salınımlarının azaltılmasının bu şekilde sürdürülebilirliğinin sağlanamayacağı aşikardır.

Karbon yutaklarının oluşturulması ve/veya karbon yakalama teknolojilerinin geliştirilmesi olumlu bir adım olsa da artan nüfus ve sanayileşme nedeni ile sera gazı emisyonlarının azaltılması için yeterli olmayacağındır. Bu nedenle sera gazı emisyonlarının azaltılmasında piyasa temelli uygulamalar başlatılmıştır. Yaygın olarak kullanılan piyasa temelli uygulamalar karbonun vergilendirilmesi ve emisyon ticaretidir. Piyasa temelli mekanizmaların uygulanmasının temelinde karbonun fiyatının belirlenmesi söz konusudur.

Emisyon ticaret sisteminin temelinde karbon fiyatlandırılması yer almaktadır. Karbon fiyatlaması, sera gazı emisyonları ile ilişkin dışsallıkların hesaplanabilmesi için tasarlanmış bir politika aracını ifade eder. Sözü geçen dışsallıklar, kuraklığın sebep olduğu sağlık harcamaları, sel ve deniz seviyesindeki yükselmenin sebep olduğu mülk ve tarım arazisi gibi halk harcamaları vb. harcamalardır. Bu hesaplama yöntemi, üretilen karbondioksit (CO_2) emisyonlarına bir fiyat uygulayarak bu maliyetleri

kaynaklarıyla ilişkilendirmeyi, böylece emisyon salınım yapanları eylemlerinin maliyetlerinden sorumlu tutmayı amaçlamaktadır [Azhgaliyeva ve Le, 2023].



Şekil 4.2: Karbon fiyatının belirlenmesinde piyasalar.

Karbon, iki farklı piyasa temelli mekanizmada fiyatlandırılabilmektedir. Bunlar karbon vergileri ve karbon piyasalarıdır. Karbon vergi sistemi mekanizması emisyon ya da yakıt içerisinde bulunan karbon kaynaklı salınımın sabit zorunlu ödeme için fiyatlandırılmasına dayanırken; karbon piyasa mekanizması, tahsisatların veya kazanılan kredilerin oluşturulan karbon piyasalarındaki arz talep dengesine göre fiyatlandırılmıştır. Karbon fiyatının şematiği Şekil 4.2' de verilmektedir.

4.1. Karbon Vergisi

Ağırlıklı olarak karbon içerikli emisyonların sera etkisine neden olması sebebi ile sera gazları emisyonlarına yönelik vergilendirme karbon vergisi olarak adlandırılmaktadır. Karbon vergisi ilk olarak Finlandiya' da uygulanmaya başlanmış onu bu uygulamayı birçok ülke takip etmiştir. Karbon vergisinin amaçları arasında doğal kaynakların etkin bir şekilde kullanılması, ekonomik istikrarı ve adil gelir dağılımını sağlamak yer almaktadır [Yıldız, 2017].

Karbon vergisi uygulaması ilk olarak 1990 yılında Finlandiya tarafından uygulanmaya başlanmıştır. Finlandiya'yı yine 1990 yılında Polonya, 1991 yılında Norveç ve İsveç, 1992 yılında Danimarka karbonun vergilendirilmesi uygulamasına başlayarak takip etmiştir. Sonraki yıllarda emisyon azaltım hedefleri doğrultusunda **Tablo 4.1'** de verilen ülkeler tarafından karbon vergisi uygulaması başlatılmıştır [ICAP, 2024].

Tablo 4.1: Karbon vergisi uygulayan ülkeler (2023 yılı sonu itibarıyle güncel durum).

Ülke	Uygulamaya Başlangıç Yılı	Kapsadığı Emisyon Hacmi (%)		Ücret (USD)	Vergi Geliri (Milyon USD-2023)	Kapsadığı Gazlar
		Yetki Sınırları Dahilinde	Küresel			
Kanada	2019	%31	%0,44	58,95	5.719	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃
Meksika	2014	%29	%0,44	4,31	437	CO ₂
Kolombiya	2017	%20	%0,08	6,68	124	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃
Şili	2017	%55	%0,14	5	0,18*	CO ₂
Arjantin	2018	%38	%0,27	0,81	198	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃
Uruguay	2022	%5	%0	137,17	275	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃
İzlanda	2010	%36	%0	36,51	56	CO ₂ , HFCs, PFCs
Norveç	1991	%65	%0,08	107,78	1.508	CO ₂ , CH ₄ , HFCs, PFCs
İsveç	1991	%40	%0,05	127,26	2.173	CO ₂

Tablo 4.1: Devamı.

Finlandiya	1990	%45	%0,05	99,99	1.419	CO ₂
İrlanda	2010	%34	%0,03	60,19	1.017	CO ₂
Birleşik Krallık	2013	%13	%0,1	22,62	994	CO ₂
Portekiz	2015	%40	%0,04	23,68*	495*	CO ₂
İspanya	2014	%2	%0,01	16,12	103	HFCs, PFCs, SF ₆
Fransa	2014	%40	%0,32	47,94	8.374	CO ₂
Hollanda	2021	%45	%0	71,48	-	CO ₂ , NO ₂
İsviçre	2008	%35	%0,03	132,12	1.166	CO ₂
Danimarka	1992	%48	%0,04	28,21	479	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃
Polonya	1990	%24	%0,18	0,34*	1*	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃
Slovenya	1996	%46	%0,02	18,60	91	CO ₂
Litvanya	2004	%2	%0	16,12	8	CO ₂
Estonya	2000	%10	%0	2,15	2	CO ₂
Lüksemburg	2021	%72	%0,01	49,91	295	CO ₂
Güney Afrika	2019	%82	%0,81	10,09	127	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃
Japonya	2012	%80	%1,51	1,91	1.673	CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , HFCs, PFCs, N ₂ O, NF ₃

*2022 verileri esas alınmıştır.

4.2. Karbon Piyasaları

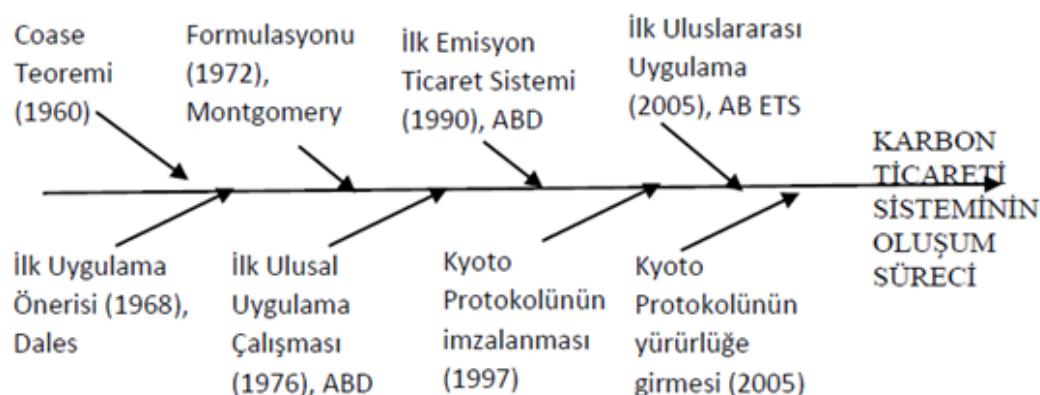
Karbon piyasaları gönüllü karbon piyasaları ve zorunlu karbon piyasaları olarak iki farklı piyasa çeşidinden oluşmaktadır. Gönüllü karbon piyasaları, gönüllülük esasına dayanan karbon azaltım projeleri çıktılarının doğrulama ve kredilendirme kuruluşları tarafından onaylanması neticesinde kazanılan kredilerin satılmasına yönelik piyasalardır. Zorunlu karbon piyasalarında ise emisyon salınımları için belirlenen bir üst limit olup üst limitin aşılması durumunda cezai işlem uygulanması söz konusudur. Zorunlu sistemlerde sera gazı emisyon salınımları için üst limit belirlenirken, kirletme hakkı olarak da tanımlanabilecek, tahsisatlar dağıtılmaktadır. Belirlenen üst limitin aşılması durumunda ilgili kişi/kuruluş tarafından tahsisatlar kullanılabilimekte, salım limitinin altında kalınması durumunda ise tahsisatlar ihtiyacı olan kişi ya da kuruluşlara bedel karşılığı aktarılabilirmektedir. Böylece emisyonların belli bir seviyede tutulmasına yönelik sınırlırma getirilirken yüksek miktarda emisyon salımı olanların sınıra uyabilmesi için tahsisat ticareti kolaylığı sağlanmaktadır. Bu durum tahsisatı satın alan taraf için yasal yükümlülüğe uymayı sağlarken tahsisatı satan tarafa gelir sağlamaktadır. Böylece iki tarafta, bir sonraki dönemde daha az emisyon salımı yapmak ve her dönem azaltılan üst limite uyum ve tahsisat giderlerini azaltabilmek için sera gazı emisyon salınımlarını azaltmaya yönelik yatırımlar yapmaya teşvik edilmektedir.

4.3. Emisyon Ticareti

Sera gazlarının artan konsantrasyonlarına çözüm bulabilmek adına, devlet müdahalesi ile karbon vergi uygulamaları, emisyon ticaret sistem uygulamaları başta olmak üzere önlemler alınmaya başlanmıştır. 20. yüzyılın başlarından itibaren çevre kirliliğine karşı önlem almak adına çeşitli yaklaşım ve hipotezler geliştirilmiştir. Atmosferdeki CO₂ biriminin değişmesine bağlı olarak iklimin değişim olasılığı, Nobel ödülü sahibi İsveçli S. Arrhenius tarafından 1896 yılında öngörümüştür [Türkeş, 2001]. Pigou, 1920 yılında öne sürülen yaklaşımda, kirleticilerin yaratıkları kirlilikler nedeniyle sebep oldukları marjinal sosyal maliyetlere eşit bir miktarda vergi öderlerse meydana gelen negatif dışsallıkların piyasalar tarafından içselleştirilebileceğini savunmuştur. Bu yaklaşımın karbon emisyonu üzerine etkisi vergi uygulamaktadır [Akbelen, 2019].

Kirlilik ile mücadelede piyasa temelli teknikler ile ilgili ilk çalışmalar Coase (1960) ve Dales (1968) e aittir [Çelikkol ve Özkan, 2011]. Coase' ye göre dışsallıkların tarafların karşılıklı anlaşması veya negatif dışsallığa neden olan tarafın tazminat ödemesi ile devlet eli müdahalesi olmadan sorun çözülebilir. Coase ve Dale' ye göre devlet, kirliliği kontrol altına almak üzere yaptığı düzenlemelerle, sera gazı salınımı için bir mülkiyet hakkı tayin etmektedir. Bu mülkiyet haklarının devredilebilir olması ise teşvik edici olmaktadır [Çelikkol ve Özkan, 2011].

1972 yılında Montgomery piyasa temelli yaklaşımın, tahsisat olarak adlandırılan mülkiyet hakkı dağıtılması ve bu tahsisatların etkin bir şekilde kullanılması çeşitli kirlilik kaynaklarının etkilerinin azaltılması maliyetlerini düşürdüğünü teorik olarak açıklamıştır. Karbon ticareti sisteminin oluşum süreci **Şekil 4.3'** de verilmektedir [Aliusta vd., 2016].



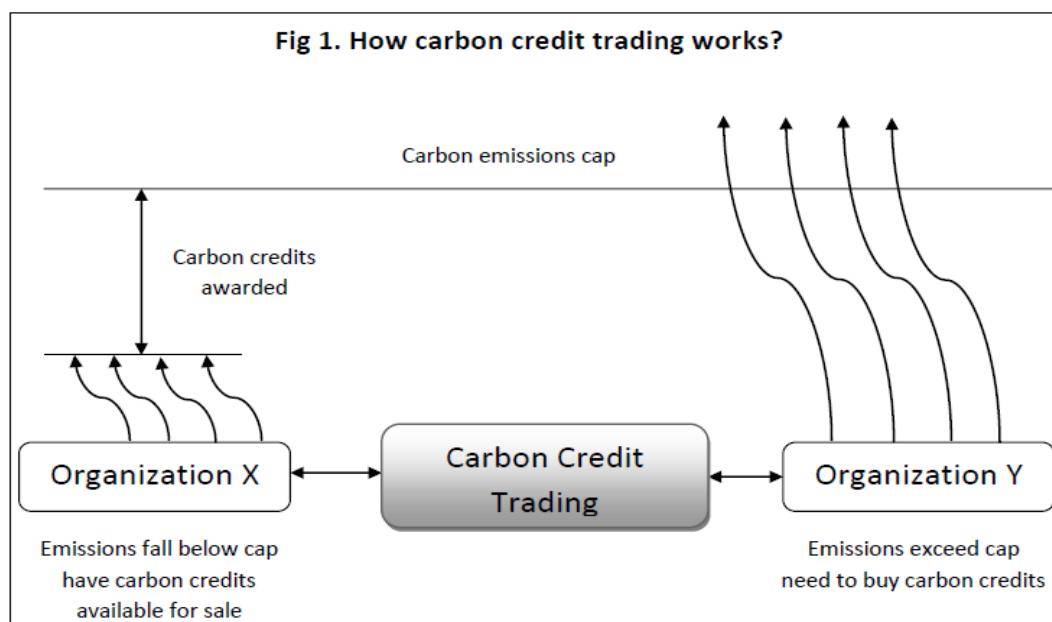
Şekil 4.3: Karbon ticareti sisteminin oluşum süreci.

Bütün sera gazları farklı oranlarda sera etkisine yol açmaktadır. Ancak hem yüzde olarak yoğunluğunun çok fazla olması, hem de doğrudan insan kaynaklı olması gibi nedenlerden dolayı iklim değişikliğiyle mücadelede CO₂ emisyonları değer ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, emisyon ticareti “karbon ticareti” olarak da adlandırılmaktadır [Çetintas vd., 2016].

4.3.1. Emisyon Ticaret Sisteminin Uygulanması

Emisyon ticaret sistemi, zorunluluklar ve limit değere uyum konusunda mali kulfet getirdiği için karbon azaltımı projelerine ve uygulamalarının gerçekleştirilmesine teşvik edici özellikledir. Karbon azaltım proje uygulamaları ile fiili olarak salınımlı

yapılan sera gazları emisyonlarının azaltılması sağlanırken, karbon ticareti kapsamında satın alınan permiler ile kuruluş ya da kişisel karbon ayak izi miktarı azaltılmaktadır. Kisaca, karbon ticareti fiili olarak sera gazı salınımını azaltması yanında karbon ayak izi azaltılmasını sağlayabilmektedir. Piyasa temelli bir uygulama olduğu için arz-talep dengesi doğrultusunda perm (kredi)/tahsisat fiyatları değişkenlik gösterirken, her geçen yıl üst limitin düşürülmesi artan talep ile perm fiyatlarını yükselteceğinden perm satın alarak karbon ayak izini düşürme maliyeti yükselecektir. Bu doğrultuda, mümkün olduğunca azaltım proje uygulamaları artacağı beklenmektedir.



Şekil 4.4: Karbon ticareti çalışma şematiği.

Emisyon ticaret sisteminin temelinin anlatıldığı **Şekil 4.4'** te de görüldüğü üzere [Garg ve Arya, 2015], sera gazı emisyon üst limitin aşan kuruluş, salınımıları limit altında kalan ve böylece elinde fazla karbon kredisi kalan kuruluştan kredi satın alma yöntemi ile yükümlülüğünü yerine getirmektedir. Diğer bir ifade ile, kredi satın alımı ile emisyon denkleştirme yapılmaktadır.

4.3.2. Karbon Ticaret Yöntemleri

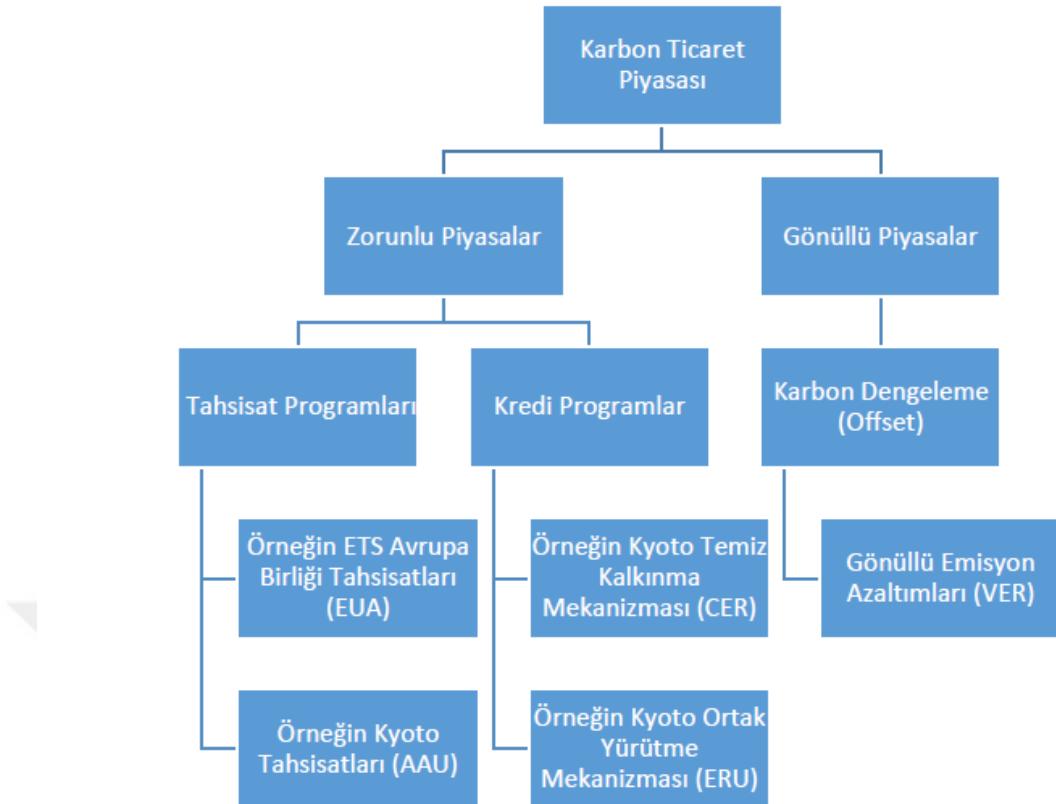
Karbon eşdeğer üzerinden belirlenen tahsisatların ücretli ya da hükümetler tarafından ücretsiz olarak dağıtılması, belirli üst limit doğrultusunda yükümlülükler getirilmesi, elde edilen kredilerin yükümlülükler doğrultusunda kullanılmasını, fazla olan

permilerin/tahsisatların satılması ya da satın alınmasını içeren piyasa emisyon ticaret sistemi olarak adlandırılmaktadır. Emisyon ticaret sisteminde, CO₂ eşdeğer üzerinden işlem yapılması nedeniyle bu piyasalara karbon piyasaları da denilmektedir.

Emisyon ticaret sisteminin temelinde, tahsisat ticareti ve kredi ticareti olmak üzere, ticaret sistemi dahilinde kullanılabilen ve/veya satılabilen permiler bulunmaktadır. Permi, kamu otoritesi tarafından belirlenen salım limitleri çerçevesinde tahsis edilen ya da emisyon azaltım projeleri neticesinde sertifikasyon kuruluşları aracılığıyla belgelendirilen piyasa temelli mülkiyetlerdir.

Emisyon ticaret sistemleri, zorunlu ve gönüllü piyasalar olarak farklı ülkeler tarafından uygulanmaktadır. İlk uluslararası uygulama Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemidir. 1970'li yıllar itibarı ile başlayan farklı ticaret sistemi uygulamaları bazı ülkelerde denenmiş, Kyoto Protokolü'ün imzalanması ile kabul edilen yükümlülükler doğrultusunda zorunlu piyasalar oluşturulmaya başlanmıştır.

