



**İSKENDERUN TEKNİK**  
ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**KARBON AYAK İZİNİN  
ZAMAN SERİSİ VERİ MADENCİLİĞİ  
YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ:  
TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

**Müge AKYOL**

**EKONOMİ VE FİNANS  
ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2022**



**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**



**KARBON AYAK İZİNİN ZAMAN SERİSİ VERİ MADENCİLİĞİ  
YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

**Müge AKYOL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EKONOMİ VE FİNANS ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2022**

## KABUL/ONAY FORMU

Müge AKYOL tarafından hazırlanan “KARBON AYAK İZİNİN ZAMAN SERİSİ VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi Ekonomi ve Finans Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Emine UÇAR

Yönetim ve Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Başkan:** Prof. Dr. Nazif ÇALIŞ

Anabilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Prof. Dr. Güzin YÜKSEL

Anabilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

Tez Savunma Tarihi: 09/06/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

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

İmza  
Müge AKYOL  
09/06/2022

KARBON AYAK İZİNİN ZAMAN SERİSİ VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE  
TAHMİNİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Müge AKYOL

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Sürdürülebilir bir dünya için, iklim değişikliği ile mücadelede atılacak en büyük adım insani faaliyetlerden kaynaklanan emisyonu azaltmaktır. Bu sebeple dünyaya salınan karbon emisyonunun ölçüsü olarak kabul edilen karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik çalışmalar önem arz etmektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışma, Türkiye'nin gelecek dönem sera gazı emisyon oranlarının tahminini içermektedir. Çalışmada Türkiye'nin 1990-2017 yıllarına ait nüfus, gayri safi yurt içi hasıla, enerji üretimi ve enerji tüketimi parametreleri kullanılarak sera gazı emisyon oranlarının zaman serisi veri madenciliği yöntemlerinden Lineer regresyon, Çok katmanlı algılayıcı ve Sıralı en düşük optimizasyon(SMOreg) algoritmaları ile tahmini gerçekleştirilmiştir. Yapılan tahminlerden hata istatistikleri en küçük olan ve gerçek değerlere en yakın değerleri veren SMOreg algoritması kullanılarak 2018-2030 yılları arasındaki sera gazı emisyon oranı tahmini yapılmış ve yapılan analiz sonucunda Türkiye'nin günümüzdeki seyrini devam ettirdiği sürece sera gazı emisyon miktarının kademeli olarak artarak 2030 yılında 728.301 metrik ton CO<sub>2</sub> eşdeğerine ulaşacağı bulgusuna erişilmiştir. İklim değişikliği ile ilgili uluslararası sözleşmelerin çoğunda yer alan Türkiye için ulaşılan tahmin değerleri, Paris iklim sözleşmesinde taahhüt edilen oranın altındadır. Bu durum Türkiye için umut verici olarak değerlendirilse de yapılan diğer çalışmalardaki tahminler göz ardı edilmeden, politika yapıcıların bu doğrultuda politika belirlemesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Karbon Ayak İzi, Yenilenebilir Enerji, Zaman Serisi Veri Madenciliği,  
SMOreg  
Sayfa Adedi : 61  
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Emine UÇAR

CARBON FOOTPRINT FORECASTING USING TIME SERIES DATA MINING  
METHODS: THE CASE OF TURKEY  
(M. Sc. Thesis)

Müge AKYOL

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

June 2022

ABSTRACT

For a sustainable world, the biggest step to be taken in the fight against climate change is to reduce emissions from human activities. For this reason, it is important to work on reducing the carbon footprint, which is accepted as the measure of carbon emissions released to the world. In this direction, the study includes the estimation of Turkey's greenhouse gas emission rates for the next period. In the study, the greenhouse gas emission rates of Turkey were estimated using linear regression, multilayer perceptron and sequential minimal optimization (SMOreg) algorithms from time series data mining methods, utilizing the parameters of population, gross domestic product, energy production and energy consumption for the years 1990-2017. The greenhouse gas emission rate between 2018 and 2030 was estimated by using the SMOreg algorithm, which has the smallest error statistics and gives the closest values to the real values. As a result of the analysis, it has been found that as long as Turkey continues its current course, the amount of greenhouse gas emissions will increase gradually and reach 728,301 metric tons of CO<sub>2</sub> equivalent in 2030. The estimated values reached for Turkey, which is included in most of the international conventions on climate change, are below the rate committed in the Paris climate convention. Although this situation is considered promising for Turkey, it is thought that policy makers should determine policies in this direction, without ignoring the estimates in other studies.

Key Words : Carbon Footprint, Renewable Energy, Time Series Data Mining, SMOreg.

Page Number : 61

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Emine UÇAR

## TEŞEKKÜR

Sanayi devriminden sonra giderek artan çevre bozulmasına karşı tüm insanlığın sorumluluk altında olduğu bir gerçektir. Bu gerçek karşısında kişisel olarak tüm sorumluluklarımın farkında olarak bu çalışmayı yapmak oldukça heyecan verici ve önemlidir. Günümüzde dünyayı etkileyen iklim krizlerinin etkisi her geçen gün daha da hissedilmektedir. Yaşanan krizlerden en fazla etkilenecek ülkelerin Türkiye'nin de içinde olduğu gelişmekte olan ülkeler olması gerçeği, bu çalışmayı daha anlamlı kılmaktadır. Karbon ayak izinin geleceğe yönelik tahmininin yapıldığı çalışma ileride yaşanabilecek felaketlere karşı alınabilecek küçük ve etkili önlemlerle gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakabilmek umudu içermektedir.

Bu çalışma uzun süreli bir emeğin ürünüdür. Çalışmamın tüm aşamalarında desteğini esirgmeden sevgiyle yol gösteren, hayattaki disiplini ile örnek aldığım, her daim şevkle çalıştığım sevgili danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Emine UÇAR, tüm değerli bilgilerini nezaketle aktaran Dr. Öğr. Üyesi Murat UÇAR, yol arkadaşım olan sevgili eşim ve beni hep destekleyen canım aileme çok teşekkür ederim.

Her daim maneviyatıyla kuvvet bulduğum, bakış açımı şekillendiren ve bıkmadan sorularımı cevaplayan, çok kıymetli hocam Prof. Dr. Nazif ÇALIŞ' a teşekkürü borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. DÜNYADA KARBON EMİSYON GÖRÜNÜMÜ.....	11
3. TÜRKİYE’NİN KARBON AYAK İZİ .....	17
4. LİTERATÜR ÖZETİ .....	24
5. MATERYAL VE METOT .....	33
5.1. Veri Seti .....	33
5.2. Zaman Serisi Veri Madenciliği.....	34
5.2.1.Linear regresyon (Linear regression).....	38
5.2.2.Çok katmanlı algılayıcı (Multilayer perceptron) .....	39
5.2.3.Sıralı en düşük optimizasyon (Sequential minimal optimization ).....	40
5.2.4. Performans ölçütlerinin değerlendirmesi.....	43
6. UYGULAMA ve BULGULAR .....	45
6.1. Uygulama .....	45
6.2. Bulgular.....	45
6.3.Tartışma.....	47

	<b>Sayfa</b>
7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	49
KAYNAKLAR .....	53



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Ülkelerin yıllık emisyon oranları (Milyar ton/yıl).....	13
Çizelge 3.1. Türkiye'nin karbon ayak izi en fazla olan kentleri .....	19
Çizelge 3.2. Türkiye'nin sera gazı emisyonunun yıllar içindeki değişimi .....	21
Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait içerik .....	33
Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan veri seti.....	33
Çizelge 6.1. Kullanılan öngörü algoritmalarında elde edilen MSE ve MAPE değerleri	45
Çizelge 6.2. Modellere ilişkin hata istatistikleri.....	46
Çizelge 6.3. Gerçek değerlerle tahmin değerlerinin karşılaştırılması.....	46

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya sera gazı emisyon miktarları .....	11
Şekil 2.2. Birincil enerji tüketim oranlarının dünyadaki çeşitleri .....	12
Şekil 2.3. Karbon emisyonunun sektörel bazda dağılımı .....	15
Şekil 3.1. Türkiye’de sera gazı emisyon oranları .....	17
Şekil 3.2. Türkiye 'de enerji arzının çeşitlemesi .....	18
Şekil 3.3. Türkiye’nin sektörel sera gazı emisyonu .....	21
Şekil 5.1. Yapay sinir (Düğüm) .....	40
Şekil 5.2. Destek vektörlerde doğrusal ayrılma .....	41
Şekil 5.3. Doğrusal olarak ayrılamayan veriler .....	42
Şekil 5.4. Ayrımı doğrusal olmayan veriler .....	43
Şekil 6.1. SMOreg modeli ile 2019-2030 yılları için tahmin edilen sera gazı emisyon (GHG) değerleri .....	47

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.1. Biyolojik sinir hücresi yapısı .....	39



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

### Simgeler

<b>mt</b>	Metrik ton
<b>m<sup>3</sup></b>	Metreküp
<b>°C</b>	Santigrat derece
<b>gwh</b>	Gigawatt saat
<b>kha</b>	Küresel Hektar
<b>kwh</b>	Kilowatt saat
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare

### Kısaltmalar

<b>AB</b>	Avrupa Birliği
<b>BAU</b>	Business as Usual
<b>BM</b>	Birleşmiş Milletler
<b>ÇŞB</b>	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
<b>ETKB</b>	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>GCB</b>	Global Carbon Budget
<b>GGMCF</b>	Global Gridded Model of Carbon Footprints
<b>GSMH</b>	Gayri Safi Milli Hasıla
<b>GSYH</b>	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
<b>HES</b>	Hidroelektrik Santralleri
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel On Climate Change
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>ITSO</b>	İstanbul Ticaret ve Sanayi Odası
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development
<b>OPEC</b>	Organization of Petroleum Exporting Countries
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programme

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaradılıştan bu yana doğayla iç içe yaşamış, doğanın bir parçası olmuştur. Üzerinde yaşadığı dünyanın korunması insan varlığının sürdürülebilirliği için gereklidir. Ekonomik gelişmeyle birlikte çevresel sorunlar yaşam koşullarını tehdit etmeye başlamıştır. Çevresel sorunların en önemlisi olan sera gazı etkisiyle iklim değışiklikleri meydana gelmiştir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change,) IPCC'nin iklim değışikliği tanımına göre; “fosil yakıt kullanımı, arazi kullanımı değışiklikleri, ormansızlaşma, ormanların bozulması ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleriyle atmosfere salınan sera gazı birikimlerindeki hızlı artışın doğal sera etkisini kuvvetlendirmesi sonucunda yerkürenin ortalama yüzey sıcaklıklarındaki değışikliklere iklim değışikliği” dir (Oral, 2019). Bu tanım, iklimin doğal süreçler dışında insan eliyle değıştiğini vurgulamaktadır. Bu savı destekler nitelikte IPCC raporları da iklim değışikliğinin %95 oranında insan kaynaklı faaliyetler sonucunda oluştuğunu göstermektedir. Bu faaliyetler, sanayileşme sonucu artan enerji ihtiyacı, fosil yakıt kullanımının artması, kentleşme, nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve ulaşım faaliyetleri gibi insanın doğaya müdahale etmesiyle oluşan diğer insan kaynaklı faktörlerdir. Bu faaliyetler sonucunda, yaşanan değışiklikle yerküre giderek ısınmış, buzulların üçte biri erimiş ve deniz seviyesi yükselmiştir. Yapılan çalışmalar, bu faaliyetlerin sera etkisi yaratan gazların artışına yol açarak, 2030 yılına kadar karbondioksit oranının Sanayi Devrimi öncesine göre 2 kat, yerkürenin ısısının 2-5 derece arası artıracığını tahmin etmektedir (Pınarcıoğlu, 2018). Bu durum kaygı yaratmaktadır. Bu sebeple küreselleşme sürecinin etkisiyle global konularda beraber yapılan çalışmalardan biri de çevre sorunları olmuştur. Küreselleşme süreci, çevre sorunları konusunda ulusal devletleri bir araya getirerek çözüm önerilerinin oluşması, uluslararası kurallar koyulmasını sağlamıştır (KL Lerner ve BW Lerner, 2006). Dünya genelinde her geçen gün kendilerinden daha çok söz ettiren sivil toplum örgütleri, küreselleşme sayesinde, uluslararası çapta örgütlenerek yüksek iletişim donanımlarıyla hak arama mücadelelerini gerçekleştirebilmektedir. Örneğin, Greenpeace hareketi, doğayı korumada küresel örgütlenme ile ön plandadır (Kaypak, 2011). Ne var ki, yaşanan teknolojik gelişmeler insanoğlunun enerji ihtiyacını ve tüketimini sürekli arttırmaya devam etmektedir. Yalnızca Türkiye’de kişi başı net elektrik tüketimi 2018 sonu itibariyle 2855 kwh olarak belirlenmiştir (Oral, 2019). Artan nüfus, hızlı sanayileşme ve kentleşme olgularıyla birlikte artan enerji talebini sürdürülebilir şekilde karşılayabilmek gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye için oldukça önemlidir. Ekonomik gelişim için gelecek

yatırımların yönlendirilmesinde, enerji politikalarının belirlenmesinde, sanayi sektörünün çalışabilirliğinde oldukça önemli olduğundan bu konuda yapılan çalışmalar yol gösterici olarak nitelendirilmektedir (Es, Kalender ve Hamzaçebi, 2014). Türkiye aslında artan enerji ihtiyacının sürdürülebilir şekilde karşılanabilmesi için oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. İklimi ve yer şekilleri ile rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının varlığına rağmen bu potansiyelin çok küçük bir kısmını enerjiye dönüştürebilmektedir. Türkiye hala enerji ihtiyacının çok büyük bir bölümünü çevre düşmanı fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Oysa Türkiye'nin de içinde olduğu birçok ülke temiz çevre modelleri olan yeşil ekonomi kavramı ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Yeşil ekonomi insanoğlunun dünyada bıraktığı izi azaltmak için yapılan birtakım faaliyetlerdir (Özsoy, 2015).

İnsanlığın doğa üzerindeki en büyük etkilerinden biri karbon ayak izidir. Bu iz insanoğlunun üretim ve tüketim faaliyetlerinin bir sonucu olarak ölçülebilir bir kavramdır. Bu kavram genel olarak insanın doğaya saldıgı karbondioksit miktarını temsil etmekle birlikte yaşam döngüsünün her aşamasında meydana gelmektedir (Özsoy, 2015). Dünya var olduğundan beri sürekli bir karbon salınımına maruz kalmakta ve ekosistem giderek bozulmaktadır. Bilim adamları tarafından sera gazı salınımının kontrolsüz biçimde artmasının, kitlesel soy tükenmesi, kıtlık, susuzluk, deniz seviyesinin yükselmesi, olağanüstü hava koşullarından kaynaklı ölüm ve yaralanmalar gibi birçok olumsuz sonuç doğuracağı öngörülmektedir. Coğrafyadan coğrafyaya değişmekle birlikte iklim değişikliğine bağlı olarak, gelişmekte olan ülkelerin düşük gelire sahip nüfusunun diğer nüfusa oranla daha fazla zarar göreceği, gıda ve su gibi temel ihtiyaçlara erişim konusunda eşitsizliklerin giderek artacağı düşünülmektedir (Kaya, 2020). İşte bu çıkmaz durumu fark eden insanlık çevre kalitesinin artırılması yönünde çalışmalara girişmiştir. Bu doğrultuda en önemli girişim sürdürülebilir kalkınma modeli planlamak olmuştur. Gelişmekte olan ülkelerin insan çevre dengesi doğrultusunda kalkınmasını gerçekleştirmesi anlamına gelen sürdürülebilir kalkınma modeli ile gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılarak büyüme hedeflenmiştir (Kaypak, 2011). Bu hedef doğrultusunda yıllar içerisinde yapılan çevre çalışmalarının seyri şu şekilde olmuştur;

- ✓ *Stockholm konferansı (1972)*; Uluslararası çevre bilincinin oluşmasına yönelik atılan ilk adım olarak bilinen bu konferans 113 ülkenin 86 bildiri sunduğu kapsamlı bir toplantı olmuştur. Zamanın şartlarına bağlı olarak birçok farklı düşüncenin yer aldığı konferansta, ülkeler çevre sorunlarına çözüm için kurumsallaşmaya ve işbirliğine



gidilmesi yönünde fikir birliğine varmışlardır (Alada, Gürpınar ve Budak, 1993). Konferansı Birleşmiş Milletler organize ederek, çevre sorunlarının ve çevrenin korunmasının tüm dünya ülkelerinin görevi olduğunu, bu sebeple alınacak önlemlerin rehber niteliğinde olması gerektiğini savunmuşlardır. Bu konferans ile çevre sorunları evrensellik kazanmıştır (Sezer, 2015). Konferans sonunda BM İnsan Çevresi Bildirisi kabul edilmiştir (Dış İşleri Bakanlığı, 2021). Stockholm Bildirgesi herhangi bir bağlayıcılığı olmamasına rağmen, genellikle çağımızın uluslararası çevre hukukunun temeli olarak ele alınmaktadır. Özellikle Stockholm Bildirgesi'nin 21. ilkesi zamanla katı hukuk (hard law) niteliğini kazandı. Bu madde devletlerin kendi çevre politikalarına uygun olarak kaynak kullanımını egemenlik hakkı olarak dile getirmiştir (Pallemaerts, 1997).