Gönüllü karbon piyasaları ise zorunlu piyasalardan bağımsız, küçük çaplı projelerden oluşturulmuş, bağımsız bir denetçi tarafından doğrulanın sera gazı azaltım projelerinden elde edilen sera gazı salınım azaltım birimlerinin işlem gördüğü piyasalarıdır. Zorunlu ve gönüllü karbon piyasaları şematiği **Şekil 4.5'** de verilmektedir [Aliusta vd., 2016].



Şekil 4.5: Zorunlu ve gönüllü karbon piyasaları şematiği.

Kyoto Protokolü ile emisyon ticaret sistemlerinin kurulması ve kullanılması dünya genelinde farklı uygulamalar ile karşımıza çıkmaktadır. Paris Anlaşması, uluslararası pazarların kullanımı için sağlam ve iddialı bir temel sağlayarak uluslararası hedefleri, şeffaflığı ve tarafların hesap verebilirliğini güçlendirmiştir. Paris Anlaşmasının 6. Başlığı kapsamında anlaşma, taraflara emisyon tahsisatlarının uluslararası ticaret sistemlerinde kullanılabilmesi ve böylece emisyon azaltım hedeflerine ulaşmalarında yardımcı olmaktadır. Ayrıca, güçlü bir market mekanizması ve hesaplama kurallarının oluşturulmasına öncülük etmektedir.

4.3.3. Emisyon Ticaretinde Kredilendirme

Emisyon ticaret sistemlerinde tahsisatlar ücretsiz dağıtıldığı gibi Kyoto Protokolü esneklik mekanizmaları (temiz kalkınma ve ortak uygulama mekanizmaları) projeleri gerçekleştirilerek de kazanılmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji projeleri ile REC olarak adlandırılan yenilenebilir enerji sertifikası kazanılmaktadır.

- Azaltım birimleri (Removal unit-RMU): Arazi kullanımı, arazi kullanım değişimi ve ormancılık projelerinden kazanılan azaltım birimi
- Emisyon Azaltım Birimleri (Emission reduction unit-ERU): Ortak Uygulama projelerinden kazanılan azaltım birimleri
- Emisyon Azaltım Sertifikası (Certification Emissions Reduction-CER): Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) projelerinden ortaya çıkan azaltım birimleri
- Yenilenebilir Enerji sertifikası (Renewable Energy Credit-REC): Yenilenebilir enerji projelerinden kazanılan krediler

4.4. Emisyon Ticaret Sistemleri

İlk ulusal emisyon ticaret sistemlerinden biri Birleşik Krallık Emisyon Ticaret Sistemi (UK ETS)' dir. Birleşik Krallık Emisyon Ticaret Sistemine yaklaşık 6.000 şirket katılmış ve kurulduğu yıl 1,2 milyon ton karbondioksit emisyonu ticareti gerçekleştirmiştir, 2003' te ise emisyon ticareti miktarı 900.000 ton olarak kaydedilmiştir. İlk üç yılda, yaklaşık 1.400 şirket piyasaya girmiştir ve 6 milyon tondan fazla CO₂ emisyonu ticareti gerçekleştirilmiştir. Ancak, Avrupa Birliği tarafından oluşturulan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin uygulanmaya başlamasının akabinde İngiltere tarafından Birleşik Krallık Emisyon Ticaret Sistemi uygulaması durdurulmuş ve AB ETS' ye entegre olunmuştur. Bu nedenle, Birleşik Krallık Emisyon Ticaret Sisteminin ekonomik ve çevresel etkinliğini tam olarak değerlendirmek zor olabilir, çünkü bu dönemde farklı sistemlerin ve politikaların etkisi söz konusudur.

Emisyon ticaret sistemi, özellikle Kyoto Protokolü ile imzalanan taahhütlerle uyum sağlanması için Protokol tarafından belirlenen sera gazı emisyon azaltım mekanizmaları ile yaygınlaşmıştır.

Yeni Zelanda, Kazakistan, ABD, Kanada ve Çin' in farklı eyaletlerinde emisyon ticaret sistemleri uygulanmaya başlanmıştır ancak ABD ve Kanada' da federal bir sisteme geçiş süreçleri devam etmektedir. Ayrıca Japonya ve Meksika' da emisyon ticaret sistemi uygulamalarına yönelik çalışmalar başlatılmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri' nde zorunlu emisyon ticareti 3 farklı bölgede devam etmektedir. Massachusetts Bölgesinde, 2018 yılı itibarı ile; Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, New Hampshire, New Jersey, Rhode Island, Vermont ve New York

Bölgelerinde 2009 yılı itibarı ile, elektrik üretim tesisleri için zorunlu emisyon ticaret sistemi hayatı geçirilmiştir. Kaliforniya Eyaletinde, 2012 yılı itibarı ile hayatı geçirilen zorunlu emisyon ticaret sistemine taşımacılık, inşaat, endüstriyel üretim ve enerji üretim sektörleri dahil edilirken; Washington' da 2023 yılı itibarı ile zorunlu emisyon ticaret sistemi hayatı geçirilmiştir. Ancak, henüz ABD genelinde ulusal düzeyde emisyon ticaret sistemi uygulaması bulunmamaktadır.

Kanada' da, Quebec ve British Columbia bölgeleri haricinde diğer bazı yerel yönetimlerce emisyon ticaret sistemi uygulamaları ya da emisyon azaltımına yönelik çalışmalar 2020 yılı sonrasında hayatı geçirilmiştir. Hali hazırda Kanada' nın ulusal emisyon ticaret sistemi ile ilgili altyapı çalışmaları devam etmektedir.

Meksika' da emisyon ticaret sistemi uygulaması 2020 yılının Ocak ayı itibarı ile başlamış olup 2020 ve 2021 yılları pilot uygulama olarak devam etmiştir. 2022 yılında geçiş fazı başlatılmış olup uygulamaları sürdürülmektedir.

Brezilya 2009 yılında, sera gazı emisyonlarının azaltılması için tanımlama, plan ve ölçüm ve aksiyonları kontrol etmek amacıyla “İklim Değişikliği Ulusal Kanunu” nu kabul etmiştir. Emisyon ticaret sisteminin oluşturulması ile ilgili çalışmaları devam etmektedir.

Arjantin Parlamentosu öncelikli olarak enerji sektörünü kapsayacak emisyon ticaret sistemi tekliflerini değerlendirmektedir [**ICAP, 2024**].

Günümüzde, dünya genelinde zorunlu olarak yürürlükte olan 36 emisyon ticaret sistemi bulunmaktadır. Ayrıca, 22 farklı ülkede ticaret sistemi oluşturma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Emisyon ticaret sistemi uygulamaları, Meksika, Brezilya, Çin, Hindistan, Endonezya gibi gelişmekte olan ülkelerde kayda değer şekilde yaygınlaşmaktadır. Mevcut ve geliştirilmekte olan sistemler dünya genelindeki sera gazı emisyonlarının %18' ini kapsamaktadır [**ICAP, 2024**].

Uluslararası Karbon Hareketi OrtaklıĞı (International Carbon Action Partnership – ICAP) tarafından 2024 yılında yayımlanan raporda, yürürlükte olan 36 farklı zorunlu emisyon ticaret sisteminin 9,9 Gt CO₂e sera gazını kapsadığını, 14 farklı ETS' nin gelişme aşamasında, 8 ETS' nin ise kurulumunun değerlendirildiği belirtilmektedir.

20. yüzyılda bazı emisyon ticaret sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ancak iklim değişikliği üzerine yapılan konferanslar ve alınan kararların da etkisi ile 21. yüzyılın başlarında emisyon ticaret sistemi çalışmaları hız kazanmıştır. 2005 yılında

ilk uluslararası emisyon ticaret sistemi olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi uygulamaya geçirilmiştir. Ulusal nitelikte emisyon ticaret sistemi olarak 2008 yılında Yeni Zelenda Emisyon Ticaret Sistemi, 2013 yılında İsviçre Emisyon Ticaret Sistemi v Kazakistan Emisyon Ticaret Sistemi, 2015 yılında Güney Kore Emisyon Ticaret Sistemi, 2020 yılında Meksika ve Karadağ Emisyon Ticaret Sistemleri uygulamaya geçirilmiştir

2005 yılında Avrupa Birliği ETS uygulamaya başladığında küresel sera gazları emisyonlarının %5'ini kapsamaktayken 2024 yılı itibarı ile tüm emisyon ticaret sistemleri küresel sera gazları emisyonlarının %18'ini kapsamaktadır.

Tablo 4.2: Uygulamada olan emisyon ticaret sistemleri ve başlangıç yılları.

Yıl	Uygulamaya Başlayan Emisyon Ticaret Sistemleri
2005	AB ETS
2007	Alberta (SGER)
2008	Yeni Zelenda
2009	RGGI (Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Rhode Island, Vermont)
2010	Tokyo
2011	Saitama
2013	İsviçre, Kaliforniya, Quebec, Kazakistan, Çin (Pilot) ¹
2014	Chongqing, Hubei
2015	Güney Kore
2016	Fujian
2017	Ontario C&T ²
2018	Alberta, Massachusetts
2019	Çin Ulusal ETS, Nova Scotia C&T, Kanada Federal OBPS, Newfoundland & Labrador, Saskatchewan
2020	Meksika, Karadağ
2021	China National ETS ³ , Germany, Birleşik Krallık ⁴ , New Brunswick
2022	Oregon, Ontario EPS
2023	Austria, Washington, Indonesia, Nova Scotia (OBPS Instead Of C&T), Australia
2024	British Columbia

¹ Beijing, Guangdong, Shanghai, Shenzhen, Tianjin

² Ontario C&T 2017 yılında sonlandırılmıştır.

³ Çin Ulusal ETS 2021 yılında yürürlüğe girmiştir. Ancak 2019 ve 2020'de geriye dönük uyumluluk yükümlülükleri bulunmaktadır.

⁴ 2021 yılında Birleşik Krallık, AB ETS üst sınırında ayarlama yapılmasını gerektiren kendi ETS' ni başlattı.

The Chinese National ETS came into force in 2021 but has retroactive compliance obligations in 2019 and 2020

Bu çalışmada, uluslararası emisyon ticaret sistemi olması ve dönemsel azaltım hedefleri belirleyerek uygulamanın sürdürülmesi nedenleriyle Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) değerlendirilmiştir. AB ETS zorunlu olarak uygulamada olan, en büyük hacme sahip emisyon ticaret sistemidir. Ayrıca, Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminden sonra uygulaması başlayan (2018) ilk ulusal emisyon ticaret sistemi olan Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi verileri de değerlendirilmiştir.

4.4.1. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS), Avrupa Birliği'nin (AB) Kyoto Protokolü'ndeki taahhütlerini yerine getirmek için önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistem, enerji ve diğer karbon yoğun endüstrilerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmayı ve sınırlamayı hedefleyerek işletmelere karbon emisyonlarını belirli bir maliyetle yönetme ve azaltma fırsatı sunması amacıyla oluşturulmuştur. AB ETS, 27 AB ülkesi ile Norveç, İzlanda ve Lihtenstayn gibi Avrupa Ekonomik Alanındaki ülkeleri kapsayan büyük ölçekli bir programdır.

Bu sistem, Avrupa Birliği Ekonomik Alanındaki 11.000' den fazla işletmeyi ve enerji üretim tesisi ve bu bölgedeki sera gazı emisyonlarının %38' ini kapsamaktadır. Ayrıca 2020 yılı itibarıyle AB ETS ile İsviçre Emisyon Ticaret Sistemi arasında entegrasyon yapılmış ve çift taraflı fayda sağlanacak şekilde tahsisatların kullanımı sağlanmıştır. Bu işletmelerin karbon emisyonlarını azaltma veya belirli bir sınıra indirme hedeflerini karşılamak için emisyon kotaları almak veya satmak gibi çeşitli seçenekleri vardır. Bu, işletmeler arasında karbon ticareti teşvik ederken, aynı zamanda belirli emisyon hedeflerini karşılamalarını sağlar [Ellerman ve Joskow, 2008].

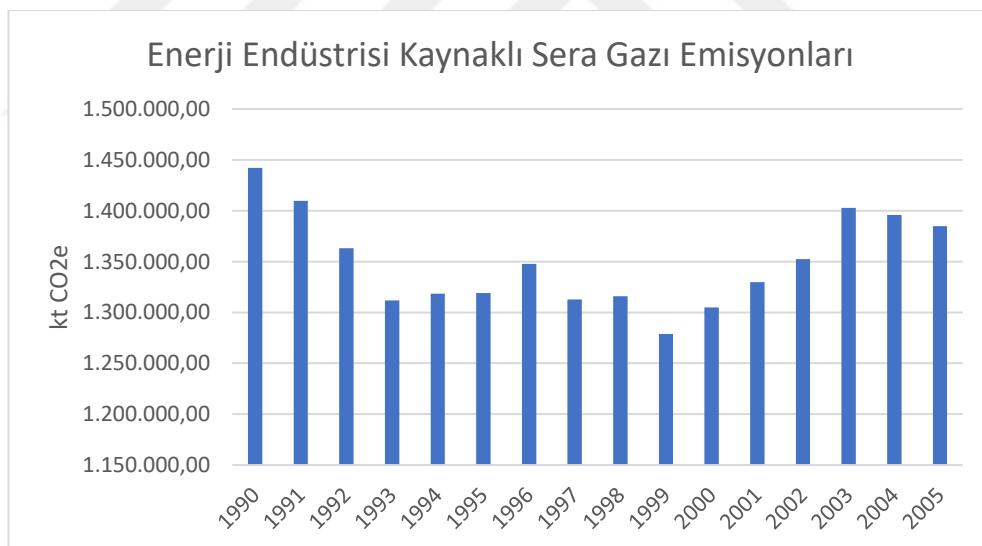
AB ETS, büyük bir emisyon ticaret sistemi olarak kabul edilmekte ve benzer programların gelecekte küresel ölçekte uygulanması için bir model olarak

görmektedir. Bu sistem, çevresel hedeflerin yanı sıra ekonomik etkenleri de dikkate alarak, emisyon azaltımını teşvik eden ve işletmelerin bu hedeflere uyum sağlamasını sağlayan bir politika aracı olarak işlev görmektedir.

1997 yılında Kyoto Protokolü' nün imzalanması ile 37 sanayileşmiş ülke, emisyon azaltım hedefleri belirleyerek, 2012 yılı sonuna kadar sera gazı salınımılarını 1990 yılı seviyelerinin %5 altına indirmeyi taahhüt etmiştir. Kyoto Protokolü kapsamında sera gazı azaltım taahhüdü imzalanması ile Avrupa Birliği Komisyonu tarafından, Protokolün esneklik mekanizmaları önerileri doğrultusunda, emisyon ticaret sistemi oluşturulması gündeme getirilmiştir.

4.4.1.1. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin Kuruluşu

Avrupa Birliği Komisyonu tarafından emisyon ticaret sistemi geliştirilmesine yönelik ilk fikir, 2000 yılında, “Green Paper¹” ile gündeme getirilmiş ve emisyon ticaret sisteminin tasarılanması ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır.

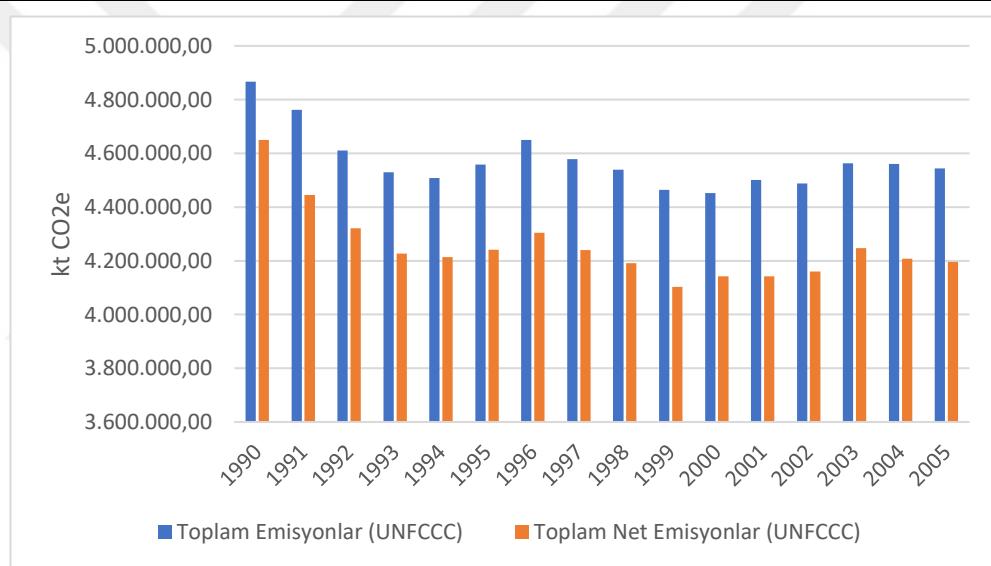


Şekil 4.6: AB-27 Ülkelerinin enerji endüstrisi (elektrik ve ısı üretimi, petrol işlenmesi, katı yakıt üretimi ve diğer enerji endüstrileri) kaynaklı sera gazı emisyonlarının yıllık değişimi.

Avrupa Çevre Ajansı verileri doğrultusunda hazırlanan AB-27 ülkelerinin enerji endüstrisi (elektrik ve ısı üretimi, petrol işlenmesi, katı yakıt üretimi ve diğer enerji endüstrileri) kaynaklı sera gazı emisyonlarının yıllık değişimi **Şekil 4.6’** da, toplam sera gazı emisyonlarının yıllık değişimleri ise **Şekil 4.7’** de verilmektedir.

1990-2005 yılları arasındaki veriler değerlendirildiğinde sera gazı emisyon salınımıları 1999 yılında en düşük seviyeye ulaşmış ancak tekrar yükselmeye başlamıştır. Toplam net emisyon verilerinin 1990-1999 yılları arasındaki değişimini AB-27 ülkeleri ayrı ayrı incelendiğinde Avusturya (%10,48), Almanya (%20,58), Fransa (%1,92), Lüksemburg (%33,64), Hollanda (%0,66) ve İsveç (%13,04) ülkelerinde toplam net emisyonların azaldığı ancak diğer ülkelerde %5-28 oran aralığında arttığı görülmektedir. Verilerin AB-27 olarak değerlendirildiğinde ise toplam net emisyonun %11,77 azaldığı görülmektedir.

¹ Green Paper: Avrupa Birliği Komisyonu tarafından hazırlanan, belirli bir alanda/konuda bir öneri sunarak, Avrupa Birliği düzeyinde bir tartışma ve danışma sürecinin başlatılmasını sağlayan dokümandır).



Şekil 4.7: AB-27 Ülkelerinin toplam sera gazı emisyonlarının yıllık değişimi.

AB ETS' nin başladığı 2005 yılına kadar olan süreçte sera gazı emisyonlarının 1990 yılı seviyesine göre azaldığı görülmektedir. Azalmaya en önemli katkıyı Almanya' nın izlediği politikalar sağlamıştır. Almanya' da enerji ve ısıtma tesislerinin verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar ve yatırımların yapılması ve Almanya' nın yeniden birleşme sürecinden sonra beş yeni eyaletin ekonomik olarak yeniden yapılandırılması sera gazı azaltımını etkilemiştir [AÇA, 2014].

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine taraf olan ülkeler sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesine indirmeyi taahhüt etmişlerdir. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerde sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkı sağlamak için

teknolojik ve mali kaynak aktarmayı kabul etmişlerdir. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü ile EK-1 de yer alan taraf ülkeler sera gazı emisyonlarının 2008-2012 döneminde 1990 yılı seviyesine göre en az %5 azaltmayı taahhüt etmişlerdir [**Kyoto Protocol, 1998**].

AB tarafından sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik emisyon ticaret sistemi 2005 yılında hayatı geçirilmiş ve 2005-2008 dönemi pilot uygulama dönemi olarak sürdürülmüştür.

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi, sera gazı emisyonları salınımlar için bir üst limit belirleme ve tahsisat ticareti yapılması temelli (cap and trade system) oluşturulan bir karbon ticaret sistemidir. Emisyon üst sınırı doğrultusunda şirketlere ücretsiz tahsisat dağıtımları yapılmakta ya da şirketler tarafından AB Karbon piyasalarında tahsisat satın alımı yapılmaktadır. Sistemde ücretsiz dağıtılan tahsisatlar her yıl azaltım hedefleri doğrultusunda azaltılmaktadır. Bu durum tahsisat kıtlığına neden olacağından sistem içerisinde bulunan tahsisatların, arz talep dengesi doğrultusunda, piyasa değeri kazanmasını sağlamaktadır [**Web 3**].

Tahsisat fiyatlarının artması emisyon denkleştirmek için tahsisat satın alım maliyetlerini yükselttiği için sera gazı emisyonlarına neden olan kuruluşları daha düşük maliyetli çevreci üretime geçmesi konusunda yatırım yapmaya teşvik edecektir. Tahsisatlar ücretsiz dağıtımlı haricinde açık artırma usulü ile de satılabilimtedir. Böylece AB ETS sistemi gelir elde etmektedir. Sistem tarafından elde edilen gelirler belirli kurallar dahilinde ulusal bütçelere aktarılmaktadır. Üye Devletler aktarılan bu gelirleri, enerji verimliliği iyileştirmelerini, yenilenebilir enerji yatırımlarını, düşük karbonlu teknoloji yatırımlarını desteklemek için kullanmaktadır [**Web 3**].

4.4.1.2. Avrupa Birliği Ticaret Sistemi Aşamaları ve Gelişimi

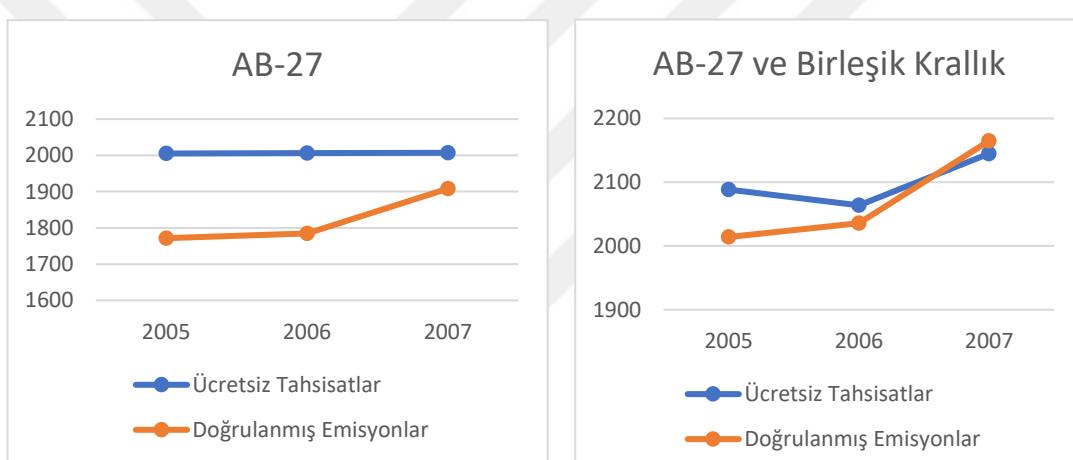
Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi gelişimi 4 aşama ile gerçekleşmektedir. 2005-2007 yılları arasındaki 3 yıllık dönem 1. Aşama, 2008-2012 yılları arasındaki 5 yıllık dönem 2. Aşama, 2013-2020 yılları arasındaki 8 yıllık dönem 3. Aşama ve 2021-2030 yılları arasındaki 10 yıllık dönem 4. Aşama olarak değerlendirilmektedir.

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi 1. Aşama: Enerji üretim tesisleri ile enerji yoğunluklu endüstri tesislerini kapsamaktadır. Belirlenen sera gazı salınımları üst limitleri doğrultusunda, ilgili işletmelere ücretsiz tahsisatlar dağıtılmış ve limit

değerlerin aşılması durumunda ton başına 40 EURO ceza uygulanması kararı alınmıştır.

1. aşama pilot uygulama dönemini ifade etmektedir. Daha önce doğrulanmış emisyon verisi olmadığı için sistem dahilinde ücretsiz emisyon tahsisatı fazla yapılmıştır. Dönem sonuna gelindiğinde tahsisatların fazla yapıldığı anlaşılmıştır. Tahsisatların fazlalığı tahsisat fiyatlarının 2007 yılı sonunda sıfıra düşmesine neden olmuştur. Bu durum piyasa temeli sistem için olumsuzluk teşkil etmektedir.

Avrupa Çevre Ajansı verileri ile hazırlanan AB ETS 2005-2007 dönemi sabit yatırımlardan kaynaklı sera gazları için ücretsiz tahsisatlar ve doğrulanmış emisyon verilerinin yıllara göre değişimi **Şekil 4.8'** de verilmektedir.



Şekil 4.8: AB ETS 2005-2007 dönemi sabit yatırımlardan kaynaklı sera gazları için ücretsiz tahsisatlar ve doğrulanmış emisyon verilerinin yıllara göre değişimi (Avrupa Çevre Ajansı verileri ile hazırlanmıştır).

AB ETS' de değerlendirme yapıılırken AB-27, AB-27 ve Birleşik Krallık ve 2. aşamada sisteme dahil edilen ilave 3 ülke (İzlanda, Lichtenstain ve Norveç) olarak farklı değerlendirmeler yapılmaktadır. Ayrıca verilerin analizinde, karbon yutaklarını da içeren, arazi kullanımı, arazi kullanımı değişiklikleri ve ormancılık faaliyetleri (Land Use, Land Use Change, and Forestry - LULUCF) hariç ve dahil olarak farklı değerlendirme yaklaşımı söz konusudur.

AB-15, 6 kurucu ülke ve Avrupa Birliği' nin 4. Genişleme dönemi sonuna kadar üye olan ülkelerden oluşmaktadır. Bu ülkeler, Almanya, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İrlanda, İspanya, İsveç, İtalya, Lüksemburg, Portekiz, Yunanistan ve İngiltere' dir. İngiltere, Brexit süreci ile 2020 yılı sonunda AB' den

ayrılmış ve 2021 yılı itibarı ile kendi ulusal emisyon ticaret sistemini kullanmaya başlamıştır.

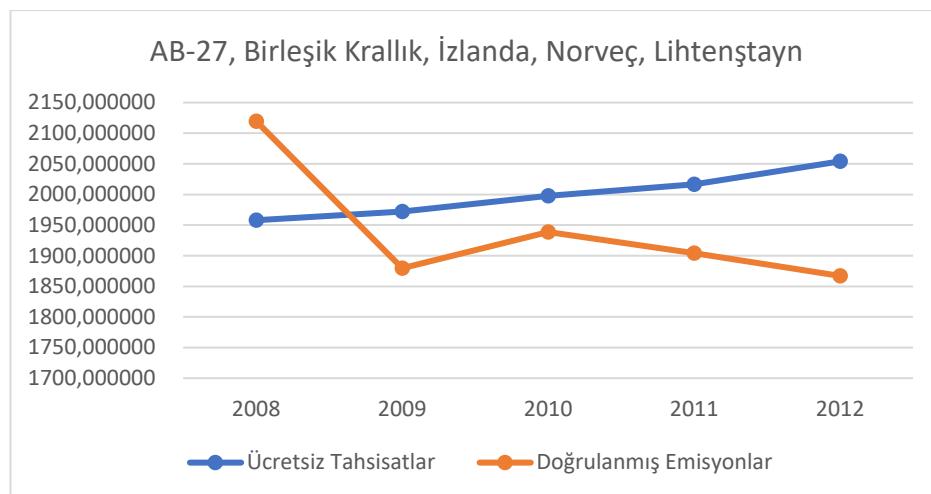
2007 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekreterliği'ne sunulan, 1990-2005 yıllarını içeren Avrupa Birliği Sera Gazi Envanteri ve 2007 Envanter Raporunda; AB-15 ülkelerinin sera gazı emisyonlarının 2004-2005 yılları arasında %0,8 (35,2 milyon ton CO₂ eşdeğeri) azaltıldığı, bu miktarın 26 milyon tonunun CO₂ emisyonu olduğu belirtilmiştir. AB-27 ülkelerinin ise sera gazı emisyonlarının 2004-2005 yılları arasında %0,7 (37,9 milyon ton CO₂ eşdeğeri) azaltıldığı belirtilmiştir.

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi 2. Aşama: AB ETS' nin 2005-2007 yılları arasındaki dönemde karbon fiyatı oluşmuş ve Avrupa Birliğinde serbest emisyon ticaretine başlanmıştır. Ancak; sistemin yeni uygulanmaya başlanması ve güvenilir emisyon verilerinin olmaması nedeniyle, tahsisat dağıtımları, bu dönemde gerçekleşen toplam emisyon salınım miktarlarını aşmıştır. Bu durum tahsisat ücretlerin sıfır'a kadar düşmesine neden olmuştur.

Kyoto Protokolü kapsamında belirlenen taahhütlerle, 2008-2012 yılları arasındaki 5 yıllık dönemde sera gazı emisyon salınım miktarlarını 1990 yılı seviyesinin en az %5 altına düşürülmesi yükümlülüğü doğrultusunda, Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde, bu dönem için belirlenen hedef %8' dir.

Pilot uygulama dönemi olan 1. Aşamanın akabinde 2008 yılı itibarı ile başlayan 2. aşamada tahsisatlar 2005 yılına göre %6,5 oranında azaltılmıştır. Sisteme, Avrupa Birliği serbest dolaşımında bulunan ülkelerden İzlanda, Lichtensteyn ve Norveç dahil edilmiş ve bazı ülkelerde nitrik asit üretiminden kaynaklanan nitröz asit emisyonları da azaltım hedeflerine dahil edilmiştir. Limitlere uyulmaması durumunda ise ton başına 100 EURO ceza uygulanması kararı alınmıştır. 2012 yılında havacılık sektörü de sisteme dahil edilmiştir.

2008-2012 yılları arasını kapsayan dönemde sabit yatırımlardan kaynaklı sera gazları için ücretsiz tahsisatlar ve doğrulanmış emisyon verilerinin yıllara göre değişimi **Şekil 4.9'** da verilmektedir [[Web 3](#)].



Şekil 4.9: AB ETS 2008-2012 dönemi, sabit yatırımlardan kaynaklı sera gazları için ücretsiz tahsisatlar ve doğrulanmış emisyon verilerinin yıllara göre değişimi.

Avrupa Birliği emisyon ticaret sistemi 2005 yılında uygulamaya başlandığında 25 üye ülkeden oluşmaktadır. Doğu Avrupa'da yer alan 10 ülke (Çekya, Estonya, Letonya, Macaristan, Litvanya, Güney Kıbrıs Cumhuriyeti, Malta, Polonya, Slovakya, Slovenya) 2004 yılında Avrupa Birliğine katılmıştır. 2007 yılında Bulgaristan ve Romanya, 2013 yılında ise Hırvatistan üye ülke statüsüne geçmiştir. Böylece 28 üye ülke sayısına ulaşan Avrupa Birliği, 2020 yılında Birleşik Krallık'ın ayrılması ile 2021 yılı itibarı ile 27 üye ülkeden oluşmaktadır.

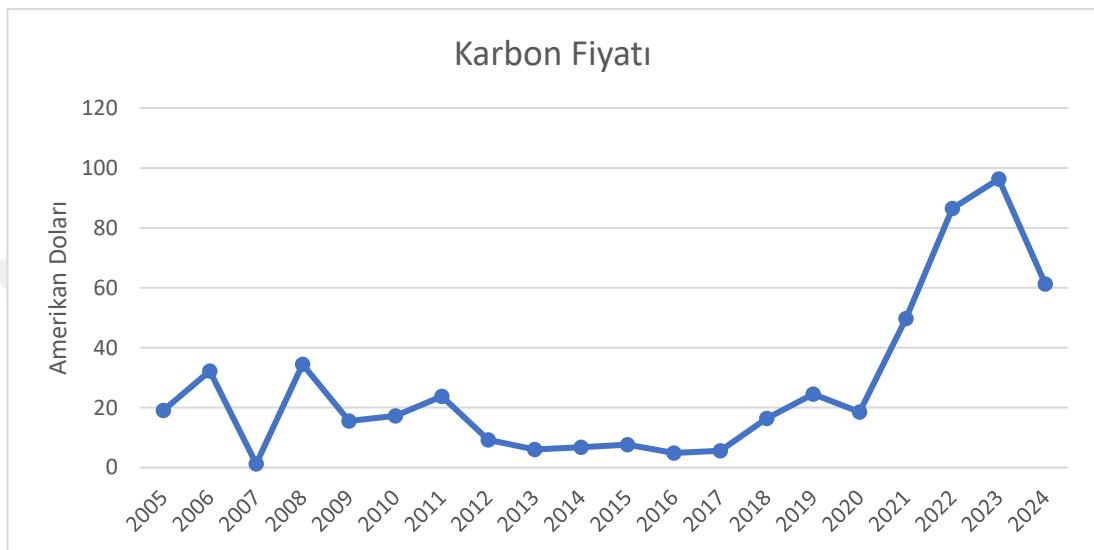
AB ETS' nin 2. aşamasında İzlanda, Lihtenştayn ve Norveç sisteme dahil edilmiş olup emisyon ticaret sistemi verileri değerlendirilirken AB-15, AB-27, AB-27 ve UK (United Kingdom – Birleşik Krallık) ve İzlanda, Lihtenştayn, Norveç olarak ayrı değerlendirmeler ile karşılaşılmaktadır.

ETS' nin 1. Aşaması başladığı 2005 yılında, Doğu Avrupa Ülkelerinin, Avrupa Birliğine henüz 1 yıllık üyelikleri olması nedeniyle, özellikle 1. ve 2. Aşamalarda AB-15 ülkelerinin veri değerlendirilmesi sıkılıkla kullanılmıştır.

Pilot uygulama aşamasının (2005-2007) tamamlanmasıyla, doğrulanmış emisyon verileri elde edilmiş ve tahsisatlar düşürülmüştür. 2008 ekonomik krizi etkisiyle azalan üretim başta olmak üzere krizin etkileri sera gazı salınımlarını, beklenenden daha fazla azaltmasına neden olmuştur [Web 3]. Seragazı salınımının azalması olumlu bir çıktı olarak değerlendirilse de ekonomik krizin etkisi ile beklenenden fazla olan azaltım AB

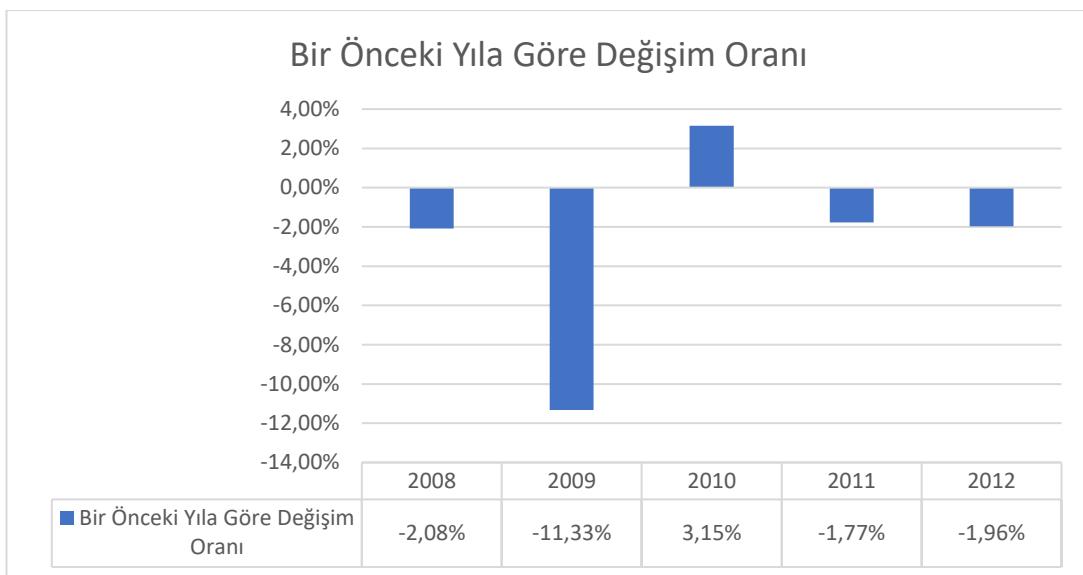
ETS' nin çıktılarının değerlendirilmesinde güçlük oluşturmakla beraber tahsisat ücretlerinin de etkilenmesine neden olmuştur.

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde karbon fiyatlarının yıllara göre değişimi **Şekil 4.10**' da verilmektedir [Web 3], 2. Aşamada doğrulanan emisyonların bir önceki yıla göre değişim oranları **Şekil 4.11**' de verilmektedir [web 3].



Şekil 4.10: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi karbon fiyatlarının yıllara göre değişimi.

2005-2007 döneminde, geçmişten gelen veri olmaması nedeniyle, tahsisatlar fazla miktarda dağıtılmıştır. Bu nedenle, 2007 yılında karbon fiyatı sıfıra kadar inmiştir. Söz konusu 3 yıllık pilot uygulama döneminde elde edilen veriler ışığında 2008 yılı itibarı ile daha az miktarda tahsisat yapılmıştır. 2008 yılındaki ekonomik krizin de etkisi ile üretim miktarlarındaki düşüş nedeniyle sera gazı emisyon salım miktarlarında düşüş olmuştur. Ancak bu durum ticaret sisteminin etkinliğinin ölçülmesinde zorluklar oluşturmaktadır.



Şekil 4.11: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi kapsamında doğrulanmış emisyonların bir önceki yıla göre değişim oranları (2. aşama).

AB ETS kapsamında, AB-27, Birleşik Krallık, İzlanda, Norveç ve Lihtenştayn ülkelerinin, 2008 yılında doğrulanmış toplam emisyon miktarı 2.119,67 Mt CO₂e iken 2012 yılında bu değer 1.867,03 Mt CO₂e' dir. Bu veriler AB ETS nin 2. Aşamasında doğrulanmış sera gazı emisyon azaltımının %11,92 olduğunu göstermektedir. AB-27 ve Birleşik Krallık'ın 2012 yılında toplam doğrulanmış emisyon miktarı ise 2005 yılına göre %8,22 azalmıştır. 2012 yılında sisteme dahil edilen havacılık kaynaklı sera gazı emisyonları hariç tutularak hesaplanmıştır.