Stockholm konferansının en önemli özelliklerinden biri kurumsal yapıya geçiş aşaması oluşturmıştır. Her ülke çevre konusunda ulusal kaynaklarını kullanarak destekleyici mekanizmalar oluşturma yolunda adımlar atmıştır. Örneğin Türkiye'de bu konferans sonrasında Çevre Müsteşarlığı kurulmuş ve çevre yasası çıkarılmıştır. Konferans sonucunda 5 Haziran dünya çevre günü olarak kabul edilmiştir (Alada vd. 1993).

Stockholm konferansı ile kurulan Birleşmiş Milletler Çevre Programı kuruluşu (UNEP) günümüzde de özellikle gelişmekte olan ülkelere çevreye duyarlı yöntemler önermektedir (Birleşmiş milletler çevre programı, t.y).

- ✓ *Brundtland komisyon raporu (1987)*; 1982 yılında kurulan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanmış "Ortak Geleceğimiz" isimli bir rapor olup sürdürülebilir kalkınma teriminin ilk kez burada kullanılması yönüyle önemlidir (Sezer, 2015; Kaypak 2011). Sürdürülebilir kalkınma; çevre sorunlarını önleyecek bir kalkınma programına girerek bunu sürdürülebilir hale getirmektir. 20. yy'ın başı ile sonu arasında çevre tahribatı anlamında büyük farklar bulunmakta ve bu giderek küresel bir sorun haline gelmektedir. Raporda bu tahribatın gelişmiş ülkelerin o ana kadar kalkınma politikalarının yanlış stratejiler seçmesinden kaynaklı olduğu, dolayısıyla bu sorumluluğu almaları gerektiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte sürdürülebilir kalkınma için ticaret, kredilendirme, çevre teknolojilerinin yaygınlaştırılması gibi öneriler de bulunmaktadır. Fakat ne yazık ki Brundtland raporunda ele alınan sürdürülebilirlik kavramının uygulamaya koyulabilmesi ancak 1992 yılında yapılan Rio Konferansında gerçekleştirilebilmiştir (Kaypak, 2011).

- ✓ *Rio zirvesi (1992)*; Sürdürülebilir kalkınmanın temel ilkelerinin belirlendiği bu zirve Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde yapılmıştır. Zirvede 27 maddelik bir belge ile tüketim kalıplarının değişmesi gerektiğinden insan kaynaklarının geliştirilmesi için atılacak adımlara kadar ayrıntılı bir program çıkarılmıştır (Kaypak, 2011). Rio zirvesinde taslağı oluşturulan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Kyoto Protokolünün ön anlaşması niteliğinde sayılan bu sözleşme, atmosferdeki sera gazı oranlarının düşürülmesi ve bu gazların olumsuz etkilerinin en aza indirilerek belli bir seviyede tutulmasını amaçlamaktadır.(Oral, 2019). Sözleşmeye göre sera gazı salım oranlarına bakılarak ülkeler üç ayrı gruba ayrılmış ve her bir gruba ortak fakat farklı sorumluluklar yüklenmiştir. Ortak sorumluluklar kapsamında düzenli emisyon envanterleri çıkarılarak, teknoloji transferi, adaptasyon, araştırma ve geliştirme alanlarında bilgi iletimi gerçekleştirilerek işbirliği sağlanacaktır. Farklı sorumluluklar kapsamında ise ülkeler; kalkınmışlık düzeyine ve atmosfere salınan sera gazı emisyon oranlarına göre gruplandırılmıştır. İlk grupta yer alan ülkeler İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) üyesi ülkeler ile piyasa ekonomisine geçiş sürecindeki ülkeler ve Türkiye, Monako, Lihtenştayn'dan oluşmaktadır. Bu grup emisyon oranlarını sınırlandırmanın yanında iklim değişikliği ile ilgili politikalarını ve emisyon verilerini sekreteryaya bildirmek zorundadır. Avrupa Birliği ve 23 OECD üye ülkelerinin oluşturduğu ikinci grup ilk grubun sorumluluklarına ilaveten teknoloji transferi ve finansmanından sorumludur. Son grup ise teknoloji transferi, gaz yutaklarını korumak ve geliştirmeye teşvik ve işbirliği konularında zorunlu sorumluluk almayan ülkelerden oluşmaktadır. Çin, Brezilya, Singapur gibi yüksek emisyon salınımı yapan ülkeler ile Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Malta, Güney Kore gibi 150 ülke bu grubun içerisinde yer almaktadır (Arı, 2010).
- ✓ *Kyoto protokolü (1997)*; 1997 yılında toplanmasına rağmen taraf ülkelerin emisyonlarının yeryüzündeki toplam emisyonun %55'ine ulaşması gerekliliği nedeniyle 8 yıl beklenerek 2005'te yürürlüğe girmiştir. Türkiye'nin de imzaladığı bu protokolle, AB ülkeleri sera gazı emisyonlarını 2008-2012 yılları arasında 1990 yılının %8'i oranında azaltmayı taahhüt etmişlerdir (Özdemir, 2011; Pınarcıoğlu, 2018). 190 ülkenin üye olduğu Kyoto protokolünde koyulan hedef azaltım oranını üstlenen 38 ülke olmuştur. Amerika Birleşik Devletlerinin üye olmayı reddettiği protokole Türkiye Avrupa Birliğine Üye olma çalışmaları kapsamında 2009 yılında imza atmıştır. Bu imza ile beraber Türkiye'de sera gazı emisyon oranlarının kaydının

tutulması ve bildirilmesi beklenmektedir.(Arı, 2010). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde gruplandırılan ülkeler, Kyoto Protokolü kapsamında sera gazı emisyon azaltımlarının daha etkili gerçekleştirilmesi ve maliyetlerinin azaltılmasına yönelik esneklik mekanizmaları oluşturmuşlardır. Bu mekanizmalar Temiz Kalkınma Mekanizması, Ortak Yürütme ve Emisyon Ticareti olarak tanımlanmaktadır. Kyoto Protokolüne dayanarak oluşturulmuş esneklik mekanizmalarıyla, sera gazı emisyon azaltım maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Büyük beklentiler yaratan Kyoto Protokolü'nün iklim değişikliğiyle mücadeleye sınırlı katkı sağladığı söylenebilir. Nitekim dönemin en fazla sera gazı salımı yapan ülkesi olan ABD'nin protokolü onaylamaması önemli bir sorun yaratmıştır. Sanayi devriminden beri süregelen zamanda Türkiye'nin 1850 – 2002 yılları arasında dünya kümülatif sera gazı emisyonu içindeki payı binde 4'tür. 2002 yılında Türkiye bu oran ile dünya sıralamasında 31. sırada yer alırken, ABD % 29,3 ile ilk sırada yer almaktadır. AB % 26,5 ile, Rusya % 8,1 ile, Çin (Ek-1 Dışı) % 7,6 ve Japonya % 4,1'lik pay ile Amerika'yı izleyen diğer ülkeler olmuştur. Bu beş ülke tarihteki küresel emisyonların % 75,6'sından sorumludur. Çin, Hindistan, Güney Afrika, Güney Kore, Brezilya, İran, Endonezya, Suudi Arabistan ve Arjantin Türkiye'den daha fazla salım yapmasına karşın sözleşmenin Ek-1 dışı ülkeleri olarak sayılmaktadır. Böylece sera gazı azaltımında sorumluluk üstlenmemektedirler (Arı, 2010). Protokolün sadece Ek-I ülkelerine yükümlülük getirmesi, Çin ve Hindistan gibi yüksek salım yapan gelişmekte olan ülkelerin ek-dışı olarak salım azaltımıyla yükümlü olmamaları da diğer önemli sorun alanı olarak belirlemiştir. Çünkü ABD başta olmak üzere gelişmiş ülkeler, bir yandan gelişmekte olan ülkelerin de yükümlülük üstlenmeleri gerektiğini düşünmüş bir yandan da kendi aralarında indirim oranlarının lehlerini düzenlenmesi için birbirleriyle çatışma yaşamışlardır (Pınarcıoğlu, 2018).

- ✓ *Kopenhag zirvesi (2009); IPCC 4. raporunda sürdürülebilir gelecek için öngörülen 2°C seviyesi, 2012 yılından sonraki süreç için Kyoto'da belirlenen ek 1 ülkelerinin yanında gelişmekte olan ülkelerin anlaşmaya dahil olması zorunluluğunu kılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde (Business as Usual-BAU)'da yer alan mevcut durumlarının %15 ile %30 seviyesinde azaltım oranı beklentisi ülke ekonomilerine getireceği mali yük dolayısıyla kabul edilmemiştir (Karakaya ve Sofuoğlu, 2015). Uluslararası camiada hayal kırıklığı yaratan Kopenhag uzlaşma metni üzerinde anlaşmaya varılamadığından yasal bağlayıcılığı bulunmamaktadır. Zirveye dair tek umut verici detay; gelişmiş ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele kapsamında Yeşil İklim Fonu*

üzerinden gelişmekte olan ülkelere 2020 yılına kadar 100 milyar dolar mali yardımda bulunacak olması olmuştur (Dış İşleri Bakanlığı, 2021; Benlisoy, 2010).

- ✓ *Paris iklim zirvesi (2015)*; Kopenhag zirvesinin yasal bağlayıcılığının olmaması ve bir anlaşmaya varılamaması üzerine yaklaşık 200 ülkenin katılımıyla küresel bir yaklaşım sergilenmiştir. Kyoto Protokolünün 2020 yılına kadar ki süreçten sonrasını kapsamaması, ülkelerin bundan sonraki süreci kapsayacak bir çalışma yapması gerekliliğini doğurmuştur. Paris İklim Anlaşması yeni bir sürecin başlangıcı sayılmaktadır. (Kaya, 2020). Bu zirve ile 196 ülke bir araya gelmiş ve sürdürülebilir bir dünya geleceği için sıcaklık artışının 1,5-2 derece ile sınırlanması gerektiği bu sebeple de küresel sıcaklığı arttıran sera gazı emisyon oranlarının 2030 yılına kadar taahhüt edilen oranda azaltılması konusunda anlaşmaya varılmıştır (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2017). Anlaşmanın tüm ülkeler tarafından imzalanması ve yürürlüğe girmesi umut verici olarak değerlendirilmekte Kyoto Protokolüne oranla daha fazla kabul gördüğü anlamına gelmektedir. Anlaşmada, gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelere de ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk verilmiş, gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarının düşürülmesi konusunda öncülük edeceğine dikkat çekilmiştir. Ayrıca gelişmiş ülkeler sera gazı emisyon azaltımında ve değişen iklim koşullarına uyumluluk konusunda gelişmekte olan ülkelere maddi destek sağlayacaktır. Paris anlaşmasını imzalamasına rağmen onaylamayan ülke sayısı Türkiye'nin anlaşmayı onaylaması ile birlikte 7'ye düşmüştür. Bu ülkeler; İran, Irak, Angola, Eritre ve Libya (Hepsi Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü-OPEC üyesi) ve Yemen ve Güney Sudandır. 2019 yılının ekim ayında Rusya'nın anlaşmaya onay vermesi ile Türkiye, Ekim 2021'e kadar resmi olarak anlaşmayı onaylamayan tek G20 üyesi ülkesiydi (Kaya, 2020). 06 Ekim 2021 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisinde anlaşmayı yürürlüğe koyan Türkiye 2053 yılı için karbon nötr hedefi ile de iklim değişikliği ile mücadeledeki kararlılığını göstermektedir (Birpınar, 2022). Paris İklim Zirvesi ile Türkiye tarihinde ilk kez emisyon oranlarını ne kadar artıracığı konusunda taahhütte bulunmuştur. Yapılan bildirimde göre Türkiye, 2020-2030 arası artıştan azalış yöntemi ile emisyon oranını % 21 oranında azaltmayı öngörmektedir. (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2017). Paris İklim Anlaşması'nın ana hedefi, toplam küresel ısınmanın 2 derecenin altına düşürülmesidir. Bilim insanları bir saatlik güneş ışığının küresel ekonomiyi bir yıl yürütecek enerji sağlayabileceğini belirtmektedir. Stanford Üniversitesi'nde küresel rüzgâr enerjisi kapasitesi üzerine yapılan bir araştırmaya göre gezegendeki mevcut rüzgârların %20'sini kontrol altına almak

dünyanın şimdi kullandığından yedi kat fazla elektrik üretilmesini sağlamaktadır. Bunun için ülkeler fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçmelidirler. Güneş ve rüzgâr tesisleri her iki yılda bir sayılarını ikiye katlamaktadır (Kaya, 2020).

- ✓ *Avrupa yeşil mutabakatı (2019)*; Avrupa Birliğinin 2050 yılına kadar karbondan arındırılması kapsamındaki köklü dönüşümleri içeren, Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan iklim eylem planıdır. 2010 yılında yayınlanan Avrupa Stratejisi 2020’de yeşil büyümeye dair yol haritaları belirlenmiştir. Avrupa Yeşil Mutabakatı Avrupa için verilmiş karbonsuzlaşma taahhüdlerinin en büyüğüdür. Bu sebeple sağlam bir mali plana ve yasa değişiklikleri için doğru senaryolara ihtiyaç duyulmaktadır. Şimdiye kadar emisyon ticaret sistemine dayalı bir politika izleyen Avrupa Birliği bu mutabakatla birlikte 2050 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşacak, ve kaynak kullanmadan adil şekilde ekonomik büyümesine devam edecektir. İklim değişikliğinden en fazla etkilenen bölgelere mali yardımı kapsayacak Adil Geçiş Mekanizması ile adaleti sağlamaya çalışan Avrupa, mutabakat kapsamında Döngüsel Ekonomi eylem planı oluşturmuştur. Sürdürülebilirlik, daha az atık, anahtar ürün değer zinciri gibi kavramlarla bir strateji oluşturmaya çalışan Avrupa Birliği, eylem planı ile GSYH’inde %0,5 oranında artış sağlarken yedi yüz bin kişiye de istihdam olanağı yaratmayı planlamaktadır. Türkiye 16 Temmuz 2021 yılında yayınladığı genelge sonrasında Avrupa Yeşil Mutabakatının getireceği değişikliklere uyum konusunda bir hedef belirlemiştir. Ticaret Bakanlığı’nın oluşturduğu 9 başlıktan oluşan Yeşil Mutabakat Eylem Planı ile yeşil dönüşüm programları kapsamında uygulamalara zaman kaybetmeden geçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Ecer, Güner ve Çetin, 2021).

İlk kez Brundtland raporunda da belirtildiği gibi sürdürülebilir kalkınmanın farklı göstergeleri vardır. Bu göstergelerden biri de insanların üretim ve tüketim faaliyetleri sonucu oluşan ekolojik ayak izidir. Ekolojik ayak izi; bir bireyin veya topluluğun faaliyetleri sonucu oluşan atığı bertaraf etmek ve tüketilen kaynakları mevcut teknolojilerle yeniden üretmek için gerekli olan verimli su ve toprak alan olarak tanımlanmaktadır. Türkiye’nin ekolojik ayak izinin %46’sını karbon ayak izi oluşturmaktadır. Karbon ayak izi; bir ürünün üretimi, taşınması, kullanımı ve bozulması gibi tüm aşamalarında meydana gelen karbondioksit salınımının ölçüsüdür. Bu ölçü yaklaşık 1,5 futbol sahası büyüklüğü olan bir hektar arazinin üretim kapasitesini gösteren küresel hektar (kha) terimi ile ifade edilir (Özsoy, 2015). Kyoto Protokolünde CO<sub>2</sub> dışında beş sera gazı daha yer almaktadır. Bunlar; fosil bazlı yakıtların proses işleminde ve atıkların bertarafı sırasında ortaya çıkan Metan (CH<sub>4</sub>), tarım ve toprak

kullanımında salınan Azot oksit ( $N_2O$ ), soğutucuların kullanımından kaynaklanan Hidroflorokarbonlar (HFCs),medikal uygulamalar ve yangın söndürücülerden kaynaklanan Perflorokarbonlar (PFCs) ve elektrik endüstrisinde kullanılan Kükürt Heksaflorid ( $SF_6$ )dir. Bu gazlar  $CO_2$  eşdeğeri cinsinden ölçülmektedir.  $CO_2$  eşdeğeri;  $CO_2$  haricinde diğer sera gazlarının aynı miktar  $CO_2$ 'ye kıyasla kaç kat daha fazla ısı tutabilme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu sayede tüm sera gazları ortak bir paydada toplanarak, yapılan salınım hesaplamalarının anlaşılması kolaylaştırılmıştır (Özsoy, 2015; Oral, 2019).