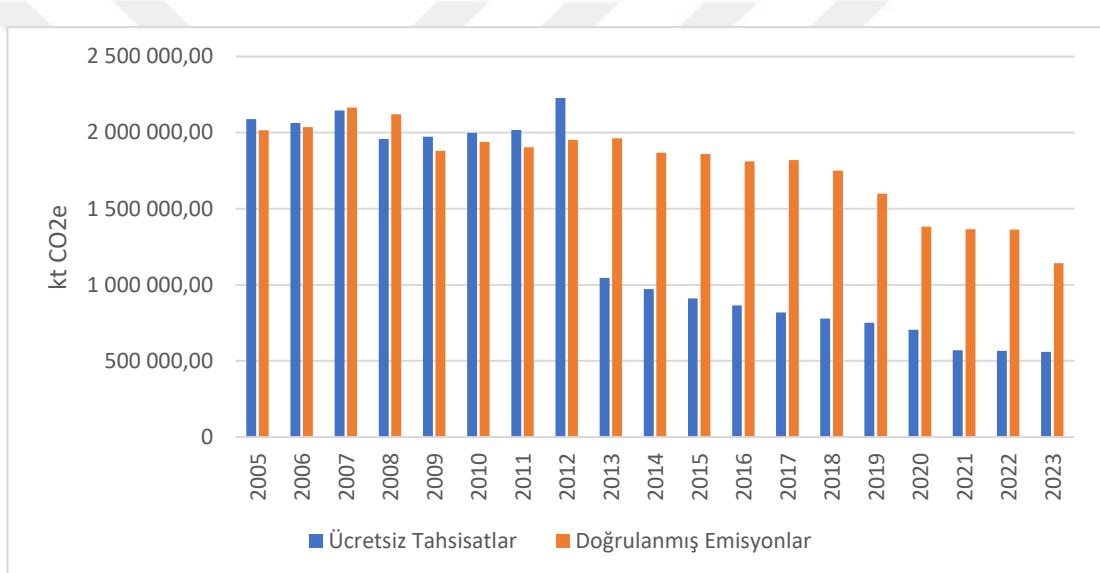
Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi 3. Aşama: AB ETS de 2013-2020 yılları arasını kapsayan 8 yıllık dönemde, önceki dönemlere göre sistemde önemli değişiklikler yapılmıştır. Ulusal emisyon üst sınırı yerine AB genelinde tek bir emisyon üst sınırı belirlenmiştir. Ücretsiz tahsisat yerine açık artırma usulü ile tahsisat satışının yapılmasına karar verilmiştir.

2012 yılında sivil havacılık faaliyetleri kaynaklı CO₂ emisyonlarının ETS kapsamına alınmasından sonra, ETS' nin 3. aşamasında nitrik, adipik ve glioksilik asit ve glioksal üretiminden kaynaklı nitröz oksit (N₂O) emisyonları ile alüminyum üretiminde kaynaklı perflorokarbonlar (PFCs) kapsama dahil edilmiştir [AÇA, 2014].

Paris Anlaşmasının imzalanması, 2030 yılına kadar, 1990 yılına kıyasla, net %55 sera gazı emisyonu azaltım taahhüdü ile emisyon ticaret sisteminde yapılan revizyonlar ve üst aşım limitlerinin azaltılması ile karbon fiyatlarında artış meydana gelmiştir.

Karbon fiyatlarının artışında ücretsiz tahsisatların azaltılması ve açık artırma yöntemi ile tahsisat satışının da yapılmasının etkileri bulunmaktadır.

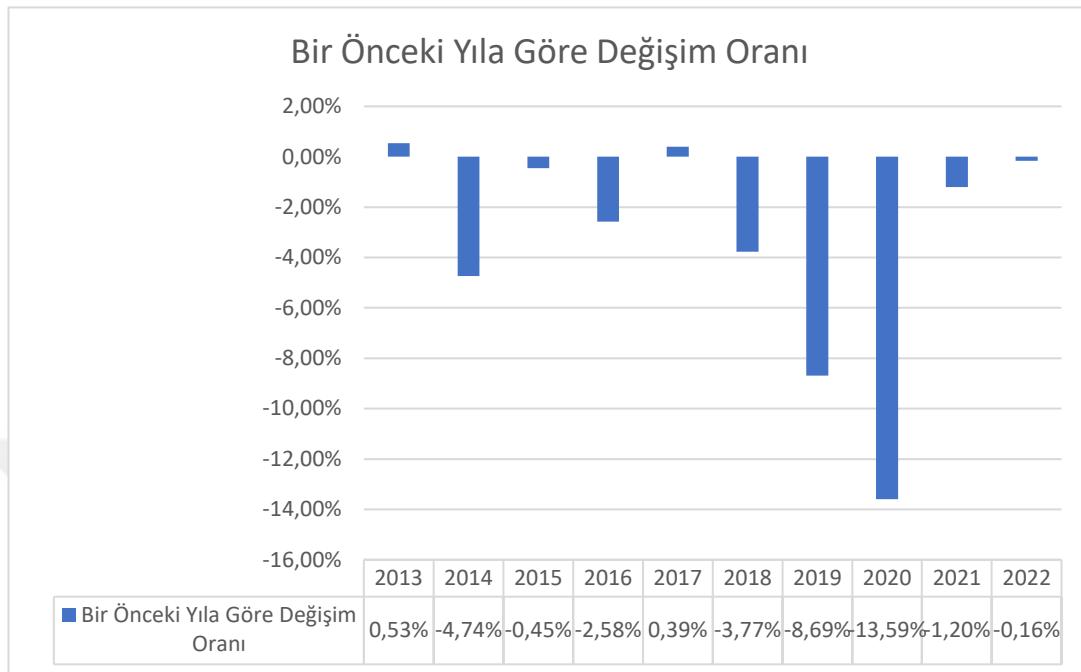
Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi, “cap and trade” olarak adlandırılan “emisyon üst sınırı ve ticareti prensibine dayanan bir sistemdir. 1. ve 2. Aşamalarda üst limit belirlemek için üye devletlerin ulusal tahsis planları toplanarak hesaplama yapılmışken, 3. Aşamanın başladığı 2013 yılı itibarı ile AB genelinde tek bir üst limit belirlenmiştir. Bu üst limit, 2008-2012 temel emisyonlarının ortalaması olan 2.084 MtCO₂e' olup her yıl doğrusal olarak %1,74 oranında azaltılmıştır. Böylece 2020 yılı üst limiti 1.816 MtCO₂e' dir [ICAP, 2024]. AB Emisyon ticaret sistemi tahsisatlar ve doğrulanmış emisyonların yıllara göre değişimi **Şekil 4.12'** de verilmektedir [Web 3].



Şekil 4.12: Avrupa Birliği emisyon ticaret sistemi tahsisatlar ve doğrulanmış emisyonların yıllara göre Değişimi (AB-27, Birleşik Krallık, İzlanda, Norveç ve Lihtenştayn ülkelerinin sabit yatırımlardan ve havacılık sektörlerinden kaynaklı toplam emisyonları).

Avrupa Çevre Ajansı tarafından yayınlanan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi verileri doğrultusunda, AB-27, Birleşik Krallık, İzlanda, Norveç ve Lihtenştayn ülkelerinin sabit yatırımlardan ve havacılık sektörlerinden kaynaklı toplam emisyonlarının, 2005-2023 tarihleri arasındaki verileri değerlendirildiğinde, 2005-2012 arası dönemi kapsayan 1. ve 2. aşamalarda yaklaşık olarak onaylanmış emisyonlar kadar tahsisat yapılırken 2013 yılında %48,95 oranında tahsisat miktarı azaltılmıştır. Bununla beraber onaylanmış sera gazı emisyon salım miktarları da düzenli olarak azalmıştır. AB ETS' nin 3. aşaması olan 2013-2020 yılları arasında ise

emisyon azaltım oranı %24,25' dir [Web 3]. 3. Aşamada doğrulan emisyonların bir önceki yıla göre değişim oranları (3. aşama) ise **Şekil 4.13'** de verilmektedir.



Şekil 4.13: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi Kapsamında doğrulan emisyonların bir önceki yıla göre değişim oranları (3. aşama).

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi 4. Aşama: 2021 yılı itibarı ile AB ETS' de, 2021-2030 yıllarını kapsayacak 4. aşama başlamıştır. 2030larındaki azaltım hedefi olan %55 (1990 yılı seviyesine göre) net azaltım hedefi doğrultusunda deniz taşımacılığı da AB ETS kapsamına alınmıştır. 2024 yılı itibarı ile 5000 gross ton ve üzeri kapasitede olan ve Avrupa Birliği limanlarına giriş yapan büyük tonaj gemiler sisteme dahil edilmiştir [ICAP, 2024]. Uyruğu fark etmeksızın, bu özelliklerdeki gemilerden; AB dışında başlayan ve biten yolculuklardan kaynaklanan emisyonların %50 si; İki AB limanı arasında ve gemiler AB limanlarında bulunduğu esnada meydana gelen emisyonların %100 ünü kapsamaktadır. Ayrıca, başlangıçta deniz taşımacılığında yalnızca CO₂ emisyonları kapsamdayken kademeli olarak, 2026 yılı itibarı ile CH₄ ve N₂O emisyonlarının dahil edilmesi kararlaştırılmıştır [ICAP, 2024].

2023 yılında Avrupa Birliği Komisyonu tarafından emisyon salınımlarını azaltmak adına önemli bir adım atılarak “FİT for 55” paketi açıklanmıştır. “Fit for 55” paketi ile Birlik, 2030 yılı sonuna kadar emisyon salınımlarını 1990 yılı seviyelerinin %55 altına düşürülmesi hedefini belirlemiştir. 2012 yılında ticaret sistemine dahil edilen, Avrupa

Birliği içerisinde faaliyet gösteren hava taşımacılığı sektörüne ilave olarak 2024 yılı Ocak ayı itibarı ile deniz taşımacılığı da sisteme dahil edilmiştir [ICAP, 2024].

2030 hedeflerine ulaşmak için yapılan çalışmalarında AB tarafından ETS 2 geliştirilmektedir. ETS 2 kapsamında inşaat sektörü, karayolu taşımacılığı, ağırlıklı olarak küçük ölçekli sanayi tesisleri gibi ilave sektörlerin de yeni emisyon ticaret sistemine dahil edilmesi çalışmaları sürdürülmektedir.

4.4.1.3. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemine İlişkin Verilerin Değerlendirilmesi

Sera gazları emisyonlarının azaltılmasına yönelik birçok uygulama söz konusu olup bunlardan en yaygın kullanılanlar emisyon ticaret sistemi uygulamaları ve karbon vergisi uygulamalarıdır. Küresel sera gazları emisyonlarının oluşumunu etkileyen birçok faktör söz konusudur. Bu nedenle oluşan sera gazı emisyon miktarlarının kesin doğrulukla belirlenmesi ve yine gerçekleştirilen emisyon azaltımlarının aynı doğrulukla belirlenmesi söz konusu olamamaktadır. Ayrıca, dünya üzerinde farklı azaltım mekanizma ve uygulamaları kullanıldığı için herhangi bir azaltım tekniği ile gerçekleştirilen azaltımları kesin doğrulukla belirlemek mümkün olmamaktadır.

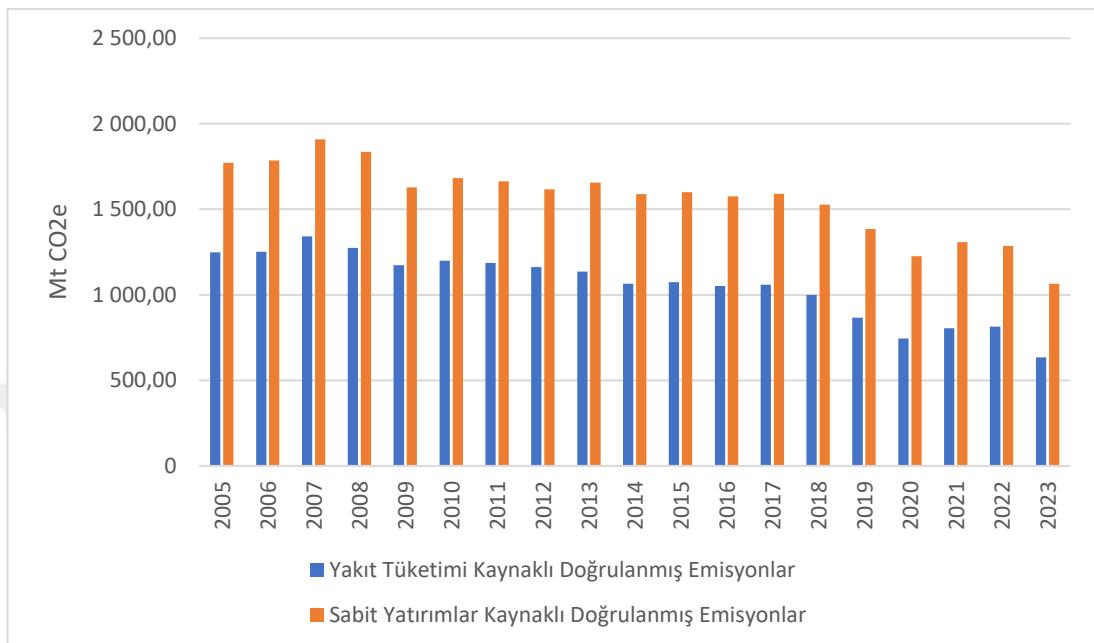
Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi zorunlu uygulamaya geçen ilk uluslararası emisyon ticaret sistemi olması, gelişmekte olan ülkelere göre daha sağlıklı veri akışı ticaret sisteminin çıktılarının yüksek doğruluğunu sağlamaktadır. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemine üye olan ülkeler ayrıca kendi ulusal vergi uygulamalarını da sürdürmektedirler. Bu durum, emisyon ticaret sisteminin tek başına sera gazı azaltılmasındaki katkısını belirlemekte güçlük oluşturmaktadır.

Emisyon ticaret sistemini verilerinin, sera gazı emisyon salınım miktarlarını etkileyebilecek en büyük faktörler olan nüfusa ve gayrisafi yurt içi hasılaya bağlı olarak değerlendirilmesi daha doğru kıyaslama yapılmasına yardımcı olmaktadır.

Avrupa Çevre Ajansı tarafından yayınlanan verilere göre AB ETS kapsamındaki en yüksek salınımın olduğu sabit yatırımlardan ve yakıt kullanımından kaynaklanan doğrulanmış emisyon değerleri incelendiğinde;

- Sabit yatırımlardan kaynaklı doğrulanmış emisyon miktarı, 2020 yılında (1.225,11 Mt CO₂e) 2005 yılına (1.771,56 Mt CO₂e) göre %30,85 oranında,

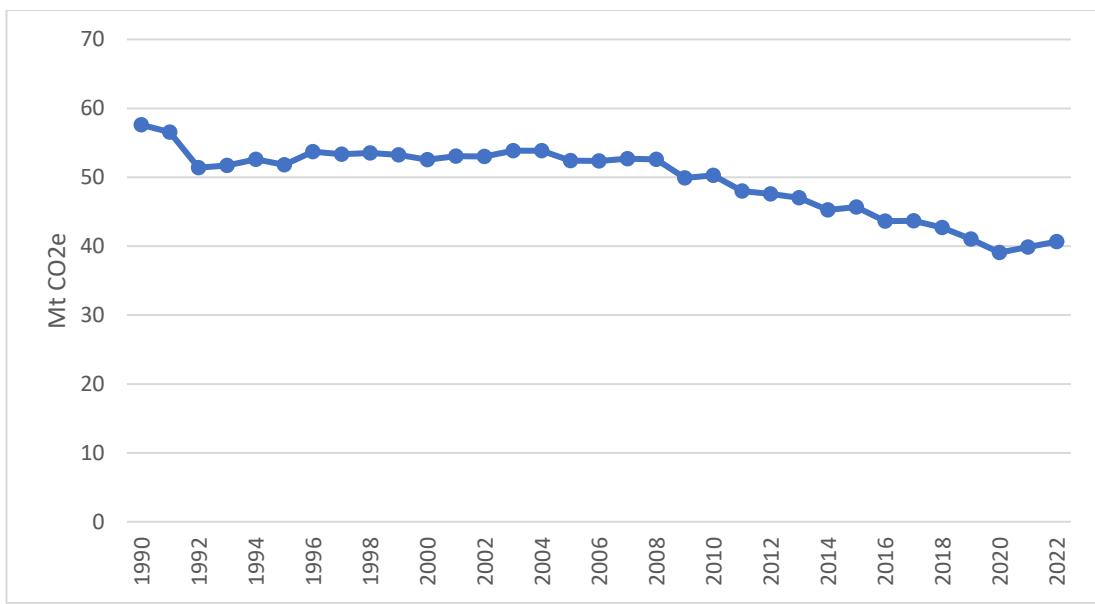
- Yakıt kullanımından kaynaklı doğrulanmış emisyon miktarı, 2020 yılında (745,56 Mt CO₂e) 2005 yılına (1.248,42 Mt CO₂e) göre %40,23 oranında azalmıştır.



Şekil 4.14: AB-27 Ülkelerinin doğrulanmış emisyon (yakıt tüketimi kaynaklı ve sabit yatırımlardan kaynaklı) miktarlarının yıllara göre değişimi.

2005-2023 yılları arasında AB-27 ülkelерinin, yakıt tüketimi ve sabit yatırımlardan kaynaklı doğrulanmış emisyon miktarları **Şekil 4.14'** de verilmektedir [Web 3].

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilindeki ülkelerin 1990-2022 yılları arası döneminde kişi başına düşen toplam sera gazı emisyon miktarlarının yıllara bağlı değişimi **Şekil 4.15'** de verilmektedir [Web 4].

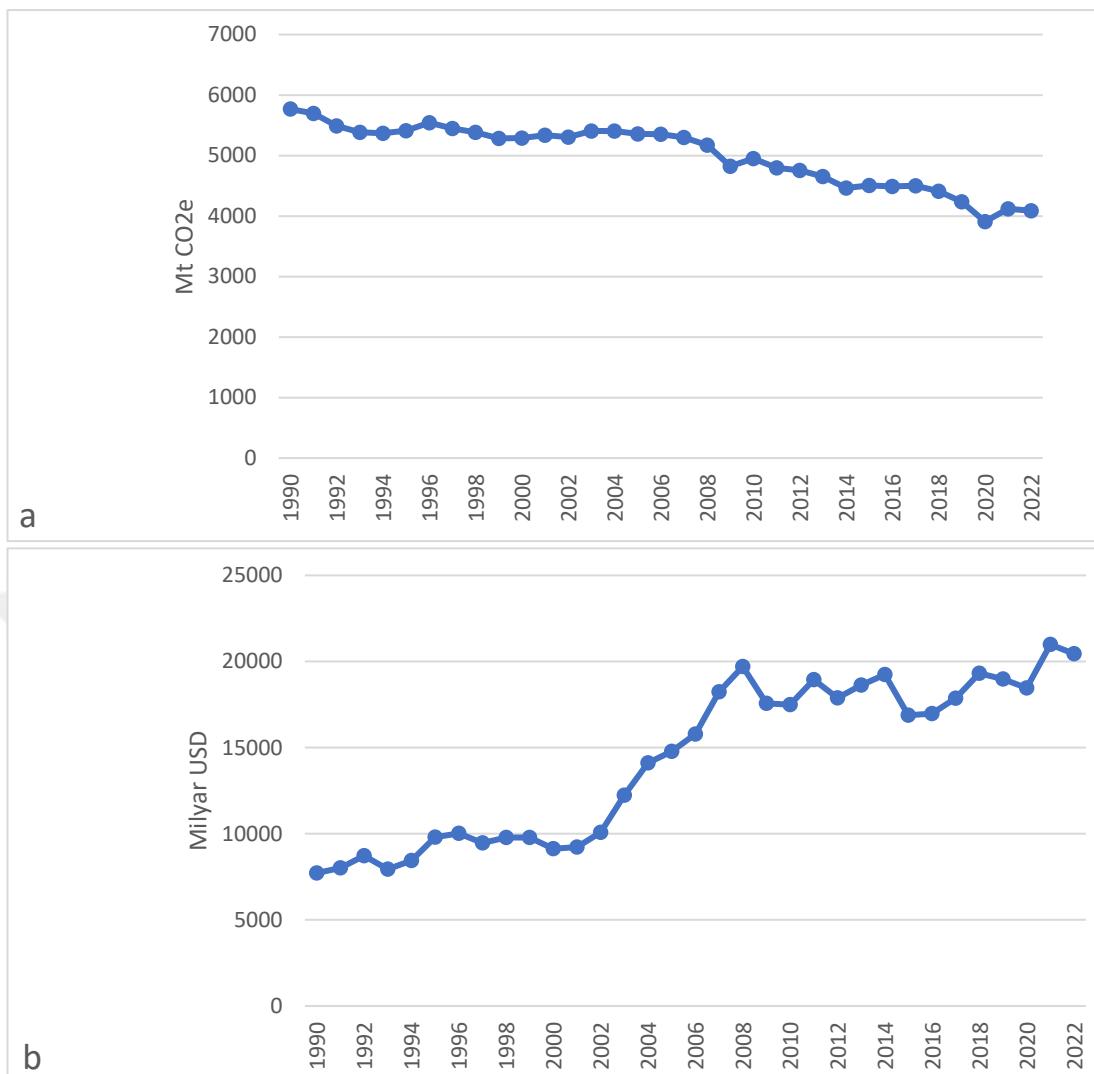


Şekil 4.15: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilindeki ülkelerin (AB-27, UK, İzlanda ve Norveç) kişi başına düşen toplam sera gazı emisyon miktarlarının yıllara bağlı değişimi.