Karbon ayak izi birincil(doğrudan) ve ikincil(dolaylı) olarak ikiye ayrılır. Birincil ayak izi, evde kullanılan cihazlardan kaynaklanan enerji tüketimi ya da gün içerisinde yapılan ulaşımın sonucu yakılan fosil yakıtlardan açığa çıkan  $CO_2$  emisyonlarını ifade ederken; ikincil ayak izi tüm yaşam döngüsü boyunca doğaya verilen zararı temsil etmektedir. Karbon ayak izi hesaplama yöntemleri ile doğaya ne kadar karbon izi bırakıldığının öğrenilmesi mümkündür. Bu hesaplamalarda atmosfere salınan her ton karbonu fotosentez yoluyla bertaraf etmek için gerekli olan hasat edilmemiş orman arazisi kullanılmaktadır. Gerekli olan orman arazisi büyüklük ve verim bakımından salınan karbonu bertaraf etmek için yeterli değilse, karbon tutma kategorisinde açık ortaya çıkar (Özsoy, 2015). Nihayetinde dünyanın taşıma kapasitesinin üstüne çıkması, ozon tabakasının delinerek ortalama sıcaklığın yükselmesine, buzulların erimesine ve deniz seviyesinin artmasına sebep olur. Tüm bu sıkıntılar sürdürülebilir dünya varlığını tehdit etmektedir. IPCC'nin 2007 yılında yayımlanan raporuna göre 2090-2099 yılları arasında ortalama yüzey sıcaklığında en iyi senaryoya göre  $1.8\text{ }^\circ C$ , en kötü senaryoya göre ise  $4\text{ }^\circ C$  artış gerçekleşebilir. Ayrıca Antartika'da yer alan buzulların her halükarda eriyeceği ve karla kaplı alanların daralacağı, deniz seviyesinin 18-59 cm aralığında artacağı öngörülmektedir (Arı, 2010). Bu büyüklükte bir iklim değişikliğinin ana kaynağının insan faaliyetlerinden kaynaklı karbondioksit salınımı olduğu düşünülmektedir. Karbondioksit salınımının üçte ikisinin fosil yakıtların yakılması, üçte birinin ise ormansızlaşma ve hatalı toprak kullanımı ile oluştuğu bilinmektedir (Kaya, 2020). Yapılan çalışmalar nispeten azalmasına rağmen fosil yakıtların ana yakıtlar olarak bir süre daha kullanılmaya devam edeceğini öngörmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyüme oranlarının yıllık %9,8 olmasıyla birlikte, 2040 yılı içindeki payının %16,1 olması da yapılan tahmin senaryoları arasındadır ( Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [ETKB], 2017).

Dünyada 1970 yılında atmosfere salınan sera gazlarının  $CO_2$  eşdeğeri cinsinden kümülatif değeri 28,4 milyar ton iken 2004 yılına kadar bu miktar yaklaşık olarak %73 oranında artarak 49 milyar tona ulaşmıştır. Aynı dönemde sadece  $CO_2$  emisyonlarının %80 oranında artması

sonucunda, toplam emisyonlardaki artış CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki değişimden fazlasıyla etkilenmiştir. Toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun ise %77'sinin insan faaliyetleri sonucu ortaya çıktığı ispatlanmıştır. Bu durum toplam emisyon artışlarında insan faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon artışının payının %60'ın üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu yıllar arasında en fazla sera gazı emisyonu artışı %145 ile enerji sektöründe meydana gelirken, ulaşımda %120, sanayide %65 ve arazi kullanımında %40'luk artışlar görülmüştür. En düşük artış ise %27 ile tarım ve %26 ile konut sektörlerinde olmuştur (Arı, 2010).

CO<sub>2</sub> emisyonlarının da içinde yer aldığı sera gazı salınımları incelendiğinde en önemli kaynağın enerji sektöründen geldiği anlaşılmaktadır. Elektrik üretimi ve tüketimi, endüstriyel üretim, ulaşım, inşaat gibi sektörler ile tarım ve orman arazilerinin bilinçsiz kullanımı da atmosferdeki zehirli gaz miktarının yükselmesine sebep olmaktadır (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2017). Karbon emisyonunun dünya genelindeki trendine bakıldığında başı çeken belli başlı ülkeler görülmektedir. Sera gazı salınımlarında Amerika, Çin, Hindistan, Rusya ve Japonya ilk beşi oluşturan ülkeler olarak sıralanmaktadır. Bu ülkelerin sera gazı salınımları dünya emisyon miktarının yarısından fazlasını oluşturmaktadır.

Küresel enerji talebinin nüfusun iki katı oranında artış göstermesi ile küresel enerjiye yapılan yatırımların her yıl artış gösterdiği bilinmektedir. Uluslararası Enerji Ajansından elde edilen veriler ışığında, enerji sektörüne 2016 - 2040 yılları arasında küresel ölçekte toplam 66,5 trilyon dolar yatırım yapılacağı tahmin edilmektedir. Bu pay içinde sadece %2 lik bir kısım karbon azaltımı yatırımlarına ayrılmaktadır. %11'lik bir dilim yenilenebilir enerji kaynaklarına ayrılırken %35'lik bir dilim ise enerji verimliliği üzerine yapılan yatırımlar için ayrılmıştır (ETKB, 2017). Günümüze dek küresel ölçekte yapılan konferans ve girişimler sonucu çevre bozulmasını önleyici hareketlerden ziyade çevre ile uyumlu teknolojilerin yaratılarak enerjide verimlilik sağlanmaya çalışılmıştır. Çevreye uyumlu yeşil teknolojiler ve düşük karbon ekonomisi giderek önemli sektörler haline gelmektedir (Kaypak, 2011). Örneğin elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların oranı her geçen gün artmaktadır. Özellikle Avrupa Birliği bölgesinde yenilenebilir kaynak kullanımı önemli artışlar göstermektedir. Eurelectric tarafından yayınlanan verilere göre 2020 yılında AB'de elektriğin %40'ı yenilenebilir enerji kaynaklarından, %18'i ise fosil yakıtlardan üretilmiştir 2020 yılının ilk yarısında üretilen elektriğin üçte ikisi karbon içermemektedir. Bu sürecin böyle devam etmesi halinde 2030 yılında AB'ye ait elektrik üretiminin %80' inin fosilsiz gerçekleşebileceği öngörülmektedir (Eurelectric, 2020).

Yenilenebilir enerji elektrik enerjisi üretiminde en fazla paya sahip olan ülkeler; Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hindistan, Almanya, Rusya, Fransa ve Kanada'dır. Ülkemizde de

2009 yılı ile birlikte yenilenebilir enerji kaynak bazlı üretimimizde ciddi artışlar gözlenmektedir. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü yıllık ortalama %10 artarak 2020 yılı Eylül ayı itibarıyla yaklaşık 47 GW düzeyine ulaşmış, 2013 yılında %40 olan toplam kurulu güç içerisindeki payı ise 2020 yılı Eylül ayı itibarıyla %50,4 seviyesine yükselmiştir. 2013 yılı ile 2020 yılı Eylül ayı arasındaki dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu güç artışında en büyük pay sahibi 7,5 GW'lık artış ile hidroelektrik santrallerinin (HES)'dir (ETKB, 2016).

Gelişen teknoloji sayesinde günümüzde karbon ayak izi hesaplamaları %100 'e yakın doğrulukta tahmin sonuçları vermektedir. Bireylerden kurumlara, şehirlerden ülkelere ve dünyanın tamamına kadar hesaplanabilen karbon ayak izi birçok farklı yöntemle gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler için geliştirilen birtakım uluslararası standartlar, sınıflandırmalar ve hesaplama araçları vardır. IPCC, sera gazı emisyonlarını 3 farklı aşamada hesaplayan metodolojileri paylaşmıştır. Aşama, metodolojinin karmaşıklığını belirtir. Aşama 1, Aşama 2 ya da Aşama 3 gibi verinin karmaşıklığına göre değişebilen metotlar ile hesaplanan karbon ayak izi yöntemlerinde, Aşama 2 ve 3 genellikle yüksek aşama yöntemleri (higher-tier) olarak ifade edilirler. Genellikle daha fazla bilgiyi değerlendirdiği ve daha çok veri elde ettiği için Aşama 1'e oranla daha doğru olarak kabul edilirler. Raporlayan kuruluş yöntemini kullanacak kaynaklara göre değiştirebilir. Örneğin bir şirket karbon emisyonunu hesaplarken elektrik tüketimini göz önünde bulundurduğunda Aşama 2 yöntemini, doğal gaz tüketiminin neden olduğu salınım için Aşama 1'i kullanabilir (Semtrio, t.y.).

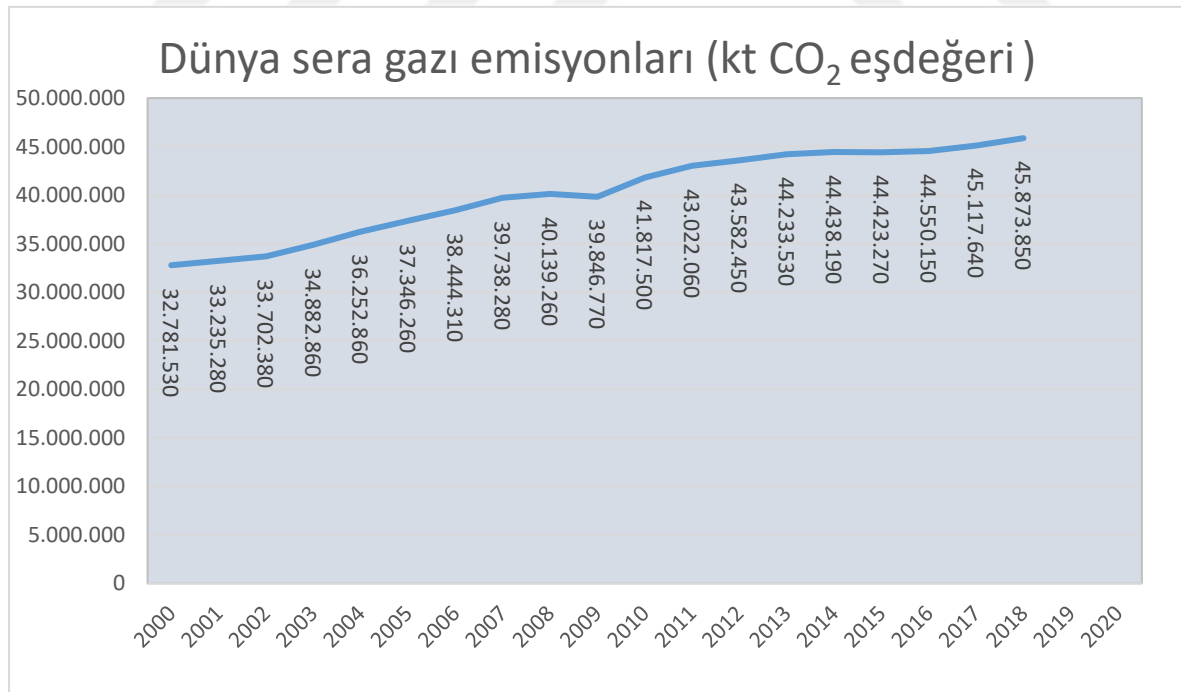
Gelecekteki karbon ayak izi tahminleri için birçok yöntem kullanılmaktadır, ancak son yıllarda veri madenciliği yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmaların önem kazandığı görülmüştür. Veri madenciliği yöntemleri genel olarak pazarlama stratejileri, maliyet tahminleri gibi planlama ve karar süreçlerinde yoğunlaşmaktadır. Veri madenciliği modelleri; veri seti hakkında açıklayıcı bilgiler veren tanımlayıcı modeller ve bir hedefe uygun olarak bağımlı değişkenin değerini tahmin etmeye çalışan tahmin edici modeller olarak ikiye ayrılmaktadır (Ecemiş ve Irmak, 2018).

Bu çalışmanın amacı, karbon ayak izinin gelecek dönemlerdeki ölçümünü zaman serisi veri madenciliği yöntemleriyle tahmin etmek ve bunun ekonomiye olan zararlarını tespit ederek, çözüm önerileri sunmaktır.



## 2. DÜNYADA KARBON EMİSYON GÖRÜNÜMÜ

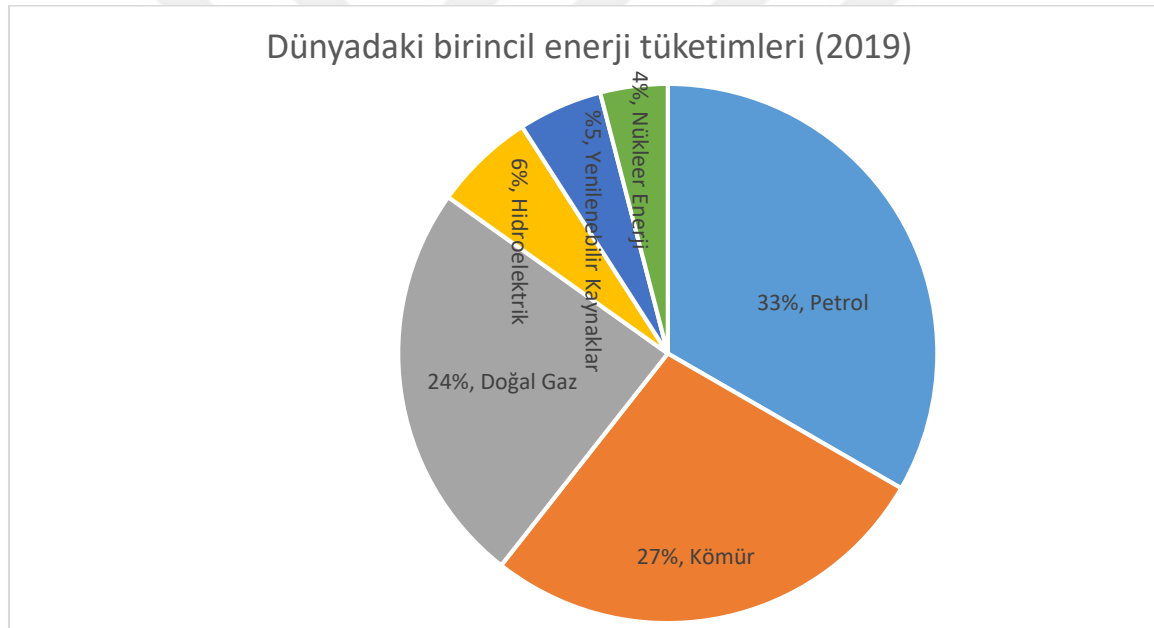
İklim değışikliklerinin başlangıç noktası sayılabilecek ilk olay olan Sanayi devrimi, dünyadaki dengelerin değışmesine yol açmıştır. Sanayi devrimi ile makineleşmeye geçilmiş ve endüstriyel üretimde artış meydana gelmiştir. Üretimdeki artışla birlikte nüfus artışı, sanayileşme, teknolojiye gelişmeler küreselleşmeye, ülkelerin birbirleri ile işbirliğinin yanı sıra yoğun bir rekabet içine girmesine sebep olmuştur. Ülkeler bu rekabet ortamında ekonomik büyümelerini artırmak için kendilerine yetenden daha fazlasını üretip ihraç ederek ayakta kalmaya çalışmaktadır. Ekonomik göstergelerden biri olan dış ticaretin büyüme üzerindeki olumlu etkisi genel kabul gören bir gerçektir. Bu durumda dış ticaretin artırılması için üretimin dolayısıyla kullanılan kaynakların da artırılması gerekir. Üretim arttıkça ortaya çıkan enerji ihtiyacının giderilmesi için genellikle fosil yakıtlara başvurulduğu bilinmektedir( Dineri ve Köse, 2019). Dünyada nüfus artışı, kentleşme sonucu olarak ormansızlaşma, sanayileşme için gereken enerjiyi fosil yakıt kaynaklarından kullanma gibi insan faktörlü birçok sebep sera gazı emisyonlarının sürekli bir artış göstermesine sebep olmuştur. Son yıllarda düşük karbon teknolojilerinde yaşanan artışa rağmen yükseliş eğilimi gösteren karbon emisyonunun son 20 yıldaki seyrini gösteren grafik aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dünya sera gazı emisyon miktarları (Dünya bankası, Toplam sera gazı emisyonları, 2020)

Elde edilen veriler sera gazı emisyon oranlarının yükseliş trendinin devam ettiğini göstermekte olup, her ülkenin emisyon azaltım politikalarının tekrar gözden geçirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Ülkeler gelişen teknoloji ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapma sürecinde olsa da fosil yakıtlar hala ilk kullanılan kaynaklar olarak bilinmektedir. Dünya Bankası kalkınma göstergelerine göre 2015 yılında dünyada kullanılan enerjinin %79'u halen fosil yakıt kaynaklıdır (Dünya Bankası, 2021). Bu durumun gelişen teknoloji ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar ile değişeceği öngörülse de her yıl yayınlanan Dünya Enerjisinin İstatistiksel İncelemesi 2020 Raporuna göre dünyada kullanılan enerji tüketimlerinin %84'ü halen fosil yakıtlara aittir. Aşağıdaki grafikte enerji tüketimlerinin payı daire grafiği olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Birincil enerji tüketim oranlarının dünyadaki çeşitleri (Rapier, 2020)

Grafik dünyada kullanılan enerjinin ilk üç sırasında fosil yakıtlar olduğunu göstermektedir. %33 ile petrol bu fosil yakıtların başını çekerken, %27'lik kullanımla kömür ve %24'lük kullanımıyla doğal gaz diğer sıralarda yer almaktadır. Hidroelektrik santrallerden elde edilen enerji kullanımı %6 iken, yenilenebilir enerji kaynaklarından %5, nükleer enerjiden kullanım ise %4 olmuştur (Rapier, 2020).

Küresel bazda emisyon incelemesi yapan en detaylı çalışmalardan Küresel Karbon Bütçesi 2019 raporuna göre yapılan uluslararası işbirliği ile dünya genelinde son yıllarda kömür kullanımının azaldığı buna karşın petrol ve doğalgaz kullanımından kaynaklanan emisyon

oranlarının %0,6 oranında arttığı görülmektedir. Bu oran, Paris Anlaşması ile üzerinde anlaşılan 1,5 °C sınırının bu hızla aşamayacağı, karbon emisyon azaltımı yapan uygulamalara ve teknolojilere geçişin çok daha hızlı şekilde yapılması gerektiğinin bir göstergesidir (Küresel Karbon Bütçesi, 2019).

Ülkelerin sera gazı emisyonlarının karşılaştırılmasında tarihsel emisyonlardaki payı, yıllık emisyon miktarı, kişi başına düşen emisyon miktarı ve gayri safi yurt içi hasıla (GSYH) başına düşen emisyon oranı gibi bazı göstergeler kullanılmaktadır. Bu göstergelere göre dünyada sera gazı emisyon oranları küresel bazda incelendiğinde ekonomiye yön veren ülkelerin başı çektiğini göstermektedir. Çevre sorunlarının fark edilmeye başlandığı yıllardan günümüze kadar artan nüfus, kentleşme süreci, sanayileşme, teknolojik gelişme, gelişmişlik düzeyi gibi birçok faktör ülkelerin emisyon oranlarını belirlemektedir. Tarihsel bazda incelendiğinde 1850 yılından bu yana dünya kümülatif sera gazı emisyonu içindeki pay Çin, Amerika, Hindistan, Rusya, Japonya, Avrupa birliği ülkeleri gibi ülkeler arasında görülmektedir. Bu ülkeler tarihsel emisyonların %70 inden sorumludur. Nitekim Küresel Karbon Bütçesi 2019 raporunda en fazla sera gazı emisyonu yapan ilk 20 ülke aşağıdaki çizelgedeki gibidir: (Arı, 2010).

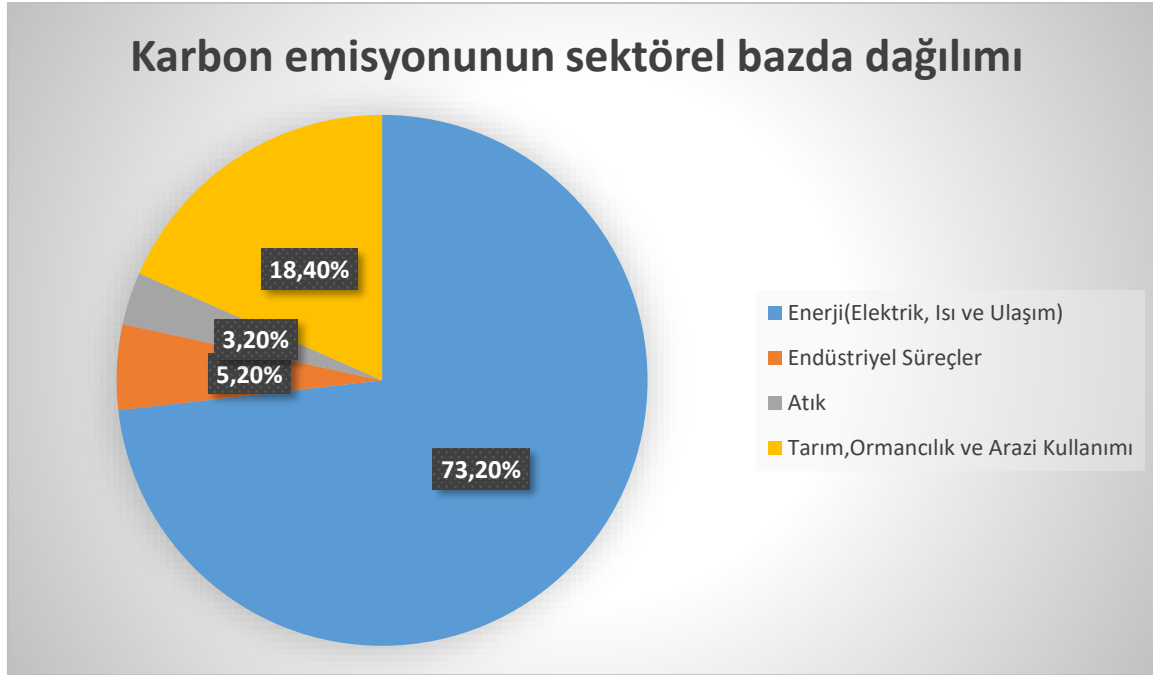
Çizelge 2.1: Ülkelerin yıllık emisyon oranları (Milyar ton/yıl)(Küresel karbon atlası, 2019)

Ülke	Karbon salınımı	Ülke	Karbon salınımı
1. Çin	10,1	11. Kanada	0,57
2. ABD	5,4	12. Meksika	0,48
3. Hindistan	2,7	13. Güney Afrika	0,47
4. Rusya	1,7	14. Brezilya	0,46
5. Japonya	1,2	15. Türkiye	0,43
6. Almanya	0,76	16. Avustralya	0,42
7. İran	0,72	17. Birleşik Krallık	0,38
8. Güney Kore	0,66	18. Polonya	0,34
9. S. Arabistan	0,62	19. İtalya	0,34
10. Endonezya	0,61	20. Fransa	0,34

Rapor göz önüne alındığında on yıllardır devam ettiği gibi Amerika ve Çin'in 2019 yılında da yine zirvede oldukları görülmektedir. 2018'de açıklanan ve dünyanın birçok ülkesinden bilim adamlarının ortak yaptığı "Karbon Ayak İzlerinin Küresel Izgara Modeli (GGMCF)"

olarak isimlendirilen çalışmaya göre dünyada karbon ayak izi en yüksek olan ilk 10 ülke ve bu ülkelerin en fazla karbon salınımı yapan şehirleri sıralanmıştır. Çin, Amerika, Hindistan, Rusya, Japonya, Almanya, Güney Kore, İran, Birleşik Krallık ve Kanada'nın ilk 10 sırayı oluşturduğu listede en çok tüketim yapan ekonomisi en büyük şehirlerin birçok küçük ülkeden daha fazla salınım yaptığı tespit edilmiştir (Semtrio, t.y.). Dünya ekonomisine yön veren bu ülkelerdeki teknolojik gelişmeler göz önüne alındığında daha fazla sorumluluk almaları gerektiği düşünülmektedir. Dünya geneline bakıldığında teknolojik ilerlemeyle beraber yenilenebilir kaynak kullanımında günümüze kadar birçok ilerleme kaydedilmektedir. Ayrıca ülkeler arasında sağlanan işbirliği ile yapılan anlaşmalar sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep ve ilgi atmaktadır. Yenilenebilir enerji alanında uluslararası bir ağ olan Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu (REN21)'nda yenilenebilir enerji kaynaklarının, 2020 yılı sonuna kadar küresel elektrik üretiminin tahminen %26'sından fazlasını sağlayacağı belirtilmiştir. Yenilenebilir enerjilere yapılan küresel yatırımların, 2018'deki tüm yatırımların yarısından fazlasını oluşturduğu ve yenilenebilir enerji sektörünün genel olarak 2018'de dünya genelinde 11 milyon civarında (doğrudan ve dolaylı) istihdam sağladığı bilinmektedir. 2018 yılıyla birlikte son dört yıldır fosil yakıt ve nükleer enerji net kurulumları yenilenebilir enerji üretim kapasitesinin gerisinde kalmıştır. Dünya genelinde yaklaşık 100 GW solar enerji santrali (PV) kurularak yenilenebilir kapasite ilavelerinin %55'ini oluşturmuştur. Güneş enerjisini %28 lik bir payla rüzgâr enerjisi ve %11'lik payla hidroelektrik izlemiştir. Genel olarak, yenilenebilir enerji, dünyadaki toplam kurulu enerji üretim kapasitesinin %33'ünden fazlasını oluşturmuş ve yenilenebilir enerji küresel ölçekte kendini kanıtlamıştır (Kayar, İl ve Carlak, 2020).

Karbon emisyonunun insan kökenli kaynakları; fosil yakıt tüketimi, endüstriyel süreç, toprak kullanım hataları olarak bilinmektedir. Fosil yakıtlar doğrudan ve ikincil enerji tüketimi yoluyla karbon emisyon oranlarını arttırmaktadır. Doğrudan enerji tüketimi; elektrik üretimi, ısı üretimi, ulaşım gibi sektörler iken ikincil enerji kaynakları; sanayi, konut, ticari ve elektrik-ulaştırma sektörlerini kapsamaktadır (Işık ve Kılınç, 2010). Sektörlere göre emisyon için elde edilen veriler ışığında, emisyonun sektörler bazındaki dağılımı aşağıdaki grafikte gösterilmektedir:



Şekil 2.3. Karbon emisyonunun sektörel bazda dağılımı (Ritchie ve Roser, 2020)

Grafikte görüldüğü üzere enerji sektörü toplam emisyonların neredeyse dörtte üçünü oluşturmaktadır. Enerji sektörünün içerisinde yer alan elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonlar, demir çelik endüstrisi (%7,2), kimya ve petrokimya (%3,6), gıda ve tütün (%1), demir içermeyen metaller (%0,7), kağıt ve kağıt hamuru (%0,6), makine (%0,5), diğer endüstri (%10,6) olarak endüstri bazında özetlenebilir. Endüstride enerji kullanımını toplam %24,2'lik bir paya sahipken, taşımacılık %16,2, binalarda enerji kullanımını %17,5, dağıtılmamış yakıt yanması (%7,8), enerji üretiminden kaynaklanan kaçak emisyonlar %5,8, tarım ve balıkçılıkta enerji kullanımını (%1,7) diğer emisyon kaynaklarını oluşturmaktadır (Ritchie ve Roser, 2020).

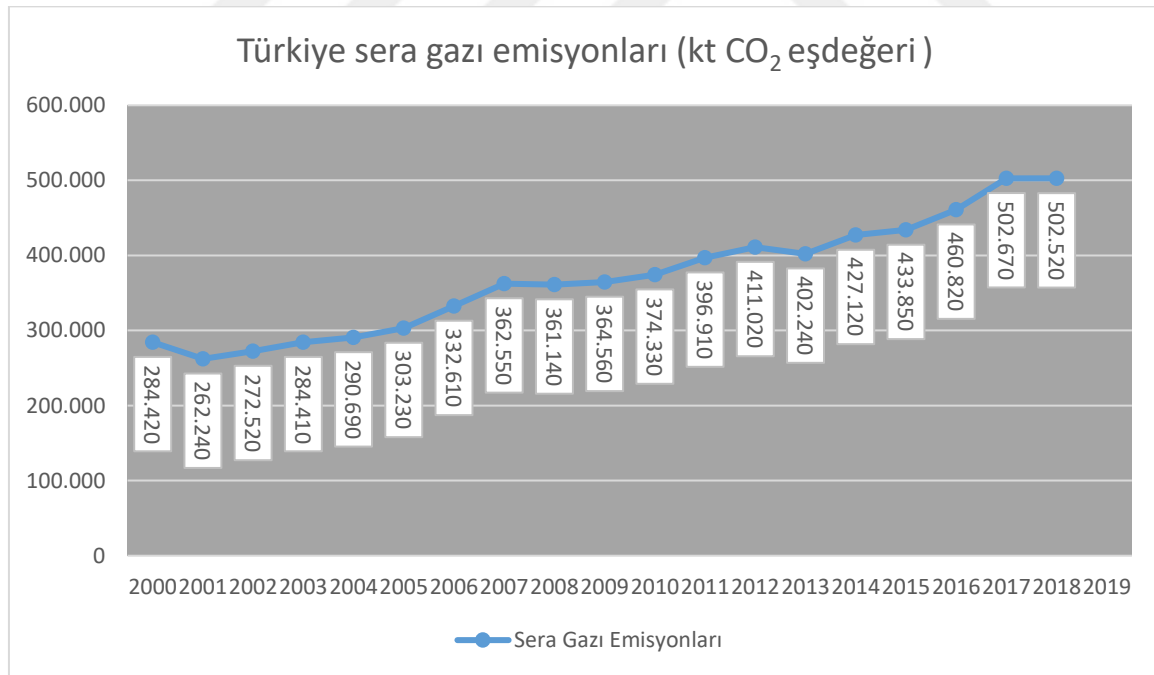
Genel olarak karbon emisyonlarının birçok sektörden geldiği görülmektedir. Bu halde her bir sektörün elini taşın altına koyması, enerji kullanımlarını karbondan arındırarak sıfır emisyonla yapacak teknolojilere yatırım yapması gerekmektedir. Fakat endüstrilerde temel amaç kar maksimizasyonu sağlamaktır. Halbuki uzun vadede yenilikçi teknolojilere yapılan yatırım hem kar maksimizasyonu sağlayacak hem de salınan emisyon miktarını azaltarak gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya sunmaya katkıda bulunacaktır.

2019 yılında başlayıp tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgını sebebiyle uygulanan dışarı çıkma yasakları gibi kısıtlayıcı önlemlerin çevreyi pozitif etkilediği gözlemlenmiştir. Hava kalitesinin iyileşmesi, atık miktarının azalması ve sahillerin temizlenmesinin yanı sıra sera gazlarının salınımı da azalmıştır. Ulaşım sektörünün minimal düzeye inmesi, restoran ve kafelere talebin azalması, kalabalık olan büyük oteller yerine daha sakin ve küçük

otellerin tercih edilmesi ile birlikte turizm ve tarım kaynaklı sera gazı emisyonlarında aşağı yönlü bir ivme yaratmıştır. Pandemi döneminde insanların evlerinde olması hava, kara, deniz ulaşımını durdurma noktasına getirdiği için enerji türleri içerisinde en çok etkilenen yakıt petrol olmuştur. Bu dönem içerisinde alınan sağlık önlemleri, özellikle petrol kaynaklı emisyonların düşüşüne yol açacağını göstermiştir. Özellikle sera gazı salınımindan sorumlu ülkelerde Covid-19 pandemi sürecinde karbon emisyonunda büyük düşüşler gözlenmiştir. Bu, Covid-19 pandemi sürecinde günlük küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının 2006 seviyelerine düştüğü anlamına gelmektedir. Çin, Amerika, Avrupa Birliği ülkeleri ve Hindistan gibi dünyanın sera gazı emisyonlarında etkili olan ülkelerinin pandemi sürecinde emisyon oranlarındaki düşüşle beraber bir önceki yılın aynı dönemine göre global ölçekte %8,5 oranında azalış gözlenmiştir. Salgın sürecinde Çin'de %8,8, ABD'de %7,9, Avrupa'da %12,5, Hindistan'da %7,2, Japonya'da %4, Rusya'da %4,3, Brezilya'da %9 ve dünyanın geri kalanında %7 oranlarında düşüş gözlenmiştir. Ancak bu durum ekonomik, ulaşım veya enerji sistemlerindeki yapısal değişiklikleri yansıtmadığından aşırı düşüşlerin geçici olduğu tahmin edilmektedir. Yapılan çalışmalar 2020 yılında ortaya çıkan salım miktarının bir önceki yıla oranla %4 ile %7 arasında azalacağını öngörse de bu azalışın dünyanın Birleşmiş Milletler Paris Anlaşması hedeflerini karşılama yeteneğinde kayda değer bir fark yaratmayacağını göstermektedir (Öztürk, 2020). Covid-19 pandemisinin 2020 yılında CO<sub>2</sub> emisyonlarında daha önceki tüm dönemlere kıyasla daha fazla azaltım sağlamasına rağmen Birleşmiş Milletler Çevre Programı: UNEP'in hazırladığı rapora göre, küresel ısınmayı 1.5 °C ile sınırlayabilmek için, global karbon emisyonlarımızda her sene %7.6 düşüş yaşanması gerekmektedir. Fakat pek çok işletmenin kapandığı ve insanların mümkün olduğunca evlerinden çıkmadığı bu olağanüstü durumda dahi, emisyonlar ancak %5.5 azalabildiği belirlenmiştir (Sancar ve Bostancı, 2020).