Nüfusun artışı ve artan nüfusa bağlı olarak, artan sanayileşme ve insan kaynaklı sera gazı emisyonlarına yönelik herhangi bir önlem ve/veya azaltım mekanizması olmaması durumunda sera gazı emisyon salınım oranlarının artan ivme ile yükselmesi kaçınılmazdır.

Avrupa Birliği nüfusu 420 milyon seviyesinde olan 1990 yılına göre 2022 yılında yaklaşık 448 milyona ulaşmıştır (Dünya Bankası verileri). Yaklaşık %7 oranında olan bu artışa karşılık, **Şekil 4.15'** de görüldüğü üzere kişi başına düşen sera gazı emisyon salınım miktarlarında yaklaşık %29,45 oranında düşüş gözlenmektedir.

AB ETS dahilindeki ülkelerin (AB-27, Birleşik Krallık, İzlanda ve Norveç); toplam sera gazı emisyonları ve toplam gayri safi yurt içi hasıllarının yıllara göre değişimi **Şekil 4.16'** da verilmektedir.



Şekil 4.16. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilindeki ülkelerin (AB-27, UK, İzlanda ve Norveç); a) Toplam sera gazi emisyonları, b) Toplam gayri safi yurt içi hasıla.

Gayri safi yurtiçi hasıla ile sera gazı emisyon salınımı kiyaslandığında; yüksek oranda artan gayri safi yurtiçi hasılaya karşın sera gazı emisyonu salınım miktarları düşüş göstermektedir [Web 1]; [Web 4].

Büyüme ve sanayileşmenin önemli göstergelerinden olan gayri safi yurtiçi hasılanın artışına rağmen emisyon salınım oranlarındaki azalma olumlu gösterge olarak kabul edilmektedir. Bu durum, ayrıca Çevresel Kuznet Eğrisi ile de tanımlanmaktadır. Çevresel Kuznet Eğrisi teorisine göre gelişmekte olan bir ekonomi ilk başta sanayileşme sürecine girdiğinde ve gelir düzeyi arttıkça, çevresel kalite genellikle bozulmaktadır. Bu dönemde sanayileşme, enerji tüketimi ve doğal kaynakların kullanımı artmakta, bu da çevresel kirliliği ve doğal yaşam alanlarının tahrifatını

artmasına neden olabilmektedir. Ancak, Kuznets eğrisinin önerdiği bir sonraki aşama, bir ekonominin belli bir gelir eşğini aşlığında çevresel kalitenin iyileşmeye başlamasıdır. Bu noktadan sonra ekonomi, daha sürdürülebilir üretim yöntemlerine geçebilmekte, çevreye daha az zarar veren teknolojilere yatırım yapılabilmekte ve çevre politikalarının güçlendirilmesi sağlanmaktadır. Sonuç olarak, gelirin artması ve kalkınma ile çevresel kalitenin iyileşebileceği öngörülmektedir.

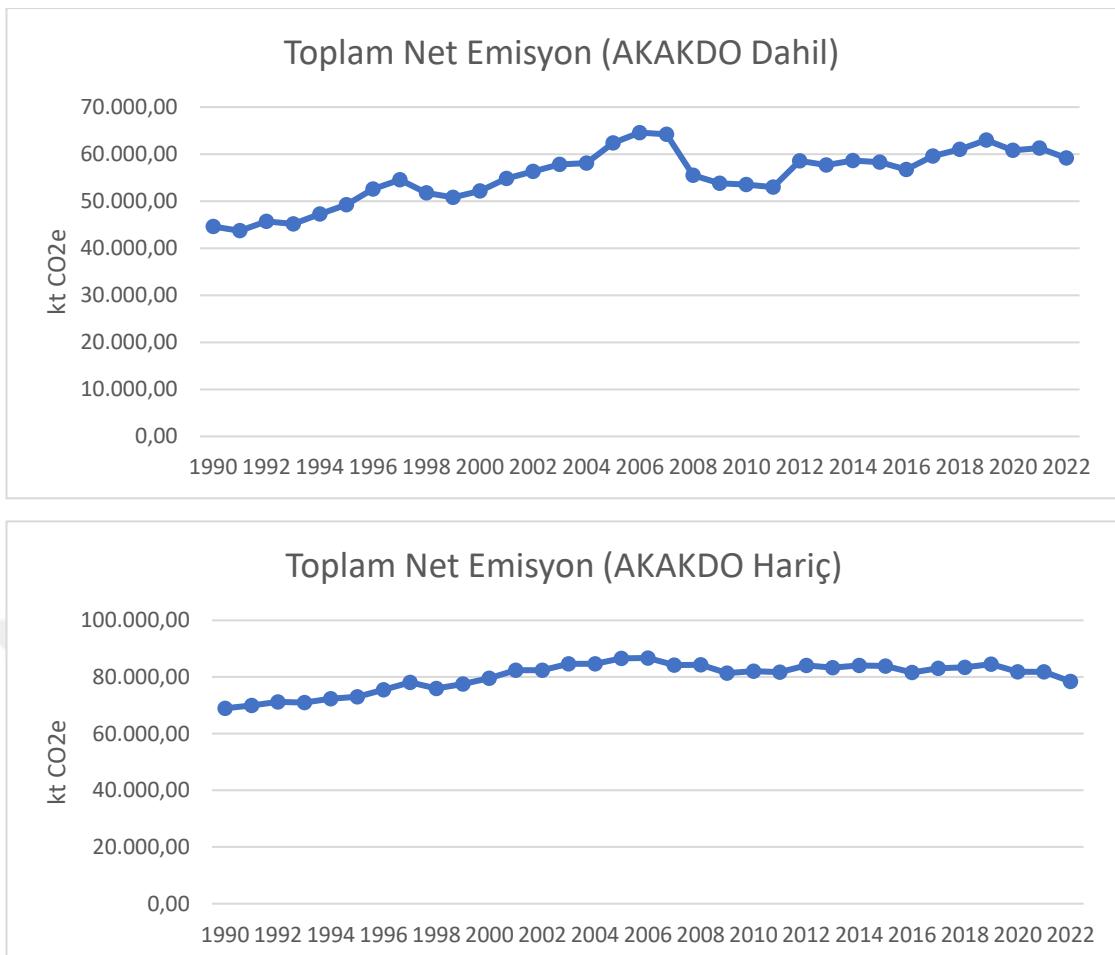
4.4.2. Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi

Yeni Zelanda, Okyanusya Bölgesinde bulunan bir ada ülkesi olup, geçmişte volkanik hareketliliğin olduğu adada jeotermal enerji en önemli enerji kaynaklarındanandır. Ülkede elektriğin yaklaşık %80 i yenilenebilir enerji kaynaklarında elde edilmekte ve bu oranın 2035 yılında %100' e çıkarılması hedeflenmektedir.

1990 yılından itibaren yaklaşık %55 oranında nüfus artışı ile 2022 yılında 5,1 milyon seviyelerine ulaşan nüfus ve son on beş yıl içerisindeki gayri safi yurtiçi hasılasındaki artış, ülkenin artan ivme ile gelişmekte olduğu göstermektedir.

Sera gazı emisyonlarının salınımları, 2022 yılına gelindiğinde, 1990 yılı seviyelerine göre artış (AKAKDO dahil %32,50; AKAKDO hariç %13,70) göstermiştir.

Yeni Zelanda' nın 1990-2022 yılları arasını kapsayan dönemdeki toplam net sera gazı emisyonlarının yıllara göre değişimi **Şekil 4.17'** de verilmektedir. Veriler, arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği, ormancılık hariç ve dahil olmak üzere ayrı ayrı incelenmiştir.



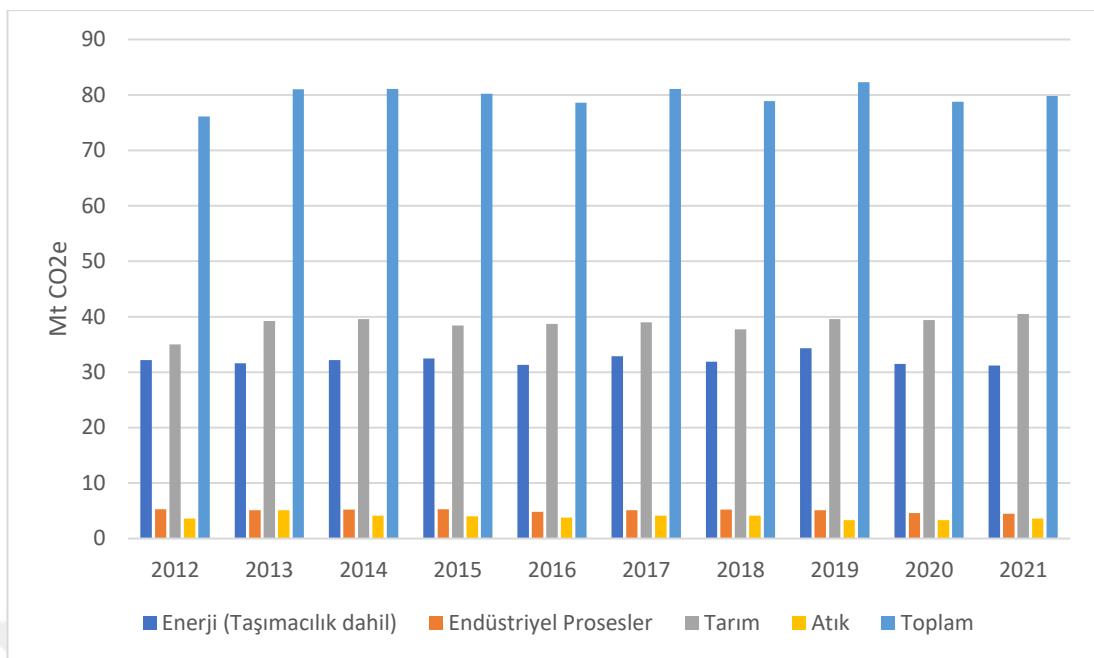
Şekil 4.17: Yeni Zelanda 1990-2022 yılları arası toplam net sera gazı emisyonları.

Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi (NZL ETS), on yılı aşkın süredir emisyon fiyatlarının değerlendirilmesinin akabinde 2008 yılının Eylül ayında yürürlüğe girmiştir. Emisyon ticaret sisteminin uygulanmasının temel amacı, Yeni Zelanda'nın Birleşmiş Milletler iklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü kapsamındaki uluslararası yükümlülüklerini yerine getirmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, Yeni Zelanda'nın net emisyonlarını tüm zamanların altına indirme amacı taşımaktadır. Yeni Zelanda 1990-2022 yılları arası toplam net sera gazı emisyonlarının yıllara göre değişimi **Şekil 4.17'** de verilmektedir [ICAP, 2024].

Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi zaman içerisindeki gelişimi ile tüm ekonomik sektörleri ve tüm sera gazlarını kapsamayı amaçlayan ilk emisyon ticaret sistemidir. 2008 yılında uygulanmaya başlanmış olup bazı önemli notlar ve gelişmeler şu şekildedir [Leining ve Kerr, 2018]:

- Fosil yakıtlardan, endüstriyel işlemlerden ve atıklardan kaynaklanan neredeyse tüm emisyonları kapsamaktadır.
- Hem ormansızlaştmaya yönelik birim yükümlülüklerini hem de uygun ağaçlandırmaya yönelik kredileri uygulanmaktadır.
- Yeni Zelanda'nın brüt emisyonlarının yaklaşık %49'unu oluşturan tarımdan kaynaklanan biyolojik emisyonlara ilişkin birim yükümlülükler 2012 yılında süresiz olarak ertelenmiştir.
- NZ ETS, 2008'den 2015 ortasına kadar uluslararası Kyoto pazarına ve buradan birim ticaretine izin verilmiş ve 2015 yılında bağlantı kesilmiştir. Güncel durumda yalnızca yurt içi sistem olarak çalışmaktadır.
- Yeni Zelanda ETS, bir dizi gözden geçirmeden ve değişiklikten geçmiştir. İlk gözden geçirme, Kasım 2008'deki hükümet değişikliğinin ardından gerçekleştirilmiş ve sistemin fiyat etkisini yumuşatan düzenlemelere yol açmıştır. İkinci gözden geçirme ise 2011 yılında yasal bir zorunluluk olarak yapılmış ve fiyat ılımlaştırma önlemlerini süresiz olarak genişletmiştir. Üçüncü gözden geçirme ise 2015 yılında iki aşamada gerçekleştirılmıştır. İlk aşamada, 2017-2019 yılları arasında orman dışı sektörlerde birim başına yükümlülüklerin tamamının geri getirilmesini sağlayan bir değişiklik yapılmıştır. 2017 ortalarında hükümet, birim arzı, fiyat yönetimi ve bağlantı ile ilgili olarak 2020 sonrası Yeni Zelanda ETS ayarlarını değiştirmeye yönelik prensip politika kararlarını duyurmuştur.

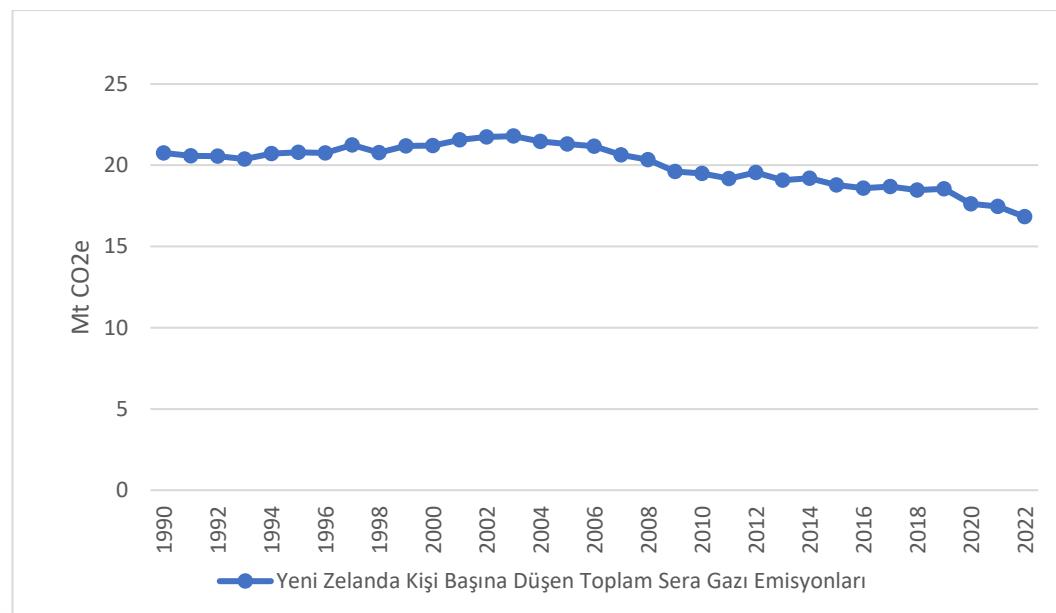
Yeni Zelanda ETS doğrulanmış emisyon miktarları (Doğrudan CO₂ emisyonları dahil, AKAKDO hariç) **Şekil 4.18'** de verilmektedir [ICAP, 2024].



Şekil 4.18: Yeni Zelanda ETS doğrulanmış emisyon miktarları (Doğrudan CO₂ emisyonları dahil, AKAKDO hariç).

Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sisteminin 2012-2021 yılları arasındaki, enerji, endüstriyel prosesler, tarım ve atık sektörlerindeki sera gazı emisyonlarının salınım verileri (doğrudan CO' emisyonları dahil, AKAKDO hariç) değerlendirildiğinde yıllar arasında neredeyse değişim söz konusu olmamıştır. Toplam emisyon miktarları ele alındığında 2021 yılı emisyon miktarı (79,8 Mt CO₂e), 2012 yılı emisyon miktarına (76,1 Mt CO₂e) göre %4,86 artmıştır.

Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde kişi başına düşen toplam sera gazı emisyon miktarlarının yıllara bağlı değişimi **Şekil 4.19'** da verilmektedir [Web 4].

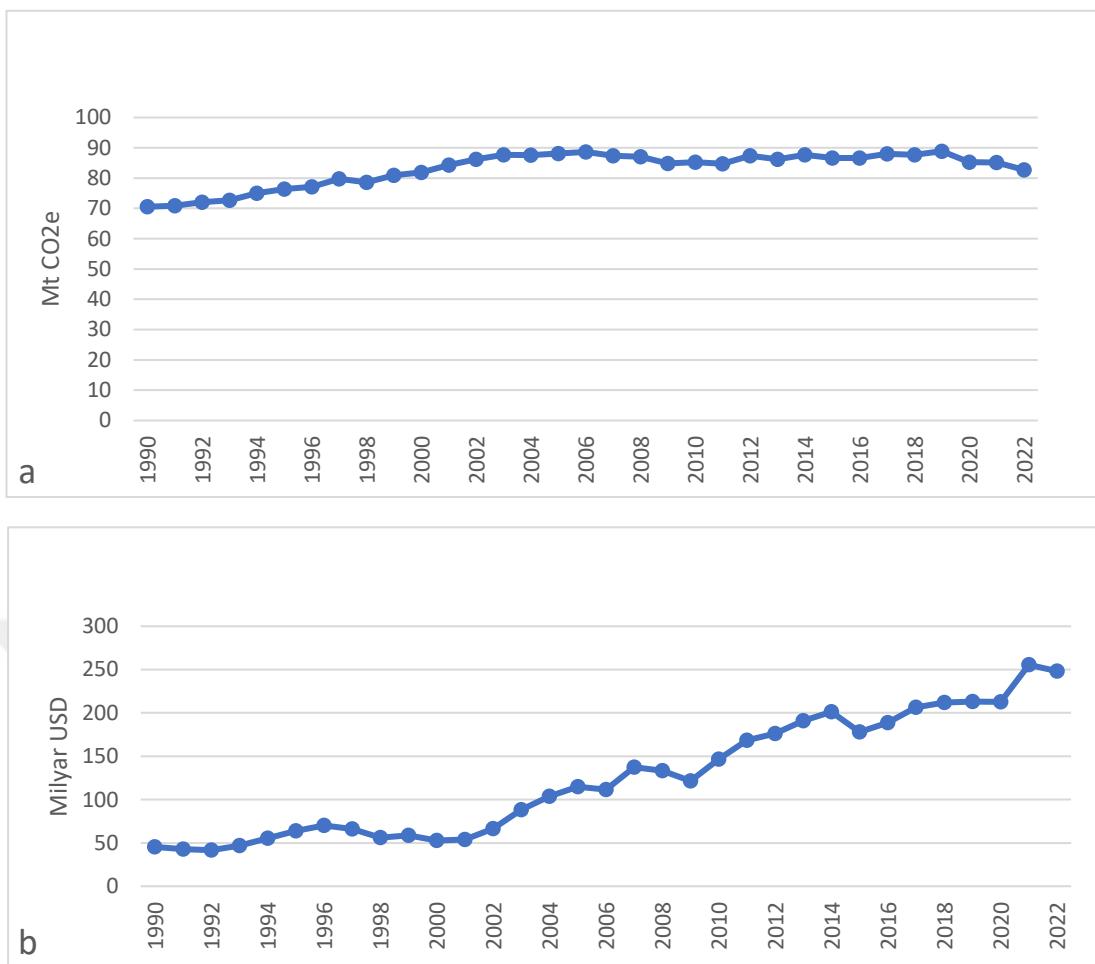


Şekil 4.19. Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde kişi başına düşen toplam sera gazı emisyon miktarlarının yıllara bağlı değişimi.