### 3. TÜRKİYE’NİN KARBON AYAK İZİ

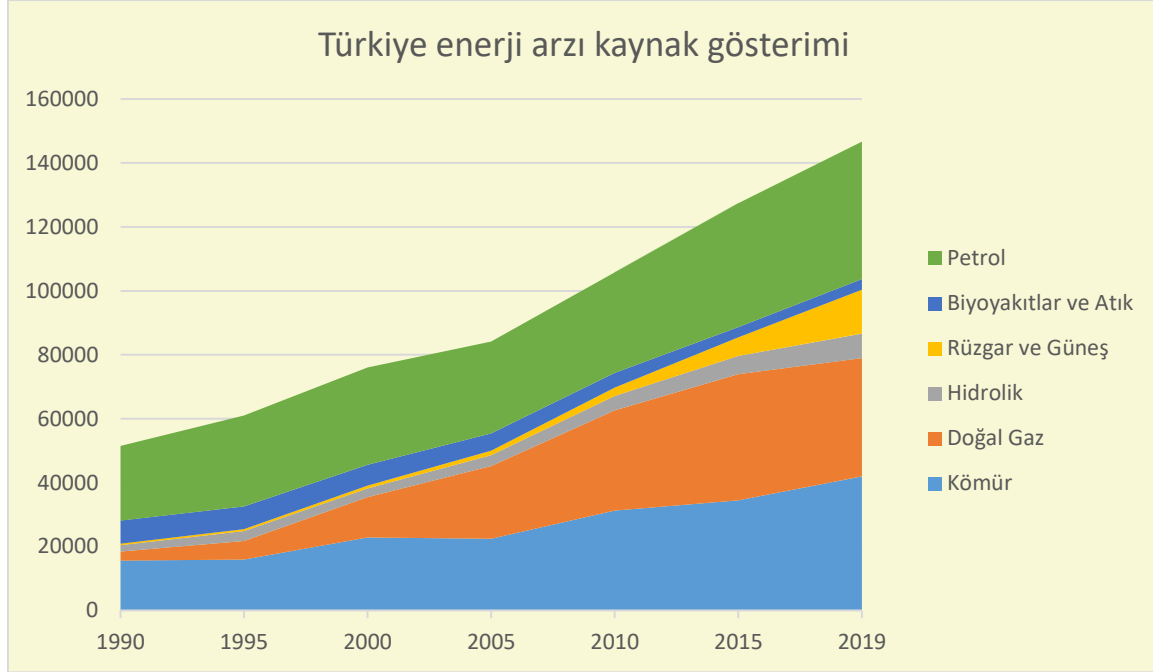
Hızlı nüfus artışının gerçekleştiği gelişmekte olan ülkelerde, sanayileşme sürecinin katkısıyla enerji ihtiyacı fazla olmaktadır. Jeopolitik konumu itibarıyla Avrupa ile Asya arasında bir köprü görevi gören Türkiye, genç nüfusu, kentleşme oranı, sanayileşme çalışmaları ile hızlı büyüyen gelişmekte olan ülkelere biridir. Öte yandan Türkiye bulunduğu coğrafya sebebiyle Avrupa ile büyük petrol kaynaklarına sahip Orta doğu ülkeleri arasında enerji anlamında da bir koridor olarak görülmektedir. Türkiye her geçen gün büyüyen sanayi sektörü ile yurt içinde giderek artan enerji ihtiyacı sebebiyle dışarıdan enerji ithal etmektedir. Ana enerji kaynağı olarak ham petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtları kullanan Türkiye neden olduğu karbon salınımı ile çevre kalitesini düşürmektedir. İleride yaşanacak çevresel felaketlerin en fazla hissedileceği ülkeler kategorisinde ilk sıralarda gelişmekte olan ülkeler bulunmaktadır. Her yıl atmosfere yayılan karbon oranında Türkiye’nin dünyadaki payı %1 olarak hesaplanmaktadır. Çoğu ülkede olduğu gibi ülkemizde de ekolojik ayak izinin büyük bir kısmını karbon ayak izi oluşturmaktadır. Aşağıdaki grafik Türkiye’nin son yirmi yıldaki karbon emisyon oranını göstermektedir:



Şekil 3.1. Türkiye’de sera gazı emisyon oranları (Dünya Bankası, Dünya gelişmişlik indikatörleri, 2021)

Grafik Türkiye’nin karbon emisyonunun artış eğilimine devam ettiğini göstermektedir. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sürecinin hızlandırılması ile tersine çevrilebilir. Çünkü Türkiye çok sayıda potansiyel enerji kaynaklarına sahip bir ülke

olmasına rağmen hala birincil enerji kaynağı olarak fosil yakıtlardan yararlanmaktadır. Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacak bu potansiyel enerji kaynakları hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal gibi yenilenebilir enerjilerdir. Türkiye ise henüz sadece küçük bir kısmını kullanabilse de, bu kaynakları üretmek için yüksek bir potansiyele sahiptir (Semtrio, t.y.).



Şekil 3.2. Türkiye 'de enerji arzının çeşitlenmesi (IEA, Dünya enerji istatistikleri 2020)

Grafik, Türkiye'nin son 30 yıllık enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan kaynakların dağılımını göstermektedir. Görüldüğü üzere bu talebin karşılanmasında ilk üç sırayı kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı sürdürülebilir çevre planlamaları doğrultusunda olması gereken miktardan çok daha azdır.

Türkiye enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunu ithal etmektedir. Bu oran öyle yüksektir ki, yıllık toplam ithalatın yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır. Türkiye ithal edilen enerji ile yıllık enerji ihtiyacının dörtte üçünü karşılayabilmektedir. Sürdürülebilir kalkınma planları doğrultusunda bir ülkenin enerji ihtiyacını kendisinin karşılayabilmesi gelişmişlik göstergesi olarak düşünülebilir. Ülkemizin yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarından yeterince yararlanamaması ve etkin bir enerji verimliliği çalışması yapılmaması bu zamana kadar dışa bağımlı olarak devam etmemize sebep olmuştur. Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de alternatif enerji kaynakları potansiyeli fazladır. Gelişen teknoloji ve güç elektroniği ile gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payının artacağı düşünülmektedir. Bu artışın 2035 yılında %31'inin elektrik enerjisi üretiminde,



6'sının ulaşımda ve %14'ünün ısıtmada olması tahmin edilmektedir (Yılankırkan ve Doğan, 2020).

1950'li yılların başlangıcından sonra Türkiye'de özellikle İstanbul ve diğer büyükşehirlerde başlayan sanayileşme hızlı bir atılım içine girmiştir. Bu kapsamda sanayi faaliyetleri her geçen yıl canlanmaya başlamış, kullanılan enerji artmış, çevre zarar görmeye başlamış ve atmosfere salınan karbon miktarında ülkemizde pay sahibi olmaya başlamıştır (Doğan, 2013). Nitekim 2018 yılında açıklanan Karbon Ayak İzlerinin Küresel Izgara Modeli ,Gridded Global Model of City Footprints (GGMCF) modelinde karbon ayak izi en yüksek ülkeler ve şehirler sıralamasında Türkiye'den 6 şehir dünyada en yüksek karbon ayak izine sahip ilk 500 kent içerisinde yer almıştır. Aşağıda yer alan çizelge bu şehirleri ve karbon ayak izlerini göstermektedir:

Çizelge 3.1. Türkiye'nin karbon ayak izi en fazla olan kentleri (Semtrio, t.y)

Şehir	Kişi başına düşen Ayak İzi (ton CO <sub>2</sub> )	Nüfus(~)	Ayak İzi (Milyon Ton CO <sub>2</sub> )	Dünya Sıralaması	Ülke Sıralaması
<b>İstanbul</b>	5,2 ± 1,2	13 587 000	70,9 ± 16,0	26	1
<b>Ankara</b>	6,9 ± 2,1	4 269 000	29,3 ± 9,1	80	2
<b>Antalya</b>	8,7 ± 4,0	888 000	7,8 ± 3,5	285	3
<b>Bursa</b>	5,1 ± 2,9	1 365 000	7,0 ± 3,9	318	4
<b>Kayseri</b>	6,5 ± 2,9	875 000	5,7 ± 2,5	385	5
<b>Gaziantep</b>	4,1 ± 2,8	1 198 000	4,9 ± 3,4	454	6

Çizelgede yer alan kentler sanayi, ticaret, ulaşım gibi sektörlerde gelişmiş, işgücüne katılım oranı yüksek olan şehirlerdir. Özellikle İstanbul bir metropol olarak karbon ayak izi sıralamasında önemli bir paya sahiptir. İstanbul'da istihdam edilen nüfusun %62,7'si hizmetler, %36,7'si sanayi ve %0,3'ü tarım sektörü olarak dağılım göstermektedir. Bu oran ülke genelinde %49,4, %26,0 ve %24,6 olarak seyir göstermektedir. Türkiye geneli ile karşılaştırıldığında İstanbul'da hizmetler sektörünün yanı sıra sanayi sektörünün de oldukça önemli olduğu görülmektedir. Sıralamaya giren diğer kentlerimizde de sanayileşme oranı İstanbul gibi ülke ortalamasını yükselten yerlerdir (TC Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018). Özellikle İstanbul, Ankara, İzmir, Kocaeli, Bursa, Adana, Kayseri, Gaziantep, Konya, Denizli, Tekirdağ gibi şehirlerimizde tekstil, gıda, ayakkabı, kürk, giyim sanayi, ağaç-mobilya-mefruşat-orman ürünleri, kağıt-kağıt ürünleri sanayi, petrol-lastik-plastik-kömür türevleri sanayi, kimya sanayi, cam-taş-toprağa dayalı sanayi, metal sanayi, makine sanayi

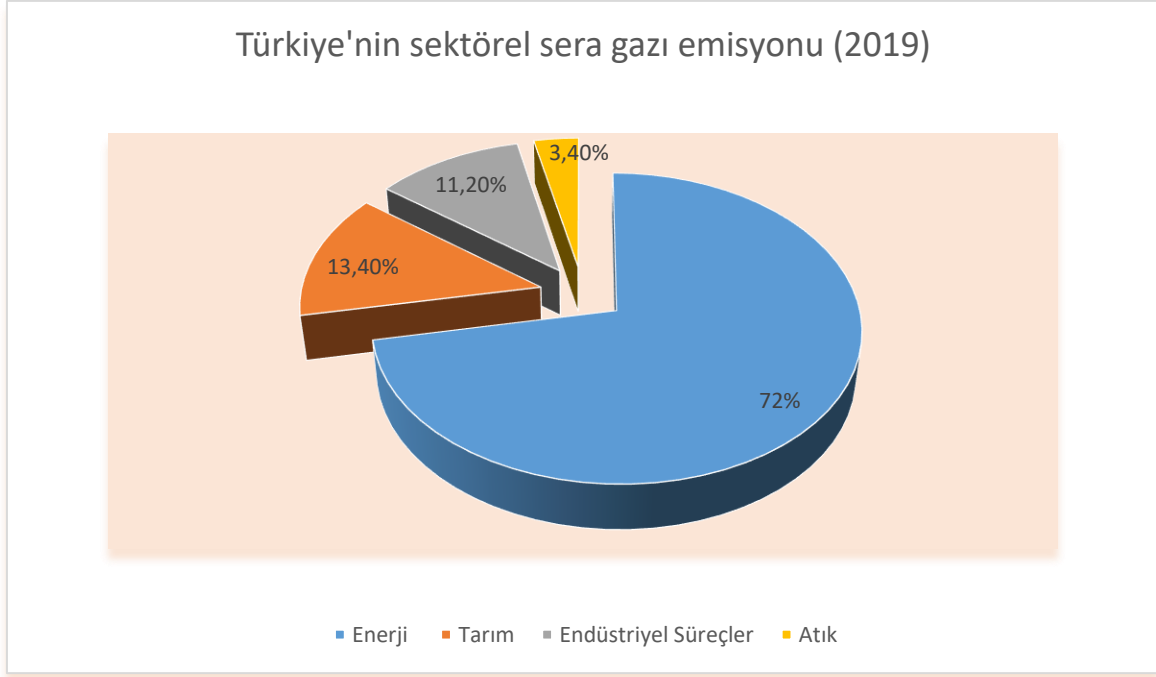
ve diğ er imalat sanayileri Türkiye'nin sanayileş mesinde önemli katkıları olan şehirler olarak sıralanmaktadır (Doğ an, 2013).

Kyoto Protokolüne 2009 yılında katılan Türkiye sera gazı salınımını azaltmayı taahhüt eden ülkelerin olduğu Ek 1 listesinde yer almaktadır. Buna göre ülkemiz büyümesini gerçekleştirirken çevreye duyarlı, emisyonu azaltmaya yönelik projeler gerçekleştirmektedir. Türkiye 2005 yılından bu yana Gönüllü Karbon Piyasası kapsamında çalışmalar yapmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değ iş ikliğ i Bakanlığı, 2012). Bunun yanı sıra Ankara, İzmir, Adana, Bursa ve Aydın olmak üzere 6 büyükşehir belediyesi Paris İklim Anlaş masında kabul edilen "küresel ısınmayı 1,5 derece sınırında tutma hedefine yönelik olarak "İklim İç in Biz Varız" deklarasyonuna imza atmış tır. Bu deklarasyona göre iklim sorununa neden olan etmenlerin ortadan kaldırılması için gerekli çalışmaların yapılması, bu şehirlerde yenilenebilir enerji ve ekolojik tarım uygulamalarına ağı rlık verilmesi gibi uygulamalar kararlaşt ırılmış tır.

Küresel Karbon Bütçesi 2019 Raporunda da Türkiye dünyada en fazla karbon emisyonu yapan 15. ülke olarak açıklanmış tır. 2020 yılı Küresel Karbon Atlası ise 393 metrik ton CO<sub>2</sub> ile 14.sıraya yükselmiş görünmektedir. Rapora göre küresel bazda kömür kullanımının azalmasına rağmen emisyonlardaki artış devam etmektedir. Bu artışın sebebi dünyada petrol kullanımının yükselmesi olarak görölmektedir (Küresel Karbon Atlası [GCB], 2019).

TÜİK hesaplamalarına göre Türkiye'de 2018 yılı kişi baş ı toplam sera gazı emisyonu 6,4 CO<sub>2</sub> eşdeğ eri olarak tespit edilmiş tir. Bu oran 2019 yılında 6,1 ton CO<sub>2</sub> eşdeğ eri olarak hesaplanmış tır. Türkiye'nin 2019 toplam sera gazı emisyonu 2018 yılına göre %3.1 azalmış tır. Yine bu azalış ta kömür kullanımının azalmasının etkili olduğu düşünölmektedir (TÜİK, 2021).

Ülkemizde karbon ayak izinin en önemli sebebinin fosil yakıt kullanımı olduğu bilinmektedir. Türkiye geliş mekte olan her ülke gibi büyümesini gerçekleştirirken artan enerji ihtiyacını fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Fosil yakıt kullanımı ile yayılan sera gazı emisyonlarının sektörel bazda dağı lımını gösteren grafik aşağı da verilmiş tir:



Şekil 3.3. Türkiye'nin sektörel sera gazı emisyonu (TÜİK haber bülteni, 2021)

Grafikte görüldüğü gibi sektörlere göre emisyon oranında %72'lik pay ile ilk sırayı enerji sektörü almaktadır. 1990 yılına oranla %161 artış gösteren enerji kaynaklı emisyon oranı 2018 yılına oranla %2,3 azalarak 364,4 metrik ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Endüstriyel süreçlerin meydana getirdiği emisyonlar 1990 yılına göre %147,1 artarken bir önceki yıla göre ise %14,3 azalarak 56,4 metrik ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Tarım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyon oranları 1990 yılına oranla %47,7 lik bir artış göstermiş, 2018 yılına oranla %4,1 artarak 68 metrik ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Atıklardan kaynaklanan sera gazı emisyonları ise 1990 yılına oranla %55,7 artarken bir önceki yıla göre %5 azalarak 17,2 metrik ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Bu oranların yıllar içindeki değişimini gösterir çizelge aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.2. Türkiye'nin sera gazı emisyonunun yıllar içindeki değişimi (TÜİK, Haber bülteni, 2021)

Yıllar (Milyon ton CO <sub>2</sub> Eşdeğeri)	1990	2018	2019	1990-2019 değişim (%)	2018-2019 değişim (%)
Toplam Emisyon	219,6	522,5	506,1	130,5	-3,1
Enerji	139,6	373,1	364,4	161,0	-2,3

Çizelge 3.2. (Devam) Türkiye'nin sera gazı emisyonunun yıllar içindeki değişimi (TÜİK, Haber bülteni, 2021)

Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımı	22,8	65,9	56,4	147,1	-14,3
Tarım	46,1	65,3	68,0	47,7	4,1
Atık	11,1	18,1	17,2	55,7	-5,0

Enerji kaynakları açısından kısıtlı bir ülke olan Türkiye'de net enerji tüketiminin %52'lik bir pay ile yarıdan fazlası ithal edilmektedir ve bu oran her geçen yıl giderek artmaktadır (Sözen ve ark.,2005:211). Türkiye alternatif enerji kaynakları açısından oldukça yeterli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin ar-ge çalışmaları ve akıllı teknolojiler ile ortaya çıkarılması enerji bağımlılığımızı azaltacaktır.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın 2019 yılı raporunda Türkiye yenilenebilir enerji kapasite büyümesinde dünyada 12. sırada yer almıştır. Aynı kurumun 2021 raporunda Türkiye'nin son on yılda üç katına çıkan yenilenebilir enerji gücünün 2023 yılında açılacak nükleer enerji ile çeşitleneceğinden bahsedilmiştir (IEA, 2019, IEA, 2021). Türkiye'de her geçen yıl yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artmaktadır. Bunun hem hükümet hem de birey olarak sorumluluk olarak desteklenmesi gerekmektedir. Hükümetin karbon ayak izi yüksek olan bölgeleri belirleyerek o bölgeye küçük yatırımlar yapılması bile büyük oranda emisyon azalması sağlayabilir. Şehir düzeyinde alınacak önlemlerle, ulusal ve küresel boyutta anlamlı iyileştirmeler yapılabilir. Elektrikli olmayan araçları sınırlandırmak, %100 yenilenebilir elektrik gerektiren araçları artırmak gibi radikal de-karbonizasyon önlemleri şehir sınırlarının ötesinde önemli miktarda emisyon azalmasına neden olabilir (Semtrio, t.y.).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık emisyon oranlarının azaltımında büyük bir rol oynayacağı herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Bu gerçeğe Türkiye'de uygulanan Gönüllü Karbon Piyasası projeleri ile kapsamında yıllık emisyon azaltımının sektörlere göre dağılımı yapılmıştır. Bu bağlamda en yüksek pay %42'lik bir oranla hidroelektrik santrallerine , %39'luk bir oran ile rüzgâr enerjisine ait olmuştur. En az pay ise %2 ile jeotermal ve rüzgâr santrallerine aittir (ÇŞB, 2012).

Gönüllü karbon piyasası uygulaması gibi yapılabilecek birçok proje ile emisyon azaltımı mümkündür. Ülkemizin iklim koşulları göz önünde bulundurularak yapılacak fizibilite çalışmalarıyla verimli yerlere rüzgar tribünleri kurmak, güneş panelleri ile elektrik enerjisi üreten evler tasarlamak, dalgalardan elektrik enerjisi elde edebilmek için çalışmalar yapmak ve evlerimizde yapabileceğimiz küçük değişikliklerle karbon ayak izimizi azaltmak için herkesin elini taşın altına koyması insani bir sorumluluktur.

## 4. LİTERATÜR ÖZETİ

İktisat yazınında gelişen teknoloji dönüşümüyle birlikte karbondioksit emisyonu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu yenilenebilir enerjiye geçişle birlikte karbon emisyon oranlarının azaltılması yönünde olup bu bağlamda politika önerileri geliştirilmiştir. Ülkeler, bu önerilere bağlı olarak karbon vergisi, emisyon ticareti vb. uygulamalar geliştirmektedir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır:

1955 yılında Simon Kuznets tarafından yapılan ekonomik büyüme ve gelir adaletsizliği ile ilgili çalışma, daha sonraki yıllarda Çevresel Kuznets eğrisi ile tanımlanan çevresel bozulma ve gelir arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar için bir mihenk taşı olmuştur. Kuznets çalışmasında ülkelerin gelir seviyeleri ile büyüme arasında ters u şeklinde bir ilişki olduğunu tespit etmiştir. Kuznets, kişi başına düşen gelirin artmasının ilk etapta gelir eşitsizliğinin artmasına sebep olacağını, belli bir seviyeye kadar bu artışın devam edeceğini, daha sonraki bir eşik noktası ile kişi başına düşen gelir artışının, gelir adaletsizliğinin azaltacağını savunmuştur (Kuznets, 1955). Kuznets' in çalışmasına bağlı olarak yapılan çevre çalışmalarında Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisi kullanılmış ve gelir seviyesi arttıkça çevresel bozulmaların da artacağı fakat bir seviyeden sonra artışın devamı halinde bozulmaların azalacağı yönünde bulgulara erişilmiştir. Gelişmekte olan ülkelerin enerji taleplerinin artmasıyla birlikte çevre kirletme oranlarının yüksek gelirli ülkelere oranla daha fazla olduğu, ülkelerin gelir seviyelerinin artışıyla çevresel bozulmaların azalacağı hipotezi doğrulanmıştır (Carson, Jeon ve McCurbin, 1997, Halıcıoğlu 2009). Kişi başına düşen gelir oranının yükselmesi ile insanların sosyal ve çevresel konulara olan duyarlılığının artışı, çevresel bozulmaların azalmasında etkili olmuştur. Enerji taleplerinin artması ülkelerin enerji tüketimi ile karbon emisyonu arasında doğrudan ters bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Nitekim Alam ve arkadaşları Hindistan'ın enerji tüketimine bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonu ve ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişkiyi inceledikleri çalışmada değişken olarak GSYH, toplam işgücü, sermaye stoku yanında toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyon oranını kullanmışlardır. 1971-2006 dönemi baz alınarak dinamik modelleme yaklaşımıyla zaman serisi analizi kullanılan çalışmada enerji tüketimi, emisyon ve ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişki incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, gelir ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasında Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisi hipotezinin tersine uzun dönemli bir ilişki bulunamamıştır. Enerji tüketimi ile CO<sub>2</sub> arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiş, enerji tüketimi ile gelir arasında ise nedensel bir ilişkiye rastlanmamıştır. Fosil yakıt ağırlıklı enerji tüketen Hindistan için gelir artışını göz ardı etmeden küresel ısınmayı

engellenebilecek enerji tasarrufu politikaları üretilmesi önerilmektedir (Alam, Begum vd., 2011). Arı ve Zeren çalışmalarında panel veri analizi yöntemi ile CO<sub>2</sub> emisyonu ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini test etmeye yönelik Akdeniz ülkelerinin 2000-2005 dönemi verilerinin kullanıldığı çalışmada kişi başına düşen gelir ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasında N şeklinde bir eğri elde edilmiştir. Çalışma sonuçları kişi başına düşen gelir arttıkça CO<sub>2</sub> emisyonunun da belirli bir seviyeye kadar artış gösterdiği, kişi başı enerji kullanımı ve nüfus yoğunluğunun artmasının CO<sub>2</sub> emisyonunu artırdığını göstermektedir. Bu bağlamda firmaların temiz teknolojiler kullanabilmesi için teşvik edici politikalar üretilmesi önerilmektedir (Arı ve Zeren, 2011).

Gelir-çevre ilişkisini inceleyen çalışmalar dışında emisyon oranlarının tahmin edilmesine yönelik farklı metotlarla yapılan çalışmalar mevcuttur. Örneğin; Pabuçcu ve Bayramoğlu 2017 yılında yaptıkları çalışma ile Türkiye ve seçilmiş 28 AB ülkesinin gelecekteki (2020-2030) sera gazı salım değerlerini yapay sinir ağları ile tahmin etmeye çalışmışlardır. GSYH, enerji üretim ve tüketimi, nüfus, ulaşım için kullanılan enerji ve sera gazı salım değerleri gibi birçok değişkenin yer aldığı çalışmada, Türkiye’de var olan koşulların devamı halinde 2030 yılı için 1244,13 mt ile Paris İklim Sözleşmesinde taahhüt edilen emisyon miktarının (929 mt CO<sub>2</sub> eşdeğeri) üzerinde olacağı öngörülmektedir. AB ortalamasının ise 2030 yılı tahmini 151,75 mt olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda Türkiye için yenilenebilir enerji kullanımına geçilerek enerji verimliliğinin artırılması önerilmektedir (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2017). Çam ve arkadaşları çalışmalarını enerji verimliliği üzerine yapmışlardır. 1990-2013 yıllarının gayri safi yurt içi hasıla (GSYH), işgücü başına düşen sermaye stoku, enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyon oranlarının değişken olarak kullanıldığı çalışmada TOPSİS yöntemiyle elde edilen enerji verimliliklerinin yapay sinir ağları modeliyle enerji etkinlikleri tahmin edilmiş, Türkiye’nin enerji etkinliğinin en önemli belirleyicileri işgücü başına sermaye stoku ile toplam enerji tüketimi olmuştur. ARDL sınır testi ile değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki belirlenmiş ve işgücü başına sermaye stoku, GSYH ve enerji tüketiminin enerji verimliliğini pozitif etkilediği, CO<sub>2</sub> enerji verimliliğini negatif etkilediği bulgusuna ulaşılmıştır. Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarına geçerek enerji verimliliğinin artırılması önerilmiştir (Çam, Sigeze ve Ballı, 2018). Hamzaçebi ve Karakurt yaptıkları çalışmada Türkiye’nin 1965-2012 yılları arası enerjiye bağlı CO<sub>2</sub> emisyon verilerini gri tahmin yöntemi ile analiz ederek 2025 yılı için CO<sub>2</sub> salınım değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Analiz sonuçları 2025 yılında atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarının 2010 yılına oranla %64 artış göstererek 496,404 mt’ ye ulaşacağını

göstermektedir. Sonuç olarak gri tahmin yönteminin CO<sub>2</sub> emisyonu tahmininde hem enerji politikaları oluşturmak için hem de iklim değişiklikleri ile ilgili uluslararası anlaşmaların sürdürülebilirliğini sağlamak için kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir (Hamzaçebi ve Karakurt, 2015). Shaik ve arkadaşlarının Türkiye'nin su ve karbon ayak izlerinin mevcut ve gelecekteki tüketimlerini göz önünde bulundurarak azaltılması kapsamında yaptıkları çalışmada bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmıştır. 1990-2013 yılları baz alınarak ARIMA modeli ile 2030 yılı için enerji üretim tahmini yapılmış, mevcut durumun devamı, hükümet planı ve yenilenebilir enerji gelişim planı olmak üzere üç ayrı senaryo kurulmuştur. Mevcut durumun devamı senaryosunda, 2030 yılı için su ayak izi 6,67\*10<sup>11</sup> galon, karbon ayak izi 2,05\*10<sup>8</sup> ton; hükümet planı senaryosunda ilk senaryodan %7,5 daha az su ayak izi ve %28 daha az karbon ayak izi; yenilenebilir enerji gelişim planında ise %31,7 daha az su ayak izi, ve diğer iki senaryoya oranla en düşük karbon ayak izi tahmini yapılmıştır. Su tüketimi ve çekilmesi ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki güçlü korelasyonun yenilenebilir enerji planının doğru yol aldıkça azaldığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda gelecekteki enerji dönüşüm politikaları için yenilenebilir enerji planı senaryosunun hem karbon hem de su ayak izleri açısından bakıldığında diğer senaryolara oranla daha çok dikkate alınması önerilmektedir (Shaik, Küçükvar, Onat ve Kirkil, 2017). Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş birçok çalışma için konu olmuştur. Kaya ve arkadaşları, Kastamonu'nun rüzgar enerjisi potansiyelini yapay sinir ağları ile belirlemeye çalıştıkları çalışmada, bazı rüzgar türbinlerinin veriminin daha iyi olduğunu ve Kastamonu'nun rüzgar potansiyelinin rüzgar türbinleri kurmak için elverişli olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma maliyet göz önüne alınarak, fizibilite yapılabilmesi için önem taşımaktadır (Kaya, Caner ve Oğuz, 2016). Yine rüzgar enerjisi ile hız tahmin çalışması yapan başka bir çalışma Kırbaş'a aittir. 2018 yılında yayımlanan çalışmada, TÜBİTAK T60 teleskobu ile yapılan ölçümlerle zaman serisi analizi yapılmış ve zaman serileri için yapay sinir ağı modelleri ile tahmin çalışması yapılmıştır. Rüzgardan elde edilebilecek elektrik enerjisinin tahmini için rüzgarın gelecek ortalama hızının tahmin edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, NAR yapay sinir ağı modeli ve ARIMA modellerinin rüzgar tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir (Kırbaş, 2018). Çoban ve Şahbaz Kılınç 2015 yılında yaptıkları çalışmada, kişi başı yenilenebilir enerji tüketimi, GSYH ve kişi başı karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. 1990-2012 yılları arasında enerjiden kaynaklanan kişi başına karbon miktarı, kişi başına düşen GSYH ve kişi başına düşen yenilenebilir enerji miktarı arasındaki ilişkiler zaman serisi analizleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Analiz sonuçları; kişi başına düşen yenilenebilir enerji miktarı ile kişi başına düşen karbon salınımı arasında



negatif yönde, kişi başı GSYH ile kişi başı karbon salınımı arasında pozitif bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Elde edilen ampirik sonuçlara uygun yenilenebilir enerji politikaları oluşturmak için jeotermal kaynakların korunmasına yönelik stratejiler belirlenmiştir (Çoban ve Şahbaz Kılınç, 2015). Karabağ ve arkadaşlarının, Türkiye'nin %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yolundaki durumunu inceledikleri çalışmada gelecekle ilgili öngörülerde bulunulmuş, alternatif enerji kaynaklarına geçiş için izlenecek yollar irdelenmiştir. Çalışma, 2007-2018 yılları arasındaki elektrik üretiminde son on yılda yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının %19'dan %32,1'e yükseldiğini, Türkiye'nin yenilenebilir enerjiye geçişte pozitif bir ivme gösterdiğini belirtmektedir. Gelecek planlaması için bilim temelli, verimlilik esaslı doğru politikalarla bir enerji sistemi kurulması Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde dışa olan bağımlılığının azalacağı düşünülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli çok yüksek olan bir ülke olarak Türkiye'nin yerel yönetimlerle işbirliği içerisinde iklim eylem planları geliştirmesi, tüm ulaşım sistemlerinin ve binaların enerji verimliliğine uygun hale getirilmesi, özellikle jeotermal kaynakların ortaya çıkarılması için ödenek ayrılması gibi öneriler sunulmuştur (Karabağ, Çobanoğlu ve Öngen, 2021). Mercan, zaman serisi analizi kullanarak Türkiye için karbon emisyonu tahmini yaptığı çalışmasını 2016 yılında yayınlamıştır. Bu çalışmada TÜİK'ten alınan 1990-2013 yıllarına ait sera gazı verileri kullanılmış ve 2030 yılına kadar doğrusal, parabolik, kübik ve üstel sera gazı tahminleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Avrupa Komisyonu'nun PRIMES modeli ile uyumlu olduğunu göstermektedir (Mercan, 2016).