Toplam net emisyon verileri incelendiğinde Yeni Zelanda' da sera gazı emisyonları yıllara bağlı olarak artmaktadır. Gayri safi yurtiçi hasılada önemli bir artış olması ile emisyon miktarlarında da artış olduğu görülmekte, ancak kişi başına düşen emisyon miktarlarında düşüş gözlenmektedir.

Yeni Zelanda nüfusu, Dünya Bankası verilerine göre 3,3 milyon seviyesinde olan 1990 yılına göre 2022 yılında yaklaşık 5,1 milyona ulaşmıştır. Yaklaşık %55 oranında olan bu artıa karşılık, **Şekil 4.19.** da görüldüğü üzere kişi başına düşen sera gazı emisyon salınım miktarlarında yaklaşık %18,93 oranında düşüş gözlenmektedir.

Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde toplam sera gazı emisyonları ve toplam gayri safi yurt içi hasıla verilerinin yıllara göre değişimi **Şekil 4.20'** de verilmektedir [Web 1]; [Web 4].



Şekil 4.20. Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde a) Toplam sera gazı emisyonları, b) Toplam gayri safi yurt içi hasıla.

4.4.3. Emisyon Ticaret Sistemleri Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, çok uluslu, ilk zorunlu emisyon ticaret sistemi uygulamalarından birine sahip olan, gelişmiş ekonomilere sahip ve toplam 480 milyon nüfusu olan ülkelerin dahil olduğu Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin değerlendirilmesinin akabinde, AB ETS' den sonra kurulan ilk ulusal ve eski emisyon ticaret sistemi olan Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi verileri de değerlendirilmiştir.

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi kapsamında doğrulanmış emisyon miktarlarının azaltılması ile Kyoto Protokolü kapsamında verilen taahhütleri (2008-2012) ilk dönem için yerine getirilmiştir. AB ETS' nin 2005-2007 dönemi tam anlamıyla bir öğrenme dönemi olup sistemin pilot uygulaması yapılmış ve 3 yıllık doğrulanmış emisyon verisi elde edilmiştir. Ancak uygulamanın başladığı ilk dönemde

yapılan ücretsiz tahsisatların, 2005 öncesi dönem için sağlıklı veri olmaması nedeniyle, olması gerektiğinden fazla yapıldığı anlaşılmıştır. Sistem dahilinde fazla tahsisat nedeniyle tahsisat fiyatları 2007 yılı sonunda sıfıra kadar inmiştir. Bu durum sistemin devamlılığı için sorun teşkil etmiştir.

Edinilen bu tecrübe doğrultusunda 2. aşama için ücretsiz dağıtımını yapılan tahsisatlar, doğrulanmış emisyon verilerine uygun olarak, 1. aşamaya göre daha az yapılmıştır. AB ETS' nin 2. aşamasının başlaması ile 2008 yılında 35 USD seviyelerine yaklaşan tahsisat fiyatı 2008 krizi nedeniyle tekrar düşüşe geçmiştir.

2008 yılında ortaya çıkan ekonomik kriz emisyon ticaret sistemi piyasasındaki dengesizlikten kaynaklı tahsisat fiyatlarını etkilediği gibi ticaret sisteminin etkinliğinin ölçülmesini de güçlentirmiştir. Bu dönemdeki sera gazı emisyonlarının azalmasında üretim ve diğer ekonomik faaliyetlerdeki kriz sebepli etki olduğu görüşü yaygındır.

2016 yılında yürürlüğe giren Paris Anlaşması ile anlaşmaya taraf ülkeler, emisyon azaltım taahhütlerine sıkı sıkıya bağlı oldukları, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik katkı beyanlarını ve raporlarını düzenli olarak sunma gerekliliği bilinci ile 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda gerekli çalışmalarına devam etmişlerdir. Avrupa Birliği tarafından da emisyon ticaret sistemi sürekli gözden geçirme ve iyileştirme ile sürdürülmektedir.

3. aşama olan 2013-2020 dönemine gelindiğinde nitrik, adipik ve glioksilik asit ve glioksal üretiminden kaynaklı nitröz oksit (N_2O) emisyonları ile alüminyum üretiminde kaynaklı perflorokarbonlar (PFCs) kapsama dahil edilmiştir [AÇA, 2014]. Sistem etkinliğinin arttırılması için üst limitin, 2013 yılı itibarı ile her yıl doğrusal olarak %1,74 oranında azaltılmasına, 4. aşamada (2021-2030) ise bu azaltımın yıllık %2,2 oranında yapılmasına karar verilmiştir.

Avrupa Çevre Ajansı tarafından yayımlanan 2023 verileri değerlendirildiğinde AB-27, Birleşik Krallık, İzlanda, Norveç ve Lihtensteyn ülkelerinin sabit yatırımlardan ve havacılık sektörlerinden kaynaklı toplam emisyonlarının, 2005-2023 tarihleri arasındaki verileri değerlendirildiğinde, 2005-2012 arası dönemi kapsayan 1. ve 2. aşamalarda yaklaşık olarak onaylanmış emisyonlar kadar tahsisat yapılrken 2013 yılında %48,95 oranında tahsisat miktarı azaltılmış, onaylanmış sera gazı emisyon salım miktarları da düzenli olarak azalmıştır. AB ETS' nin 3. aşaması olan 2013-2020

yılları arasında ise emisyon azaltım oranı %24,25' dir. Bu azaltım oran 2005-2023 yılları için %43,27 olmuştur [AÇA, 2024].

Çeşitli sera gazı emisyon oluşumları, yakıt tüketimi, enerji, demir-çelik, alüminyum, çimento, nitrik asit, amonyak, cam, seramik, kağıt üretim tesisleri, havacılık, deniz taşımacılığı faaliyetleri gibi birden çok farklı faaliyetten kaynaklanmaktadır. Sabit yatırımlardan ve yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyon salınımları daha yüksek yoğunluktadır.

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi dahilinde 2005-2020 yılları arasında sabit yatırımlardan kaynaklı doğrulanmış emisyon miktarı %30,85 oranında, yakıt kullanımından kaynaklı doğrulanmış emisyon miktarı ise %40,23 oranında azalmıştır.

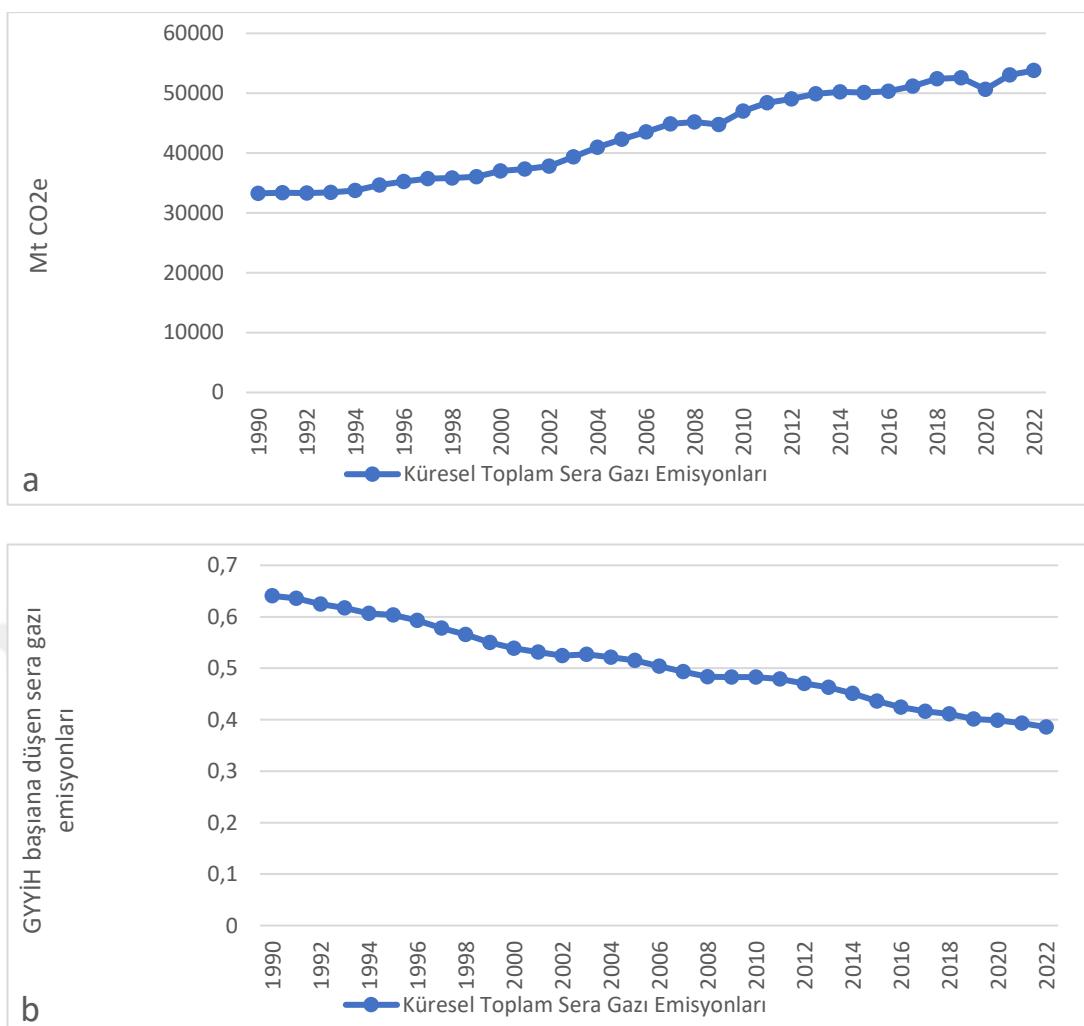
AB ve AB ETS' ye Üye Ülkeler, Kyoto Protokolü'nün ilk taahhüt dönemi (2008-2012) kapsamındaki taahhütlerini yerine getirmiştir. 2030 yılına kadar ulaşılması belirlenen hedef ise sera gazı emisyonlarının 1990 yılı seviyesinden en az %55 oranında azaltılmasıdır.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik emisyon ticaret sistemlerinin etkinliğini kontrol etmek için sistem verilerine ilave olarak küresel emisyonlar, kişi başına düşen emisyon verileri, gayri safi yurtiçi hasıla başına düşen emisyon verilerinin de değerlendirilmesi daha sağlıklı sonuç vermektedir.

Avrupa Komisyonunun Küresel Atmosferik Araştırmaları için Emisyon Verileri (Emissions Database for Global Atmospheric Research – EDGAR) doğrultusunda Küresel sera gazı emisyon salınımları 1990 yılındaki 33.268 Mt CO₂e seviyesinden yaklaşık %60 artış göstererek 2022 yılında 53.786 Mt CO₂e seviyesine çıkmıştır.

Şekil 4.21 incelendiğinde özellikle Kyoto Protokolü uygulamalarının da başladığı dönemden sonra toplam sera gazı emisyonlarının kişi başına düşen miktarlarında artış hızı yükselmiştir. Ancak, gayri safi yurt içi hasıla başına düşen sera gazı emisyon oranları düşüş göstermektedir.

Küresel toplam sera gazı emisyonlarının yıllara bağlı değişimi ve gayrisafi yurt içi hasılanın başına düşen küresel sera gazı emisyonlarının yıllara bağlı değişimi **Şekil 4.21'** de verilmektedir [Web 1].



Şekil 4.21. a) Küresel toplam sera gazı emisyonlarının yıllara bağlı değişimi, b) GSYİH başına düşen küresel sera gazı emisyonlarının yıllara bağlı değişimi.

AB ETS' nin uygulamada olduğu Avrupa Birliği' nde toplam gayri safi yurtiçi hasıla miktarı yıllar içinde artış gösterirken toplam sera gazı emisyonları azalmış, Yeni Zelanda' da ise toplam gayri safi yurtiçi hasıla miktarı yıllar içinde artış gösterirken toplam sera gazı emisyonları miktarı 2019 yılına kadar artış göstermiş, bu yıldan sonra düşüş eğilimine girmiştir. Küresel toplam sera gazı emisyonlarının ve gayrisafi yurtiçi hasıla başına düşen küresel sera gazı emisyonlarının yıllara bağlı değişimi **Şekil 4.21'** de verilmektedir [Web 1].

Yeni Zelanda örneğindeki durum Çevresel Kuznet Teorisine uygunluk göstermektedir. Gelişmekte olan bir ekonomi gelir düzeyi arttıkça genellikle önce çevre kalitesi bozulmakta, ekonomisinin belirli bir gelir seviyesini aşından sonra çevresel kalitenin iyileşmeye başlaması görülmekte tezini savunan Kuznet Teorisine göre, NZL ETS'

nin etkinliğini daha doğru değerlendirebilmek için, 2019 yılı sonrası düşen Yeni Zelanda küresel emisyonlarının ileriki yıllardaki salınım miktarları takip edilmelidir.

Emisyon ticaret sistemi uygulamalarının sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerindeki etkilerinin hesaplanması, istatiksel olarak diğer bir yöntemi sentetik kontrol metodu yaklaşımıdır.

Yukarıda Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin doğrulanmış verileri ile yıllara göre sera gazı emisyonlarının değişimi değerlendirilmiştir. Karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik emisyon ticaret sisteminden farklı uygulamaların da olması nedeniyle net azaltım verilerinin sadece emisyon ticaret sisteminden belirlenebilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle daha doğru tespit yapılabilmesi için istatiksel çalışmalar yürütülmektedir.

5. SENTETİK KONTROL METODU İLE AB ETS' NİN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sentetik Kontrol Metodu, genellikle ekonomik ve sosyal bilimlerde kullanılan bir istatistiksel tekniktir. Bu yöntem, özellikle bir olayın veya müdahalenin etkilerini analiz etmek için kullanılır.

Sosyal olay ve/veya müdahalelerin etkilerini incelemek, müdahale olmasaydı çıktıların ne olacağını tahmin etmek amacıyla geliştirilen sentetik kontrol metodu yöntemi, ekonomik ve çevresel etkilerin de analiz edilmesinde kullanılmıştır.

Klasik regresyon analiz tekniklerinde karşılaştırma yapılan konular özelinde, önemli örnekler ve müdahalenin pek çok gözlemlenmiş örneği gereğinden genellikle politika müdahaleleri gibi seyrek olayların toplam birimler üzerindeki etkisini tahmin etmek kolay değildir [Abadie, 2021]. Toplu bir birimin, belli bir zaman serisi boyunca maruz kaldığı politika müdahalesinin etkilerinin tahmin edilebilmesi için sentetik kontrol metodu tercih edilebilmektedir.

İki veya daha fazla vaka çalışması ile bunların karşılaştırılması karşılaştırmalı vaka analiz çalışmasıdır. Bir birime yapılan politik müdahalenin, müdahaleden etkilenmemiş birimlerden oluşan kontrol grubu için toplan sonuçlarının değişimini tahmin etmek karşılaştırmalı vaka analizi ile yapılmaktadır [Dolu, 2018].

5.1. Karşılaştırmalı Vaka Analizi

Belirli bir konu veya olay etrafında, farklı vakaların (örneklerin) detaylı bir şekilde karşılaştırıldığı bir araştırma yöntemidir. Bu analiz ile, farklı vakaların benzerliklerini ve farklılıklarını incelenebileceği gibi, müdahaleye maruz kalan birimin müdahaleye uğramayan bir kontrol grubu ile karşılaştırılmasını da sağlamaktadır. Sosyal bilimler, ekonomi, siyaset bilimi, eğitim ve sağlık gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu analiz yöntemi, birden fazla vaka üzerinden yapılan karşılaştırmalara dayanmaktadır. Her bir vaka kendi bağlamında derinlemesine incelenirken, farklı vakalar arasında benzerlikler ve farklılıklar analiz edilebilmektedir. Bu benzerlikler ve farklılıklar genelleme yapmayı ve daha geniş teorik çıkarımlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Karşılaştırmalı vaka analizi, sosyal bilimler, eğitim, politika çalışmaları, sağlık alanındaki çalışmalar gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

5.2. Farkların Farkı Yöntemi

Farkların farkı (difference in difference) yöntemi empirik bir analiz yöntemidir. Bu yöntem ile tahmin, iki farklı grubun çıktılarını iki ayrı zaman döneminde karşılaştırarak yapılmaktadır. Bir grup ikinci zaman diliminde müdahaleye maruz kalırken, ikinci grup her iki zaman diliminde de müdahaleye maruz kalmaktadır [Dolu, 2018].

Bu analiz yönteminde, müdahalenin etkisi, müdahale grubundaki ortalama kazançtan kontrol grubundaki ortalama kazancın çıkarılması ile tahmin edilebilmektedir [Dolu, 2018].

Müdahale öncesi ve müdahale sonrası dönemde her iki grubun performansı ölçülmektedir. Her grup için öncesi ve sonrasında fark hesaplanmaktadır. Tedavi ve kontrol gruplarındaki zaman farkları arasındaki fark hesaplanarak müdahalenin veya politika değişikliğinin etkisi belirlenebilmektedir.

5.3. Karşı Olgusal (Counterfactual) Yaklaşım

Karşı olgusal yaklaşım, bir olayın ya da müdahalenin etkilerini anlamak için "ne olursa" sorusunu sormaktadır. Diğer bir deyişle, bir müdahale veya değişikliğin sonucunu değerlendirebilmek için müdahale olmasaydı ne olacağını tahmin etmeye yönelik bir yaklaşımındır.

Geçmişte kalan bir durumun değiştirilemeyeceği aşikar olup, doğrudan karşı olgusal durumu gözlemlemek genellikle mümkün olmamaktadır. Bu yaklaşımda karşı olgusal durumlar modelleme, doğal deneyler ve istatistiksel yöntemler aracılığı ile tahmin edilebilmektedir. Bu tahminler, genellikle zaman serisi veya karşılaştırmalı gruplar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

5.4. Sentetik Kontrol Metodu

Sentetik kontrol metodu, bir tedavi veya müdahale sonucunu değerlendirmek için kullanılan bir karşılaştırmalı analiz tekniğidir. Özellikle bir politikanın veya programın etkisini değerlendirmek için, belirli bir birim (örneğin bir ülke, bölge) üzerinde uygulanan bir müdahalenin etkilerini incelemek amacıyla kullanılır.

Bu yöntemin temel adımları şunlardır:

Tedavi Grubunun Belirlenmesi: Müdahalenin uygulandığı birim, tedavi grubu olarak tanımlanır.

Kontrol Grubunun Oluşturulması: Tedavi grubuna benzer özelliklere sahip bir "sentetik kontrol grubu" oluşturulur. Bu grup, gözlemlenen diğer birimlerin ağırlıklandırılmasıyla elde edilir. Amaç, tedavi grubunun özelliklerini yansıtan bir kontrol grubudur.

Eğilimlerin Karşılaştırılması: Tedavi öncesi ve sonrası dönemlerde, tedavi grubunun sonuçları ile sentetik kontrol grubunun sonuçları karşılaştırılır. Bu sayede, müdahalenin etkisi belirlenir.

Sonuçların Değerlendirilmesi: Tedavi grubunun sonuçları ile sentetik kontrol grubunun sonuçları arasındaki fark, müdahalenin etkisini yansıtır.

Sentetik kontrol metodu yaklaşımı kullanılarak elde edilecek kıyaslama verileri daha doğruya yakın sonuç elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu yöntem ilk olarak, **Abadie ve Gardeazabal (2003)** tarafından, 1970' li yıllarda İspanya' da gerçekleşen terör olaylarının etkisini değerlendirmek için önerilen ve kullanılan bir yöntemdir. **Abadie vd. (2011)** tarafından, 1988 yılında Kaliforniya' da uygulanmaya başlanan tütün kontrol programının kişi başı sigara kullanımı üzerine etkilerini inceleyen çalışma ile geliştirilmiştir [**Dolu, 2018**].

Almer ve Winkler (2012) tarafından Kyoto Protokolünün karbon dioksit emisyonları üzerine etkilerini incelemek için kullanılan sentetik kontrol metodu yaklaşımı ayrıca, göçmenlik yasalarının etkilerini **Bohn vd. (2013)**, AB entegrasyonunun gayri safi yurt içi hasıla üzerindeki ortalama etkisini **Cambos vd. (2019)** incelemek üzere kullanılmıştır.

Sentetik kontrol metodunun matematiksel formülasyonu değerlendirildiğinde; karşılaştırmalı analize konu olan müdahaleye uğramış birim j ($j = 1$), herhangi bir müdahaleye maruz kalmayan birim ise $j+1 = J$ kontrol grubu (donör havuzu) olarak varsayılmaktadır. Bununla beraber tüm inceleme dönemi toplam zaman aralığını T olarak varsayıdığımızda, müdahaleden önceki zaman periyodunu T_0 , olarak değerlendirilmekte ve $1 < T_0 < T$ dir. Burada j birimi için t zamanındaki çıktı Y_{jt} olarak kabul edilmektedir. Her bir birim j için, ayrıca, müdahaleden önceki Y_{jt} değerlerini içerebilen ve kendileri müdahaleden etkilenmeyen, sonucun k tane bağımsız değişken kümesini, X_{1j}, \dots, X_{kj} , gözlemliyoruz. X_1, \dots, X_{J+1} olan $k \times 1$ vektörleri, $j = 1, \dots, J+1$ birimlerinin sırasıyla bağımsız değişken değerlerini içermektedir. $k \times J$ matriksi, $X_0 = [X_2 \dots X_{J+1}]$, müdahaleye maruz kalmayan üniteler için bağımsız değişkenlerin değerlerini göstermektedir. t zaman periyodunda (mudahale sonrası periyot) her bir j birim için müdahale olmaksızın çıktı Y_{1t}^N ile; müdahaleden etkilenen ünite ($j=1$) için müdahale sonrası dönemde ($t > T_0$) müdahale altındaki muhtemel çıktı Y_{1t}^I olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, t zaman periyodunda müdahaleden etkilenen birim için müdahalenin etkisi aşağıdaki formül ile gösterilebilir;

$$\tau_{1t} = Y_{1t}^I - Y_{1t}^N \quad (5.1)$$

Müdahale uygulanan birim T_0 periyodundan sonra müdahaleye maruz kaldığı için, $t > T_0$ için $Y_{1t} = Y_{1t}^I$ olmaktadır. Kısaca, müdahaleden etkilenen birim ve müdahale sonrası periyot için müdahale altındaki olası sonuç gözlemlenebilmektedir. Politika değerlendirme zorluğu, söz konusu birim üzerinde müdahalenin olmaması durumundaki çıktıının, $t > T_0$ için Y_{1t}^N , hesaplanmasıdır [Abadie, 2021]. Burada iki olası sonuç tanımlanmaktadır; Y_{1t}^N , bir “birim” için t zamanında müdahaleye maruz kalmadığında gözlemlenecek sonucu ifade eder. Y_{1t}^I ise bir “birim” için t zamanında müdahaleye maruz kalması durumundaki gözlemlenecek sonucu ifade eder. Amaç, müdahaleye uğrayan birim için müdahalenin etkisini tahmin etmektedir (Abadie et al., 2011b). Bu etki, $T_{0+1}, T_{0+2}, \dots, T$ periyotları için potansiyel sonuçların farkı, $\tau_{1t} = Y_{1t}^I - Y_{1t}^N$, ile formüle edilebilir.

Sentetik kontrol yönteminin temel amacı, işlenen birim için sentetik bir kontrol üretmektir. Sentetik kontrol, donör havuzundaki karşılaştırma birimlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Donör havuzundaki her birimin ağırlıkları $W = \{w_2, \dots, w_{J+1}\}$ olarak

gösterilir. W değerleri verildiğinde, sentetik kontrol için tahmin edici (\hat{Y}_{1t}^N) ve t zamanında tedavi edilen birimdeki çıktıdaki değişim aşağıda formüle edilmiştir.

$$\hat{Y}_{1t}^N = w_2 Y_{2t} + \dots + w_{j+1} Y_{j+1t} \text{ ve } \hat{\tau}_{1t} = Y_{1t} - \hat{Y}_{1t}^N \quad (5.2)$$

Ekstrapolasyonu önlemek için ağırlıklar negatif olmamak üzere, ağırlıkların toplamı 1' e eşit olmalıdır. Sentetik kontrol, donör havuzundaki birimlerin ağırlıklı ortalamasıdır. Ağırlıkların [0; 1] arasında olması kısıtlanmadığı takdirde regresyon ekstrapolasyona izin verir **[Abadie, 2021]**.

Sentetik kontrol, donör havuzundaki tüm birimlerin basit ortalamasıdır. Karşılaştırma birimi olan donör havuzunun sentetik bir kontrol olarak ifade edilmesi, ağırlıkların nasıl seçilmesi gereği sorusunu akla getirir. Abadie ve Gardeazabal (2003) ve Abadie vd. (2011a), sonuç değişkeninin tahmin edicilerinin tedavi edilen birimi için müdahale öncesi değerlere en iyi şekilde benzeyen sentetik kontrolün elde edilmesi için w_2, \dots, w_{j+1} 'in seçilmesini; negatif olmayan sabitler kümesi v_1, \dots, v_k verildiğinde, w_2, \dots, w_{j+1} 'in negatif olmayan ve toplamları 1 kısıtlamasına uyan $W^* = (w_2^*, \dots, w_{j+1}^*)'$ seçmeyi önermektedirler.

$$\| X_1 - X_0 W \| = \left(\sum_{h=1}^k v_h (X_{h1} - w_2 X_{h2} - \dots - w_{j+1} X_{h{j+1}})^2 \right)^{1/2} \quad (5.3)$$

$t = T_0 + 1, \dots, T$ zamanında müdahaleye uğrayan birim için müdahalenin tahmini etkisi;

$$\hat{\tau}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (5.4)$$

$V = (v_1, \dots, v_k)$ için her potansiyel seçim, $W(V) = (w_2(V), \dots, w_{j+1}(V))'$ ile ifade edilen sentetik kontrol üretir. Bu değer, $W(V)$ 'deki ağırlıkların pozitif ve toplamlarının 1' e eşit olması kısıtlamasına bağlı olarak denklem (3) ile belirlenebilir.

Abadie ve Gardeazabal (2003) ve Abadie vd. (2011a) V değerini, sentetik kontrol $W(V)$ 'nin \hat{Y}_{1t}^N , aşağıdaki denklem (5)'e göre ortalama kare tahmin hatasını müdahale öncesi $\tau_0 \subseteq \{1, 2, \dots, T_0\}$ kümesi için en aza indireceği şekilde seçmeyi önermektedirler.

$$\sum_{t \in \tau_0} (Y_{1t} - w_2(V) Y_{2t} - \dots - w_{j+1}(V) Y_{j+1t})^2 \quad (5.5)$$

Abadie (2011), sentetik kontrol yönteminin uygulanabilmesi için bazı gereklilikler olduğunu belirtmiştir. Özellikle, donör havuzunda (oluşturulan sentetik grup) bulunan birimlerin söz konusu müdahaleye maruz kalmamış olması gerekmektedir. Bununla beraber, müdahalenin etkisini ölçmekte etki gösterebilecek benzer müdahalelerin de olmaması gerekmektedir [**Beydemir, 2016**]. Bu çalışmada da emisyon azaltım tekniği olarak kullanılan emisyon ticaret sisteminin etkinliğinin tahmini üzerine analiz yapıldığı için donör havuzunda, emisyon ticaret sistemi uygulaması olmayan ülkeler seçilmiştir. Aynı zamanda donör havuzunda yer alan bu ülkelerde emisyon azaltıcı başka uygulamaların da (karbon vergisi vb.) olmamasına dikkat edilmiştir. Bir diğer dikkat edilmesi gereken önemli husus, müdahaleye maruz kalan birim ile kontrol birimlerinin müdahale öncesi bağımsız değişken değerlerinin arasındaki faktır. Bu farkın yüksek olması durumunda sentetik kontrol metodu uygun olmayabilir [**Beydemir, 2016**].

Bu çalışmada, 2005 yılında Avrupa Birliği üye ülkelerinde uygulanmaya başlayan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin karbondioksit azaltımındaki etkisini belirlemek üzere, AB üyesi olan 15 ülke (Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Portekiz, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık) tedavi grubu olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu 15 ülke, Avrupa Birliği' nin kurucu üyeleri ve AB' nin dördüncü büyümeye dönemi olan 1995 yılı dahil bu döneme kadar üye olan ülkeleri içermektedir. AB Emisyon Ticaret Sistemi uygulamasının 2005 yılında başlaması ve yeni üyelerin AB dahilinde ETS sistemi öncesi süreçleri olmadığı göz önünde bulundurulmuş ve 2004 yılında Birliğe katılan üye ülkeler çalışmaya dahil edilmemiştir. Birleşik Krallık ise 2020 yılı sonu itibarı ile Avrupa Birliği'nden ayrılmış, çalışma 2020 yılına kadar olan periyot için yapıldığından, çalışmaya dahil edilmiştir.

Sentetik kontrol metodunda politika müdahalesine maruz kalan ülkelerden oluşan birimin sentetik bir kontrol grubunu oluşturmak temel esastır. AB üye ülkelerden emisyon ticaret sistemi uygulaması dahilinde olan ülkelere sentetik birim olarak, ekonomik ve gelişmişlik seviyelerinin benzer olduğu OECD (Organization for Economic Co-operation and Development – Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) üye ülkeler arasından ülkeler (Arjantin, Brezilya, Kanada, Şili, İsrail, Meksika, Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri) seçilmiştir. Bu ülkeler seçilirken, herhangi zorunlu emisyon azaltıcı uygulama olmaması kriteri ele alınmıştır.

5.5. Araştırmamanın Dizayn Edilmesi

Bu çalışmada AB-15 ülkeleri ve AB-15 ülkelerine benzer özelliklerdeki OECD ülkelerinden seçilen, herhangi bir zorunlu emisyon azaltım uygulaması yürürlükte olmayan ülkelerden bir donör havuzu oluşturulmuştur. Donör olarak belirlenen ülkeler **Tablo 5.1'** de verilmektedir.

Tablo 5.1: Donör havuzu ülkeleri.

Arjantin	İsrail
Brezilya	Meksika
Kanada	Türkiye
Şili	Amerika Birleşik Devletleri

Sentetik kontrol metodu ile hesaplama R Studio adlı program kullanılarak yapılmıştır. Bu programın “Synth” uygulama paketi ile analiz yapılmış ve çalışma müdahale öncesi dönemde ortalama kare tahmin hmasını (Mean Squared Prediction Error-MSPE) en aza indirerek katsayıları belirlemektedir.

Sentetik kontrol ünitesi için müdahale sonrası sonuçlar daha sonra müdahalenin olmadığı durumda, müdahaleye maruz kalan ünite için olası sonuçları tahmin etmek için kullanılmaktadır. “Synth” paketi politika müdahalelerinin ve benzer olayların nedensel etkilerini tahmin etmek için tasarlanmış karşılaştırmalı vaka çalışmaları için sentetik kontrol yöntemi uygular [Abadie vd., 2011]; [Abadie ve Gardeazabal, 2003].

CO₂ (Karbondioksit) emisyonları başta olmak üzere, sera gazı emisyon salınımlarının, nüfus yoğunluğunun artışı, enerji ihtiyacı ve kullanımı, endüstriyelleşme, ekonomik büyümeye ile ilişkili olduğu birçok araştırmacı tarafından kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, enerji üretim ve kullanım, karbon emisyon miktarları vb. parametreler bağımsız değişken olarak alınmıştır. Bu veriler, AB-15 ülkeleri ve donör havuzu ülkeleri için “World Bank” açık datasından elde edilmiştir.

Bu çalışmada sentetik kontrol metodu analizi ile 2005-2020 yılları arasında uygulamada olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin etkisinin tahmin edilebilmesi için “R Studio” programı ile hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplama için

Tablo 5.2' de verilen bağımsız değişkenler (öngörücüler) parametre olarak ele alınmıştır.

Tablo 5.2: Bağımsız değişkenler.

Alternatif ve Nükleer Enerji Kullanımı (Toplam enerji kullanımına oranı)
Kişi başına düşen CO ₂ emisyon miktarları
Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan CO ₂ emisyonları (Toplam enerji kullanımına oranı)
CO ₂ yoğunluğu (kg/kg.toplam eşdeğer petrol)
Kişi başına düşen elektrik enerjisi kullanımı (kWh)
Gayrisafi yurtiçi hasıla (2015 Amerikan Doları karşılığı)
Nüfus büyümesi (Yıllık %)

Bağımsız değişkenler olan bu öngörücülerin müdahale öncesi dönem için ortalama değerleri **Tablo 5.3'** de verilmektedir.

Tablo 5.3: Öngörücülerin ortalama değerleri (müzahale öncesi dönem için).

	AB-15	Donör Havuzu	Donör Ülkelerinin Ortalaması
Alternatif ve Nükleer Enerji	13.308	12.321	8.184
Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan CO ₂ emisyonları	36.747	33.019	39.051
CO ₂ yoğunluğu	2.358	2.086	2.337
Elektrik enerjisi tüketimi (kWh/kİŞİ)	7860.588	9151.117	5681.073
Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (kişi başına düşen)	37081.543	22970.160	19016.064
Nüfus Artışı (yıllık %)	0.499	1.058	1.401
CO ₂ emisyonları (ton/kİŞİ) 1997	9.463	9.522	7.562
CO ₂ emisyonları (ton/kİŞİ) 2000	9.447	9.939	7.772
CO ₂ emisyonları (ton/kİŞİ) 2003	10.086	10.037	7.694

Hesaplamalar neticesinde belirlenen, emisyon ticaret sisteminin uygulanmaya başlamadan önce olan periyot için öngörücülerin (bağımsız değişkenlerin) değerleri, AB-15, donör havuzu ve donör havuzunu oluşturan 8 ülkenin ortalaması olacak şekilde **Tablo 5.3'** de verilmektedir. Alternatif ve nükleer enerji kullanımı, donör havuzundaki ülkelerde AB-15' e göre oldukça düşük iken donör havuzu ortalaması AB-15 yakındır.

Elektrik ve ıslı üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyon miktarlarındaki fark, AB-15 ortalaması ve donör havuzu ortalaması göz önüne alındığında, alternatif ve nükleer enerji kullanımındaki değişim oranı kadardır. Ancak; AB-15 ülkelerindeki salınım daha yüksektir. Elektrik enerjisi tüketimi donör havuzu ortalamasında oldukça düşük olmasında rağmen, sentetik gruptaki (donör havuzu) ortalama kişi başına düşen kullanım miktarı AB-15 ortalamasından yaklaşık 1.291 kWh/kişi kadar yüksektir. Nüfus artışı ele alındığında, sentetik kontrol grubunun tahmini nüfus artış oranı AB-15 ortalamasının iki katından biraz fazladır. Diğer yandan, karbondioksit yoğunluğu bakımından benzer veriler oluşmuştur. Kişi başına düşen karbondioksit emisyon miktarları ise özellikle 1997 ve 2003 yılları için aynı şekilde temsil edildiği görülmektedir.

“Synth” paketi ile yapılan çalışmada, öngörülerin katsayılarını seçmek için ortalama kare tahmin hatasını en aza indirecek şekilde hesaplama yapılmaktadır. Çalışmada kişi başına düşen karbondioksit emisyonları özel değişken olarak ele alınmıştır. Program, müdahale öncesi dönemde kişi başına düşen karbondioksit emisyon değerini en aza indirerek katsayıları belirlemektedir. Bu doğrultuda tahmin edilen katsayılar **Tablo 5.4’** de verilmektedir.

Tablo 5.4: Öngörü katsayıları.

Değişkenler	Katsayılar
Alternatif ve Nükleer Enerji	0,1619
Elektrik ve ıslı üretiminden kaynaklanan CO ₂ emisyonları	0,0237
CO ₂ yoğunluğu	0,0062
Elektrik enerjisi tüketimi (kWh/kişi)	0,2066
Gayri Safi Yurtıcı Hasıla (kişi başına düşen)	0,0008
Nüfus Artışı (yıllık %)	0,1567
CO ₂ emisyonları (ton/kişi) 1997	0,2140
CO ₂ emisyonları (ton/kişi) 2000	0,0374
CO ₂ emisyonları (ton/kişi) 2003	0,1926

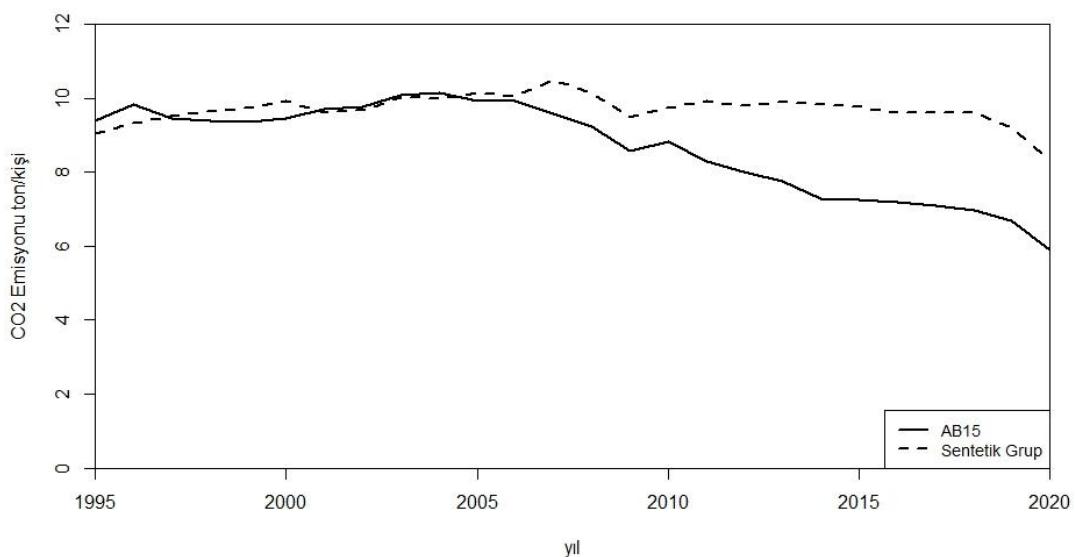
Synth tarafından tahmin edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, özellikle 1997 ve 2003 yıllarındaki kişi başına düşen CO₂ emisyonları ile kişi başına düşen elektrik enerjisi

tüketimi önemli öngörücü özelliğe sahiptir. Bununla beraber nüfus artış oranı da güçlü bir öngörücü olarak değerlendirilebilir.