Karbon emisyon oranlarının tahminine yönelik uygulamalar dünyada birçok bilim insanı tarafından çalışılmıştır. Rezaei ve arkadaşları, Finlandiya, İsveç, Danimarka ve Norveç'i kapsayan dört İskandinav ülkesinin karbon emisyon tahminini yapay sinir ağları yönteminin yapay veri işleme algoritması (GMDH) üzerinden modellemeye çalışmışlardır. 1999-2016 yıllarının baz alındığı çalışmada birincil enerji tüketimi, kullanılan yakıt türleri ve GSYH değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma sonuçları GMDH algoritmasının karbon emisyon tahmini için %99 ( $R^2=0,998$ ) oranla uygun olduğunu ve tahmin değerlerinin gerçek değerlere çok yakın olduğunu göstermektedir. Girdi olarak kabul edilen değişkenlerin İskandinav ülkelerinin emisyon değeri tahmini için etkili faktörler olduğu gösterilmiştir (Rezaei, Sadeghzadeh, Nazari, Ahmedi ve Astarai, 2018). Jafarullah ve King ise çalışmalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Amerika Birleşik Devletleri'ne ait 1965-2012 yılları arası verilerinin kullanıldığı araştırma CO<sub>2</sub> emisyonu, nükleer enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi

ve reel GSYH değişkenlerinin arasındaki ilişki vektör hata düzeltme modeli (VECM) kullanarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda; nükleer enerji tüketiminin CO<sub>2</sub> üzerinde önemsiz fakat pozitif etki yaptığı, enerji fiyatları ile emisyonlar arasında negatif ilişki, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ile ise CO<sub>2</sub> emisyonlarının önemli ölçüde azalabileceği tespit edilmiştir. Önceki çalışmaların yeniden değerlendirilmesi şeklinde yapılan çalışmada nükleer enerji kullanımı yerine yenilenebilir enerji kullanımına teşvik verilmesi ve karbon vergisi uygulaması yapılarak emisyon oranlarının azaltılabileceği önerileri sunulmuştur (Jaforullah ve King, 2015). Wang ve Ye, 2014-2020 yılları arasında kullanılan fosil ağırlıklı enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonunu tahmin etmeye çalışmışlardır. ARIMA ve doğrusal olmayan gri tahmin modelinin kullanıldığı çalışma, ekonomik büyümenin yavaş, orta ve yüksek hızla seyrettiği dönemlerde karbon emisyonu üzerindeki etkilerini göstermekte ve çözüm önerileri sunmaktadır (Wang ve Ye, 2017). Dünyanın en çok sera gazı yayan ülkelerinden biri olan Çin’de yapılan bir araştırmada enerji yoğunluğunun CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltıcı etkisi bulunduğu tespit edilmiştir. Zhang ve diğerleri Çin’in enerji kullanım yoğunluğunun CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkisini 1991-2006 verilerini baz alarak ayrıştırma yöntemi ile incelemiş ve ekonomik faaliyetlerin sera gazı emisyonu üzerinde etkili olduğu, ekonomik yapının ise CO<sub>2</sub> emisyon yoğunluğundaki değişikliklere çok az katkı yaptığı bulgusuna ulaşmışlardır (Zhang, Mu ve Ning, 2009). Li ve meslektaşları tüm ülkeyi temsilen fosil yakıt kullanımının yaygın olduğu Pekin-Tianjin-Hebei bölgesinin emisyon oranları üzerinde çalışmışlardır. Gri tahmin modeli ve aşırı makine öğrenimini ile destek vektör makinelerinin bir hibriti olan (SVM-ELM) modelini geliştiren Li ve arkadaşları, bölgede kullanılan enerji tüketiminin karbon emisyonu üzerinde ciddi etkileri olduğunu tespit etmişlerdir. İlk olarak gri tahmin modeli ile 2017-2030 yılları arasındaki karbon emisyon tahmini yapılmış, buradan elde edilen tahmin sonuçları destek vektör makineleri için girdi olarak kullanılmıştır. Bulgular SVM-ELM yönteminin yalnızca destek vektör makineleri (SVM) veya aşırı makine öğrenimi (ELM) ile kıyaslandığında emisyon oranlarında daha yüksek doğrulukla tahmin yapabildiğini göstermektedir. Ulaşılan sonuçlar 2027 yılından sonra bölgedeki emisyon oranının 97 milyon tona ulaşacağını göstermektedir. Araştırmacılar bu sebeple hükümetin temiz enerjiye teşvik için politikalar geliştirmesini önermektedir (Li, Wang, De, Zi ve Tan, 2018). Yine destek vektör makineleri kullanılarak yapılan Kavaklıoğlu’nun çalışmasında Türkiye’nin elektrik tüketiminin tahmini yapılmaktadır. Nüfus, gayri safi milli hasıla (GSMH), ihracat ve ithalat ile kullanılan enerji miktarının değişken olarak belirlendiği çalışmada, Türkiye’nin birincil enerji talebi, modelleme ve tahmin yeteneği yüksek olan destek vektör regresyonu (SVR) yöntemi ile

tespit edilmiştir. Elektrik tüketimi tahmini için 1975-2006 yıllarına dayalı bir model oluşturulmuş ve 2026 yılına kadar elektrik tüketim tahminleri yapılmıştır. Araştırma, Türkiye’de elektrik tüketiminin destek vektör regresyonları kullanılarak modellenilebilmesi ve tahmin edilebilmesi açısından önem taşımaktadır (Kavaklıoğlu, 2010). Yu ve Zhang’ın 2021 yılı çalışmasında Çin’in 2060 yılı nötr karbon hedefi göz önüne alınarak yapılan çalışmada, enerji verimliliğinin artırılarak karbon emisyonunun azaltılması için pilot şehir uygulamasına gidilmiştir.63’ü Çin’in doğu bölgesinde 8’i de batı bölgesinde olmak üzere 71 pilot şehirde başlatılan karbon emisyonu azaltıcı uygulamalar ile karbon emisyon verimliliği üzerine yapılan bu çalışmada 2003-2018 yılları ile 251 şehri kapsayan panel veri seti kullanılmıştır. Karbon emisyon verimliliğini ölçmek üzere veri zarflama modeli kullanılmış ve düşük karbonlu pilot şehir uygulamalarının karbon emisyonu üzerinde %1,7 ve %2,7 gibi büyük ölçüde olumlu etki yarattığı bulgusuna erişilmiştir. Düşük karbonlu şehir uygulamalarının tüm ülke çapında yaygınlaşarak bunlara uygun altyapı çalışmaları yapmak, uygulama için paydaşlar arasındaki entegrasyonun sağlanması, düşük karbonlu endüstriler ve teknolojiler geliştirilmesi çalışmanın politika önerileri olarak sıralanmaktadır (Yu ve Zhang, 2021).

Hertwich ve Peters’in araştırmaları, dünyayı toplam 14 bölgeye ayırarak 73 ulusun karbon ayak izi ölçümünü yapmak üzerine olup, ayak izi; inşaat, barınma, giyim, hizmet sektörü ve ticaret gibi kategorilere ayrılmıştır. Çok yönlü giriş-çıkış modeli (MRIO) ile CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazları emisyonu küresel ticaret analizi kapsamında tahmin edilmiştir. Coğrafi özellikleri benzer ülkeler bir araya alınmış ve tahminleri ağırlıklı ortalamaları olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucunda kişi başına düşen yaklaşık karbon ayak izi miktarı Afrika ülkeleri için 28 t/yp, Amerikan ülkeleri için 33t/yp ve Türkiye için 4.6 t/yp olarak tespit edilmiştir. Tüketim harcamaları ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasında güçlü bir korelasyona rastlanırken, gıda sektörünün emisyon miktarı üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçları zengin ülkelerin fakir ülkelere oranla sera gazı salınım oranlarının düşük olduğunu göstermektedir (Hertwich ve Peters, 2009). Pandey ve arkadaşlarının nitel bir araştırma olarak sundukları karbon ayak izinin mevcut yöntemlerle tahmini çalışması geniş bir literatür taraması ile birlikte farklı hesaplama yöntemlerini de içermektedir. Birçok ülkelerin işletmeleri, faaliyetleri, organizasyonları için yapılan CO<sub>2</sub> emisyonlarının oranlarını da gösteren çalışma farklı hesaplamaların bölgesel veya hesaplama yönteminden kaynaklandığını belirtmektedir. Karbon ayak izi hesaplamalarının ticarileştirilmesi sebebiyle denetimin gerekli olduğu, bu hesaplamaları yapan kurumların

şeffaf ve sürdürülebilir kalkınmayı hedef alarak teşvik edilmesi gerekliliği önerilmiştir (Pandey, Agrawal ve Pandey, 2011). Vieilledent ve diğerleri Madagaskar'ın ormansızlaşma ve karbon emisyon oranlarını ülkeyi 5 ayrı bölüme ayırarak incelemişlerdir. 2000-2010 yıllarının eğitim seti olarak kullanıldığı çalışmada bitki örtüsü yedi bölüme ayrılarak 2030 yılı için ormansızlaşma ve emisyon tahmini yapılmıştır. Ormansızlaşmanın tahmininde ayrılan bölgelerin ormansızlaşma konumu ve yoğunluğunda lojistik regresyon yöntemini kullanan Vieilledent ve arkadaşları demografik değişken olarak nüfusu kullanmışlardır. 2030 yılına dek tahmin yapılan çalışma sonuçları, karbon emisyonu ile ormansızlaşma oranı arasında büyük oranda bir ilişki olduğunu, ormansızlaşma oranı arttıkça emisyon miktarının artış gösterdiğini göstermiştir (Vieilledent, Grinand ve Vaudry, 2013). Sarkodie ve Owusu, Sri Lanka'nın enerji kullanımı ile karbon ayak izi arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Sri Lanka'nın GSYH, nüfus, finansal gelişmişlik, sanayileşme oranı ve karbon emisyonlarının değişken olarak ele alındığı çalışmada yapay sinir ağları ve ARDL regresyon analizi kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ile 1971-2012 yılları arasındaki enerji kullanımı tahmini yapılmış ve granger nedensellik testi ile karbondioksit emisyonundan enerji kullanımına doğru tek yönlü bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Karbondioksit emisyon oranı, nüfus, sanayileşme ve finansal gelişmişlik ile enerji kullanımı arasında uzun dönemli bir ilişki tespit edilmiştir. Çalışma Sri Lanka'nın gelecek enerji taleplerinin tahmini için önem taşımaktadır (Sarkodie ve Owusu, 2016). Dwyer ve arkadaşları karbon ayak izini sektör olarak spesifikleştirmiş ve Avustralya turizminin karbon ayak izinin tahminine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çoğunlukla fosil kaynaklarla faaliyet sürdüren turizm sektörü için Avustralya turizm uydu hesabından alınan veriler ışığında Avustralya turizminden kaynaklanan sera gazı emisyonları 2003-2004 yılları için tahmin edilmeye çalışılmıştır. Uydu hesabından elde edilen verilerle oluşturulan üretim ve harcama temelli yaklaşımlar farklı hesaplama sonuçları vermektedir. Üretime dayalı sera gazı emisyon miktarı 54,4 mt, harcama temelli yaklaşım ile tahmin edilen sera gazı emisyon miktarı ise 61,5 mt olarak hesaplanmıştır. Diğer sektörlerle kıyaslandığında Avustralya turizminin karbon ayak izinin %3,9 ile %5,3'lük bir pay oluşturduğunu belirten çalışma Avusturya hükümetinin Kyoto protokolleri için kapsamında uluslararası havacılıktan kaynaklanan herhangi bir taahhüdü olmamasına rağmen 2050 yılı için emisyonların 2000 yılına göre %60 oranında azaltılacağını, bu doğrultuda politikalar geliştirilmesi gerektiği sonucuna varmaktadır (Dwyer, Forsyth, Spurr ve Hoque, 2010). Kunda ve Phiri, 2017 yılında yaptıkları çalışmada Zambiya'nın karbon emisyon oranını veri madenciliği teknikleri kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Dünya bankasından elde edilen verilerle SMOreg algoritması kullanarak

yapılan trend analizi yapılmıştır.1971-2014 yılları arasında sektörlerden kaynaklanan emisyon oranlarının belirlendiği çalışma, Zambiya’da en yüksek emisyon oranına %50,9’luk bir pay ile imalat ve inşaat sektörünün olduğunu göstermektedir. Bunu %31,7 ile ulaşım, %6,7 ile elektrik ve ısı üretimi, %7,1 ile ticaret, ve kamu hizmetlerinin izlediğini tespit eden çalışmada, 2017-2021 yılları için tahmin yapılmış ve bu yıllar için imalat, ulaşım ve inşaat sektörlerinin yukarı yönde seyredebileceği, konut, ticaret ve diğer sektörlerde ise aşağı yönde bir hareket olabileceği tahmin edilmiştir. Bu çalışmada, Zambiya için en fazla karbon salınımı yapan ulaşım sektörünün yeniden ele alınması, karbon vergisi, toplu taşıma ve araç yaşının kontrolü gibi emisyonu azaltıcı uygulamalar önerilmiştir (Kunda ve Phiri, 2017).

Pao ve arkadaşları ise Çin Halk Cumhuriyeti’nin 1980-2009 yılları arasındaki karbon emisyon verilerini kullanarak 2009-2020 yılları için emisyon tahmininde bulunmuşlardır. Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelinin (NGBM) kullanıldığı çalışmada, enerji tüketimi, reel GSYH ve CO<sub>2</sub> oranları indikatör olarak kullanılmıştır. ARIMA, GM (1, 1) ve NGBM-OP gibi üç ayrı karşılaştırmalı yöntemin kullanıldığı çalışma sonuçları ele alındığında, NGBM-OP modelinde ARIMA ve GM (1, 1)’e göre daha yüksek MAPE değeri elde edilmesi, bu yöntemin diğerlerine oranla yüksek tahmin değerleri verdiğini göstermektedir. Bu çalışma karbon emisyon tahmininin yanı sıra enerji tüketimi, reel GSYH ve emisyon oranı arasında uzun vadede bir denge ilişkisi olduğunu göstermektedir (Pao, Fu ve Tseng, 2012). Behrang ve arkadaşlarının 2011 yılında yapmış oldukları araştırmada, karbon emisyon tahmini çok katmanlı yapay sinir ağı ve arı algoritması ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Değişken olarak dünya nüfusu, birincil enerji talepleri, petrol ve doğalgaz ticareti hareketleri, gayri safi yurtiçi hasıla gibi birçok sosyoekonomik indikatörün kullanıldığı araştırmada, 1980-2006 dönem verileri kullanılarak 2007-2040 arası döneme ait bir tahmin değeri oluşturulmuştur. İki aşamadan oluşan çalışma için öncelikle GDP, nüfus, petrol ve doğalgaz ticaret hareketleri arı algoritmasına bağlı olarak girdi değişkeni olarak kullanılmış ve petrol, doğal gaz, kömür tüketimleri ve birincil enerji tüketimleri çıktı olarak alınmıştır. İkinci adımda ise ilk adımın çıktı değişkenleri kullanılarak CO<sub>2</sub> emisyon değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. İlk adım için iki ayrı senaryo kullanılmış; ilk senaryoda uydurulmuş polinom değerleri ile belirlenen bir lineer model, ikinci senaryoda ise eğitilip test edilen yapay sinir ağları modeli ile her bir girdi değişkeninin tahmin sonuçları çıkarılmıştır. İlk senaryo için tahmin edilen CO<sub>2</sub> emisyon değeri, 77,027 mt, ikinci senaryo için 75,611 mt olarak belirlenmiştir. Sonuçlar kullanılan iki ayrı modelin de emisyon oranları, fosil yakıtlar ve enerji tüketimi için başarılı sonuçlar verdiğini, bu çalışmadan faydalanılarak politika

yapıcıların enerji planlaması uygulamalarına gidebileceğini göstermektedir (Behrang, Assareh, Assari ve Ghanbarzadeh, 2011). Jones ve Kammen, Amerika hane halkı ve toplumu için karbon ayak izi azaltılması ile ilgili yaptıkları çalışmada karbon ayak izine sebep olan tüm değişkenleri enerji, ulaşım, atık, su, gıda, mal ve hizmetler kategorilerine ayırarak karbon ayak izi hesaplama yöntemleri ile hesaplamış ve çalışma sonucunda marjinal azaltma maliyet eğrilerini çıkararak karbon ayak izi tasarrufu yapılabilecek alanlar belirlemiştir. Çalışmaya göre; yakıt tasarrufu sağlayacak araçlar satın almak, araçlarda eko-sürüş tekniğini kullanmak, bireysel araçlar yerine bisiklet veya otobüs kullanmak, uçuşları %20 oranında azaltmak, buzdolabı seçerken enerji tasarrufu sağlayana yönelmek, termostatı etkin ve verimli kullanmak gibi birçok küçük değişiklikle karbon tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir (Jones ve Kammen, 2011). Lam ve arkadaşlarının 2010 yılında karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik yaptıkları çalışma dikkat çekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir çeşidi olan biyokütle enerjisinin artırılarak karbon ayak izinin azaltılmasını öngören bu çalışmada biyokütle tedarik zinciri üzerinde kümeleme yaklaşımı uygulanmıştır. Böylece biyokütle transferinin max verim ve min karbon emisyonu ile bölge kümelerine ayrılması sağlanmıştır. Enerji tedarik zincirinde biyokütlenin transfer akışını bir vaka ile anlatan bu çalışmada biyokütlenin toplanması, taşımacılığı, depolanması, potansiyel biyokütle enerjisine dönüşmesi, ısıtma değeri, arz ve talebine yönelik tüm basamaklar REC algoritması ile optimize edilmiştir. Çalışma biyokütle transfer akışında karbon ayak izini minimum kılacak bir tedarik zinciri önererek, enerji planlaması ve yönetimi açısından önem arz etmektedir (Lam vd., 2010).