Tablo 5.5: Sentetik (donör havuzu) kontrol birimlerinin ağırlıkları.

Ülke	Ağırlık
Arjantin	0,5169
Brezilya	0
Kanada	0,4831
Şili	0
İsrail	0
Meksika	0
Türkiye	0
Amerika Birleşik Devletleri	0

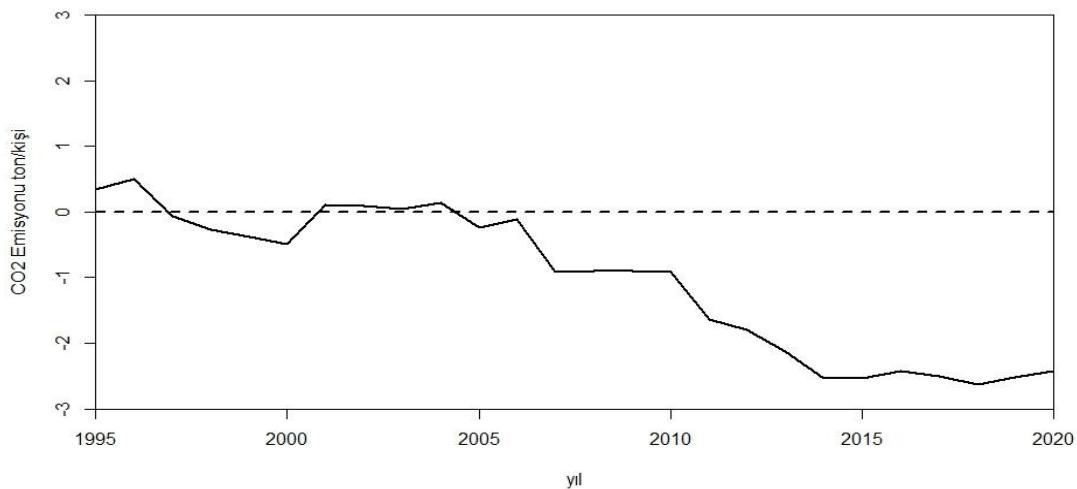
Sentetik kontrol metodu ile analiz hesabında önemli bir değer olan sentetik kontrol birimlerinin ağırlıkları (w) **Tablo 5.5'** de verilmektedir. Tahminler doğrultusunda sentetik kontrol birimi Arjantin ve Kanada ülkelerinin ağırlıklı ortalamasından oluşmaktadır. Sıfıra yakın çıkan değerler dikkate alındığında, diğer ülkelerin sentetik kontrol birimde etkisi bulunmamaktadır.



Şekil 5.1: Kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının yıla bağlı değişimi: AB-15 ve sentetik grup karşılaştırması.

AB-15 ve sentetik gurubun kişi başına düşen karbondioksit emisyonlarının yillara bağlı değişimi **Şekil 5.1'** de görülmektedir. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) uygulamasının başladığı 2005 yılından önce değişimin benzer seviyelerde olduğu görülmektedir. 2005 yılından sonra AB-15 ülkelerindeki karbondioksit emisyonu azaltımı sentetik gruba göre daha fazla olduğu görülmektedir. AB ETS 2005 yılında uygulanmaya başlaması ile 1. Aşaması olan 2007 yılı sonuna kadar CO₂ emisyonlarında azalma görülmektedir. 1. Aşama da fazla tahsisat dağılımından kaynaklı karbon fiyatı 2007 yılı sonunda sıfırın seviyelere düşmüştür. Karbon fiyatlandırmasındaki karşılaşılan sorunlar ve 2008larındaki ekonomik krizin etkisiyle, 2008 yılı itibarı ile emisyon artışı gözlemlenmektedir. Tahsisat fiyatlarının ciddi olarak düşmesi piyasa dengesizliğini oluşturmuş ve ekonomik krizin etkisi ile üretim ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimlerin de karbondioksit emisyon salımının artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. 2010 yılı itibarı ile CO₂ emisyonlarında başlayan düşüş, AB ETS' nin 3. döneminin başladığı 2012 yılı itibarı ile de sürmüştür. Özette; **Şekil 5.1'** deki grafik değerlendirildiğinde, kesik çizgi ile gösterilen sentetik gruba ait kişi başına düşen CO₂ emisyon seviyesi, AB-15 ülkelerinde AB ETS uygulaması olmasaydı, AB-15 ülkelerinin kişi başına düşen CO₂ emisyon seviyesinin ne olacağını tahmin etmemize yardımcı olmaktadır.

Şekil 5.2' de ise AB-15 ile sentetik grup arasındaki kişi başına düşen CO₂ emisyonu farkı gösterilmektedir. Bu grafik AB ETS' nin başladığı 2005 yılı itibarı ile iki grup arasındaki kişi başına düşen CO₂ emisyonu farkının artarak açıldığını göstermektedir.



Şekil 5.2: AB-15 ile sentetik grup arasındaki kişi başına düşen CO₂ emisyonu farkı.

6. SONUÇ

Emisyon (Karbon) ticaretinin, sera gazları emisyonunun azaltılması kapsamında uygulanmasının ve etkisinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları ve veriler değerlendirildiğinde, emisyon ticaret sistemi, sera gazı emisyonlarının salınımlarının azaltılması için uygulanan azaltım mekanizmalarından en çok tercih edilen olduğunu göstermektedir.

Diğer bir azaltım amaçlı kullanılan uygulama olan karbon vergisi uygulaması ile kıyaslanma yapıldığında, iki uygulamanın da avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. İki uygulamada piyasa temellidir. Ancak vergi uygulamalarında, kullanılan yakıta, emisyon salınımına ve farklı kaynaklara bağlı olarak çeşitli vergilendirme türleri oluşturulabilmektedir. Karbon vergisi genellikle enerji tüketiminden kaynaklı oluşan vergi olup hane halklarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu durumun sosyal adaletsizliğe de sebep olması muhtemeldir.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik en yaygın kullanılan iki uygulama olan emisyon ticaret sistemi ve zorunlu karbon vergisi uygulamasının yürürlükte olduğu bölgelerin 2020 yılı yaklaşık nüfus miktarına göre değerlendirme yapıldığında, toplamda 2,5 milyar nüfusa karşılık ülke ve şehir/eyalette emisyon ticaret sistemi, toplam 770 milyon nüfusa karşılık ülke ve şehir/eyalette ise zorunlu karbon vergisi uygulamaları yürütülmektedir. Emisyon ticaret sistemine karşılık gelen nüfus miktarının yüksek olmasında, yaklaşık 1,5 milyar nüfusa sahip olan Çin Halk Cumhuriyeti' nin etkisi büyktür. Çin Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi, 2021 yılında, geçmiş iki yıldır kapsayacak şekilde uygulamaya başlanmıştır.

Emisyon ticaret sisteminde belirli bir emisyon salınım üst limiti belirlenerek ücretsiz tahsisatlar dağıtılmakta, bu tahsisatlar mülkiyeti bulunduran tarafından satışa çıkarılabilmektedir. Üst limit belirleme ve tahsisat ticaretine (cap and trade) dayanan bu yöntem Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminde uygulanan yöntemdir. Emisyon ticaret sisteminde üst limitlerin aşılması durumunda tahsisat satın alımı yapılabilmektedir. Emisyon üst sınırı doğrultusunda şirketlere ücretsiz tahsisat dağıtılmakta veya şirketler AB ETS piyasasında tahsisat satın alabilmektedir. Bu sistemde, her yıl azaltım hedeflerine göre ücretsiz tahsisat miktarı azaltılmaktadır. Bu

durum, tahsisatların kıtlığına yol açmakta ve bu durum, tahsisatların piyasa değerini arz ve talep dengesi doğrultusunda dengelenmesini sağlamaktadır.

Etkin bir piyasa fiyat aracının oluşabilmesi için, emisyon azaltım maliyetlerinin emisyon tahsisat fiyatından düşük olması beklenir. Bu durumda, kirleticiler azaltım yapmak için tahsisatlar almak yerine farklı azaltım yöntemlerini tercih edeceklerdir. Ancak, emisyon tahsisat fiyatı azaltım maliyetinden düşükse, kirleticiler tahsisatları satın alarak kirletmeye devam edebilmektedirler [Uludağ, 2016].

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik emisyon ticaret sistemlerinin etkinliğini kontrol etmek için sistem verilerine ilave olarak küresel emisyonlar, kişi başına düşen emisyon verileri, gayri safi yurtiçi hasıla başına düşen emisyon verilerinin de değerlendirilmesi daha sahılık sonuç vermektedir. Örneğin; Avrupa Birliği'nde toplam gayri safi yurtiçi hasıla miktarı yıllar içinde artış gösterirken toplam sera gazı emisyonları azalmış, Yeni Zelanda'da ise toplam gayri safi yurtiçi hasıla miktarı yıllar içinde artış gösterirken toplam sera gazı emisyonları miktarı da 2019 yılına kadar artış göstermiştir.

Gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), ülkenin ekonomik performansını, büyümeye trendlerini ve refah düzeyini gösteren, bir ülkenin belirli bir zaman diliminde yurt içinde üretilmiş nihai mal ve hizmetlerin toplam değerini ifade etmektedir.

Gayri safi yurtiçi hasıla, üretimle ilişkili olduğu için GYSİH artış gösterirken sera gazı emisyonlarının salınımının miktarlarının azalması, üretim miktarının artışına rağmen emisyonların azaldığına, böylece emisyon ticaret sisteminin istenilen azaltıma katkı sağladığının göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında tek başına emisyon ticaret sistemlerinin yeterli olmayacağı aşikardır. Emisyon azaltımı için teknolojik gelişmeler takip edilmeli, emisyon salınımlarına neden olan kuruluşlara, emisyon azaltıcı teknolojiye ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmasına yönelik teşvik edici politikalar yürütülmelidir.

Yine emisyon ticaret sistemi dahilinde bulunan kuruluşlara haksız rekabeti önleyici çalışmalar geliştirilmektedir. Avrupa Birliği tarafından yürürlüğe konulan sınırlı karbon düzenleme mekanizması ile, Avrupa Birliği tarafından ithal edilen ürünler, bünyesinde bulunan gömülü karbon emisyonları doğrultusunda vergi uygulanması kararı alınmıştır. Böylece, herhangi bir emisyon ticaret sistemine uyum ya da karbon

vergisi yükümlülüğü bulunmayan kuruluşların AB ETS kapsamındaki kuruluşlara göre düşük maliyetli üretim yapmasından doğan dezavantajın ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.



KAYNAKLAR

- Abadie A; (2021) “Using synthetic controls: Feasibility, data requirements, and methodological aspects”, Journal of Economic Literature, 59 (2), 391–425.
- Abadie A., Diamond A., Hainmueller J., (2011), “Synth: An R package for synthetic control methods in comparative case studies”, Journal Of Statistical Software, 42 (13).
- Abadie A., Gardeazabal J. (2003). “The economic costs of Conflict: A case study of the Basque country”. The American Economic Review, 93(1), 113–132.
- AÇA, (2014), Refah ve çevre Avrupa’da kaynakları verimli kullanma ve döngüsel bir ekonomi oluşturma.
- Akbelen M. M., (2019), “Karbon vergileri ve emisyon ticareti sistemleri, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri örneklerinden hareketle Türkiye’de uygulanabilirliği”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Aktaş Ç. Z., (2024), “Sınırda karbon düzenlemesi ve seçilmiş sektörlerde Türkiye’nin küresel rekabet gücü”, Politik Ekonomik Kuram, 8(1), 1–17.
- Aliusta H., Yılmaz B., Kırloğlu H. (2016), “Küresel ısınmayı önleme sürecinde uygulanan piyasa temelli iktisadi araçlar: karbon ticareti ve karbon vergisi”, Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, ICAFR16 Özel Sayısı.
- Almer C., Winkler R., (2012), “The effect of Kyoto emission targets on domestic CO₂ emissions: A synthetic control approach the effect of kyoto emission targets on domestic CO₂ emissions: A Synthetic control approach”, Department of Economics, Bern University, Switzerland.
- Arslan E.R., (2007), Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli İklim Değişikliği rapor özeti çevirisi.
- Aslan A., (2013), “Energy consumption and GDP: The strong relationship in OECD countries”, Energy Sources. Part B Economics, Planning and Policy, 8(4), 339–345.
- Azhgaliyeva D., Lee H., (2023), “Investment in renewable energy and emissions: firm-level empirical evidence from the People’s Republic of China”, Technical Report No: 1421, ADBI Working Paper Series, Asian Development Bank Institute.
- Babiker M., Reilly J., Viguier L., (2004), “Is international emissions trading always beneficial?”, Energy Journal, 25 (2), 33–56.
- Beydemir M., (2016), “Assessing the impact of the EU emissions trading system on CO₂ emissions: A synthetic control approach”, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi.
- Bilgiç E., (2017), “İklim değişikliği ile mücadelede emisyon ticareti ve Türkiye uygulaması”, Uzmanlık Tezi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Bohn T. J., Livneh B., Oyler J. W., Running S. W., Nijssen B., Lettenmaier D. P., (2013), “Global evaluation of MTCLIM and related algorithms for forcing of ecological and hydrological models”, Agricultural and Forest Meteorology, 176, 38–49.

Cambos, P. Croasdale K., Yazarov M., Riska K., Bridges R., (2019), “Impact of climate change on design and operation of arctic ships and offshore units” Proceedings of the 25th international Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, Delft, The Netherlands, 9 June.

Çelikkol H., Özkan N., (2011), “Karbon piyasaları ve Türkiye perspektifi”, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 31.

Çetintaş H., Bicil İ. M., Türköz K., (2016), “Türkiye’de CO₂ salınımı enerji tüketimi ve ekonomik büyümeye ilişkisi”. Finans Politik & Ekonomik Yorumlar, 57–67.

Değirmen D., Eker Şanlı G. (2022)., “Bir tekstil işletmesinde enerji verimliliği ve emisyon azaltım olanaklarının araştırılması: Havlu Üretim Tesisi.” Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 71–88.

Demirbaş M., Rozelin A., (2020), “21. Yüzyılın en büyük tehdidi: Küresel iklim değişikliği”, NWSA Ecological Life Science, 15 (4), 163–179.

Dolu A., (2018), “Sentetik Kontrol Metodu: Nafta Antlaşması ve Meslek Liselerinde Katsayı Uygulamasının Etkileri”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.

Elitaş C., Çetin A. C., (2011), “Karbon ticareti ve karbon bankacılığı”, Muhasebe ve Denetim Bakış.

Ellerman A. D., Joskow P. L., (2008), “The European Union’s Emissions Trading System in perspective”, Pew Center on Global Climate Change.

Ellerman A. D., Joskow P. L., & Harrison, D., (2003), “Emissions trading in the US”, Pew Center on Global Climate Change.

Erdoğan Sağlam N., Düzgüneş E., Balık, İ., (2008), “Küresel ısınma ve iklim değişikliği”, E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 25(1), 89–94.

Flavin Christopher., Kitasei Saya., (2010), “The role of natural gas in a low-carbon energy economy”, Worldwatch Institute.

Garg A., Arya S., (2015), “The opportunity analysis of carbon credit trading for developing world-a case study”, International Journal of Marketing, Financial Services & Management Research, 4(2), 29–38.

Güneş A. M., (2011), “Yeni anayasa tartışmaları bağlamında çevre”. 15(3), 259–283.

Jung H., Lee J., Song, C. K., (2023), “Carbon productivity and volatility”, Finance Research Letters, 56, 104052.

Kweku D. W., Bismark O., Maxwell A., Desmond K. A., Danso K. B., Oti-Mensah E. A., Quachie A. T., Adormaa B. B., (2017), “Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming”, Journal of Scientific Research and Reports, 17(6), 1–9.

Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change United Nations, United Nations (1998).

ICAP, (2024) “Emission trading worldwide: Status report”, In Juan Pedro Searle Solar (Chile), William Space.

IFPRI, (2022), “Climate change & food systems”, Global Food Policy Report, The International Food Policy Resarch Institute,

IPCC, (2021), “Summary for policymakers. In: Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change”, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32.

IPCC, 2023, “Summary for policymakers. in: climate change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34.

Leining C., Kerr S., (2018), “A Guide To The New Zealand emissions trading scheme”, Motu Economic and Public Policy Research.

Özbek, S., (2023), “Sürdürülebilir çevre: Çevre teknolojileri ve vergileri kapsamında ekonometrik bir inceleme”, Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7, 63–91.

Özcan B. A., (2020), “Ortak mülkiyet çerçevesinde iklim değişikliği sorununun çözümünde Kyoto Protokolü’nün etkisi”, Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 20(2), 169–184.

Öztürk A. C., Yavuz Tiftikçigil, B., (2022), “Türkiye’de sektörel seragazı salımının ekonomik büyümeye etkisi”, Journal of Life Economics, 9(4), 241–253.

REC Türkiye, (2008), “A’dan Z’ ye iklim değişikliği başıcu rehberi: Çok geç olmadan harekete geçmek isteyenler için”, Bölgesel Çevre Merkezi.

Sadioğlu U., Ağıralan E., (2020), “İklim değişikliği çerçevesinde 25. taraflar konferansı”, Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(Ek Sayı-1), 361–385.

Sayman R. Ü., Akpulat O., Bai D., Demirci S., (2015), “Sürdürülebilir Kalkınma için Bilişim”, Bölgesel Çevre Merkezi.

Türkeş M., (2001), “Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma”, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, 1, 187–205.

Türkeş M., (2022), “İklim diplomasisi ve iklim değişikliğinin ekonomi politiği. Bilim ve Ütopya, 332, 31–45.

Türkeş M., Sümer, U. M., Çetiner, G., (2000), “Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri”, İstanbul Sanayi Odası, 7–24.

Uludağ A., (2016), “Maliye Politikası Çerçevesinde Karbon Fiyatlandırması”, (Avrupa Birliği Uzmanlığı Yeterlik Tezi), Maliye Bakanlığı.

UNFCCC, 1992, “United Nations Framework Convention on Climate Change”.

Uyduranoğlu Öktem A., (2008), “Küresel Bir Risk: İklim Değişikliği”, 3(1), 87–94.

Web 1, https://edgar.jrc.ec.europa.eu/emissions_data_and_maps, (Erişim Tarihi: 12.03.2024).

Web 2, <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-sinirda-karbon-duzenleme-mekanizmasi/ab-skdm-bilgi-notu>, (Erişim Tarihi: 16.05.2024).

Web 3, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts?>, (Erişim Tarihi: 08.03.2024).

Web 4, <https://databank.worldbank.org/source/sustainable-energy-for-all>, (Erişim Tarihi: 20.05.2024).

WEO, (2021), “World Energy Outlook Report”, International Energy Agency.

Yıldız S., (2017), “Sürdürülebilir kalkınma için karbon vergisi”, Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi, 10(3), 367–384.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Uzatıcı lisans eğitimini 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Çevre mühendisi olarak farklı sektörlerde çalışmıştır. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında lisansüstü eğitimini sürdürmüştür. Hali hazırda özel bir kuruluşta çevre mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.



TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Uzatıcı H., Bektaş N., Tekbaş M., (2024), “Sera Gazi Emisyonu Azaltılmasında Karbon Ticaretinin Rolü”, 8. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, 30-31 Mayıs 2024, Kocaeli, Türkiye.