Yukarıda bahsedilen önceki çalışmalardan da anlaşılacağı üzere Türkiye için sera gazı tahmini konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca çalışmaların çoğunda karbon emisyon oranının tek bir parametre üzerinden tahmin edilmeye çalışıldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu kapsamlı çalışmada, sera gazı emisyon oranına etkisi olduğu düşünülen çeşitli parametreler kullanılarak bu açığın giderilmesi amaçlanmaktadır.

## 5. MATERYAL VE METOT

### 5.1. Veri Seti

Çalışmanın bu bölümünde kullanılan veri seti ve yöntemler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler literatür taraması sonucunda elde edilen CO<sub>2</sub> emisyonunun güçlü belirleyicileri arasından seçilmiştir. Seçilen değişkenler karbon salınımını büyük ölçüde etkileyen nüfus, birincil elektrik tüketimi, gayri safi yurt içi hasıla(GSYH) ve elektrik üretimidir. Bu değişkenler 1990-2017 dönemi baz alınarak 2018-2030 yılları tahmini için kullanılmıştır. Çalışma için kullanılan değişkenler aşağıdaki kaynaklardan elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait içerik

Değişkenler	Tanımlar	Kaynak
Nüfus	1990-2007 yılları arası Türkiye nüfusu	Nüfus-Birleşmiş Milletler Ulusal Hesaplar <a href="https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic">https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic</a>
GSYH	2010 yılı sabit fiyatlarıyla, USD cinsinden	Birleşmiş Milletler Ulusal Hesaplar <a href="https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic">https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic</a>
Birincil Elektrik Tüketimi	Milyon ton petrol eşdeğeri	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Denge Tabloları <a href="https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları?page=1">https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları?page=1</a> Business Data Platform <a href="https://www.statista.com/statistics/892848/primary-energy-consumption-turkey/">https://www.statista.com/statistics/892848/primary-energy-consumption-turkey/</a>
Elektrik Üretimi	GWH	Türkiye İstatistik Kurumu Enerji İstatistikleri <a href="http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029">http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029</a>
Sera Gazı Emisyon Oranı	Milyon ton CO <sub>2</sub> eşdeğeri	Türkiye İstatistik Kurumu Çevre İstatistikleri <a href="http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019">http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019</a>

Çalışmada kullanılan veriler Çizelge 5.2’de gösterilmektedir;

Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan veri seti

Yıllar	Nüfus	GSYH (ABD doları)	Birincil Enerji Tüketimi (milyon ton petrol eş değeri )	Enerji Üretimi(GWh)	Sera gazı emisyon oranı (Million tonnes of CO <sub>2</sub> equivalent
1990	53 921 699	363 953 141 840	52 465	57 543	219 202
1991	54 840 531	367 325 226 581	53 262	60 246	226 578

Çizelge 5.2. (Devam) Çalışmada kullanılan veri seti

1992	55 748 875	389 307 006 602	55 698	67 342	232 802
1993	56 653 729	420 615 154 835	59 471	73 808	240 149
1994	57 564 132	397 667 810 036	58 238	78 322	234 127
1995	58 486 381	426 264 971 410	62 968	86 247	247 585
1996	59 423 208	456 126 194 264	68 717	94 862	267 232
1997	60 372 499	490 467 027 515	72 614	103 296	278 607
1998	61 329 590	505 631 597 875	73 306	111 022	280 288
1999	62 287 326	488 494 200 606	72 451	116 440	277 759
2000	63 240 121	520 930 514 794	73 500	124 922	298 890
2001	64 191 474	489 871 019 020	66 900	122 725	280 411
2002	65 143 054	521 371 090 335	73 100	129 400	286 073
2003	66 085 803	550 610 910 697	77 500	140 581	305 596
2004	67 007 855	603 713 603 545	82 800	150 698	314 951
2005	67 903 406	658 107 313 056	84 900	161 956	337 213
2006	68 763 405	704 896 790 945	94 300	176 300	358 155
2007	69 597 281	740 356 326 377	100 400	191 558	391 423
2008	70 440 032	746 614 198 898	100 800	198 418	387 593
2009	71 339 185	711 489 987 901	102 200	194 813	395 515
2010	72 326 914	771 876 791 246	107 700	211 208	398 661
2011	73 409 455	857 659 284 076	115 100	229 395	427 572
2012	74 569 867	898 740 650 963	122 300	239 497	446 935
2013	75 787 333	975 055 500 275	121 600	240 154	438 969
2014	77 030 628	1 025 433 602 157	125 600	251 963	457 962
2015	78 271 472	1 087 840 328 670	137 500	261 783	472 191
2016	79 512 426	1 122 475 332 193	144 400	274 408	498 469
2017	80 745 020	1 206 000 890 969	157 700	297 278	526 253

## 5.2. Zaman Serisi Veri Madenciliği

Teknolojideki gelişmelerin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan veri madenciliği, büyük veri yığınlarından farklı yöntemler kullanarak faydalı bilgi elde etme sürecidir. Büyük miktardaki veriler tek başına bir anlam ifade etmezler. Veri madenciliği bu anlamsız yığından anlamlı bilgiler elde etmeye yönelik tekniklerden oluşmaktadır. Veri yığınından verinin seçimi, önışlemesi, dönüştürülmesi, veri madenciliği yöntemleri ile örüntüler elde edilmesi ve bu



örüntülerin yorumlanması aşamalarından geçerek oluşturulan bilgiyi elde etme süreci, veri tabanlarından bilgi keşfi olarak adlandırılmaktadır. Veri tabanından raporlama ve sorgulamadan ziyade kaliteli bilginin elde edilmesi için veri madenciliği yöntemleri geliştirilmiştir. Veri madenciliği geçmişe yönelik verilerden gelecek tahmini yapabilmenin yanı sıra çok büyük miktardaki veriler arasında ilişkileri inceleyerek bağlantı bulmaya çalışmaktadır. Bu yöntemlerle süreç sonunda elde edilen bilgiden, sağlık, tıp, endüstri, borsa, ekonomi vb alanlarda ekonomik planlama, tasarım, tahmin, araştırma bütçeleme gibi pek çok şekilde yararlanılmaktadır (Erguvan Etgin, 2017, Ecemiş ve Irmak, 2018, Savaş, Topaloğlu ve Yılmaz, 2012).

Rekabetin giderek arttığı, zayıf işletmelerin sisteme yenik düştüğü günümüz ekonomisinde, veri madenciliği teknikleri işletmelerin karar vermede en büyük yardımcısı olmaktadır. Riski azaltıcı karar destek çözümleri ile hedef pazara yönelik analizler yaparak gelecek planlamasında işletmelere avantaj sağlamaktadır. Veri, donanım, hız, ticari eğilimler gibi faktörlerden etkilenen veri madenciliğinde probleme yönelik bir model kurulur. Model kurulmadan önce amaca yönelik problem tanımlanarak veriler hazırlanır. En iyi modele ulaşana dek deneme yapılarak oluşturulan modelin izlenmesi ile veri madenciliği süreci sona erer (Savaş vd., 2012).

Büyük ölçekli verilerden yararlı ve anlamlı bilginin ortaya çıkarılması için veri madenciliği yöntemleri ve algoritmaları geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile gelecek tahmini yapılabilecek modeller oluşturulabilir. Modellerin oluşturulması için öncelikle verinin hazır duruma getirilmesi gerekmektedir. Verinin hazır duruma getirilmesi; verinin temizlenmesi, verinin bütünleştirilmesi, verinin indirgenmesi, verinin dönüştürülmesi gibi dört işlemten geçmesi sonucu oluşur. Daha sonra uygun veri madenciliği algoritmasının oluşturulması ve sonuçların sunumu ve değerlendirilmesi yapılır.

Veri madenciliği yöntemleri tanımlayıcı ve tahmin edici olarak sınıflandırılmaktadır. Tanımlayıcı model; karar vermek için kullanılabilecek verilerdeki benzer örüntüleri işleyerek oluşturulan probleme uygun bir çözüm sunar. Kümeleme ile Birliktelik Kuralları ve Ardışık Zamanlı Örüntüler tanımlayıcı modele örnek modellerdir. Tahmin edici model ise geçmiş verilerden faydalanarak sonuçları bilinmeyen veri için bir tahmin değeri sunar. Sınıflama ve regresyon modeli ise tahmin edici modele örnektir (Gülçe, 2010).

Zaman serisi, değişkenlerin değerlerinin zaman içerisinde ardışık bir şekilde gözleendiği büyüklüklerdir. Serinin ileriye doğru bir uzantısının elde edilmesiyle gelecek tahmini yapan bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Emeç, t.y.). Zaman serileri zaman kavramı bağlamında sürekli ve kesikli olarak ikiye ayrılmaktadır. Elektrik sinyalleri, voltaj, ses titreşimleri, sismik hareketlerin ölçümü gibi mühendislik alanlarına ait sürekli olarak kaydedilebilen seriler sürekli zaman serileri, faiz oranı, satış hacmi, üretim miktarı gibi iktisadi seriler ise kesikli serilerdir. Değişken sayısına bağlı olarak seri tek değişkenin önceki gözlem değerlerini içeriyorsa tek değişkenli zaman serisi, birden fazla değişkenin önceki gözlem değerlerini içeriyorsa çok değişkenli zaman serisi olarak adlandırılmaktadır. Ekonomide pek çok ekonomik değişken değeri düzenli aralıklarla toplanmaktadır. Bu değişkenler birbirleriyle çok yakın ilişkilidir. Örneğin; işsizlik oranı, enflasyon, büyüme, ihracat, ithalat, yatırımlar vb. Bu değişkenlerin her birini tek tek analiz ederek yapılarını ortaya çıkarmak ve gelecek değerlerini tahmin etmek mümkündür. Fakat bu değişkenlerin her biri diğerleriyle olan kuvvetli ilişkisinden dolayı birlikte araştırılmakta ve aralarındaki ilişkinin durumu ortaya konmaktadır. Bu ilişkinin incelenmesi geleceğe yönelik tahmin ve politika belirleme açısından oldukça yararlıdır. Çok değişkenli zaman serilerinde değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesinde sahte regresyon sorunu ile karşılaşılmaması için serilerin durağan olması yani zaman içerisinde sabit olması gerekmektedir. Bazı durumlarda, seriler durağan olmamasına rağmen, herhangi bir doğrusal bileşimi durağan olmaktadır (Can, 2009). Durağan olmayan ekonomik zaman serilerinde model kurma zorluğu koentegrasyon analizi ile aşılmaktadır. Bu analizde değişkenler arası dinamik ilişkiler dışsallık ayrımı yapmaksızın ya da yapısal bir kısıtlama olmadan belirlenebilmektedir. Durağan olmayan değişkenlerin farkları alınarak durağan hale getirilir ve vektör otoregresif modeller (VAR) analizi ile değişkenlerin her biri kendisinin ve diğer değişkenlerin gecikmeli değerleri ile regresyona girer. Bu regresyon sonucunda değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkiler, bağımsız değişkendeki bir birim değişmenin bağımlı değişkende meydana getirdiği etki ve şoklar olarak anlaşılmaktadır. Zaman serisi analizinde kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Box-Jenkis yöntemi olarak bilinen, doğrusal ve durağan serilerde veya durağan olmayan fakat çeşitli yöntemlerle fark alınarak durağanlaştırılabilen serilerde kullanılan bu metot geleceğe yönelik tahminler yapmada en çok kullanılan metotlardan biridir (Kaynar ve Taştan, 2009). Zaman serilerinde bir değişken tahmin edilirken o değişkene ait gecikmeli değerler, hata terimleri ve bu ikisinin kombinasyonu kullanılır. Tahmin edilmek istenen değişkenin geçmiş dönemlerine ait fonksiyonu, otoregresif model (AR), hata terimlerinin bir fonksiyonu, hareketli ortalamalar modelleri (MA), geçmiş değerler ile hata terimlerinin

ortak bir fonksiyonu ise otoregressif hareketli ortalama modelleri (ARMA) olarak ifade edilmektedir. Değişken durağan değilse, ARMA modeli durağanlaştırma işlemi için fark alınarak bütünleşik otoregressif hareketli ortalama modeli (ARIMA) olarak ifade edilmektedir. Bu modeller durağan zaman serilerinin modellenmesi ve tahmininde büyük faydalar sağlamaktadır (Can, 2009). Ancak Box-Jenkis yöntemi yalnızca doğrusal ilişkinin varlığında kullanılmaktadır. Oysa birçok zaman serisi doğrusal olmayan ilişkileri de barındırdığından, farklı metotlar geliştirilmiştir. Değişkenler arasında doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkinin de modellenebilmesi için hem zaman serisi hem de veri madenciliğinin içiçe olduğu modeller türetilmiştir. Bu bölümde zaman serisi analizlerinde kullanılan yöntemlerin veri madenciliği ile entegre olduğu yöntemlerden bahsedileceğinden Box-Jenkis metotları hakkında ayrıntılı bilgi verilmeyecektir.

Bir zaman serisini analiz etmek için kullanılan veri madenciliği yöntemleri olarak bilinen zaman serisi veri madenciliğinde, klasik zaman serilerinde gerekli olan durağanlık, lineerlik gibi kısıtlamalar kaldırılmıştır (Aydın, Karaköse ve Akın, 2005). Zaman serileri arasındaki doğrusal ilişkileri modellemek kolaydır. Fakat pratikte çoğu zaman serisi doğrusal olmayan ilişkileri içermektedir. Karmaşık zaman serilerinden anlamlı bilginin çıkarılması için dinamik yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Zaman serisi veri madenciliği algoritmaları bu sebeple geliştirilmiştir. Burada, serinin amacına uygun olarak zamana bağlı bir model geliştirilir ve gelecekteki verilerin en uygun şekilde tahmini sağlanır (Erguvan Etgin, 2017). Zaman serileri veri madenciliğinde öngörü algoritmaları kullanarak tahmin modelleri oluşturmak; şirketlerin, ülkelerin ve dünyanın gelecek planlaması açısından çok önemlidir. Uygulamalar incelendiğinde zaman serisi tahmin yöntemleri ile veri madenciliği tahmin yöntemlerinin karşılaştırılmasına gidildiği görülmektedir. Fakat artık Rapidminer (YALE-Yet Another Learning Environment), WEKA(Waikato Environment for Knowledge Analysis) ve R dili gibi yazılımlar, tahmin yöntemlerinin dışında yeni ve farklı algoritmalar geliştirmesi açısından tercih edilmektedir. Yapay zekâ algoritmaları ile istatistiksel analizlerin ortak kullanımı ile veri içindeki gizli bilgilerin faydalı bilgiye dönüştürülmesi sürecinde bu programlardan yararlanılmaktadır.

Yeni Zelanda'daki Waikato Üniversitesi bilim insanları tarafından geliştirilen WEKA, makine öğrenimi algoritmaları içeren yazılım programıdır. WEKA veri madenciliği konusunda güçlü bir araç olup açık kaynak kodlu bir programdır. Kendine has ARFF (Attribute Relationship File Format) metin dosyaları haricinde cvs, odt ve xls dosya tiplerini de desteklemesi ve genel kamu lisansına sahip olması ile veri madenciliği çalışmaları için sık kullanılan kaynaklar arasında görülmektedir. Programda veri işleme, veri sınıflandırma,

veri kümeleme ve ilişkilendirme özellikleri seçilen verinin özelliğine göre gerekli algoritmalar seçilerek uygulanabilmektedir (Dener, Dörteller ve Orman, 2009; Ecemiş, 2016).

WEKA programında zaman serileri öngörü/tahmin eklentisi kullanılarak zaman serisi analizi yapabilmek mümkündür. Zaman serileri veri madenciliğinde en fazla kullanılan öngörü algoritmaları; Gauss Süreç Regresyon, Lineer Regresyon, Çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptron), Sıralı en düşük optimizasyon (Sequential Minimal Optimization) olarak bilinmektedir. Aşağıda bu tezde kullanılan zaman serileri veri madenciliği tahmin algoritmaları anlatılmıştır.

### 5.2.1. Lineer regresyon (Linear regression)

Lineer regresyon algoritması öngörü için, standart en küçük kareler çoklu lineer regresyon kullanır. Çoklu regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni tahmin etmesi ve bağımlı değişken üzerinde sahip oldukları etkiye dayanır. Girdi değişkenlerinin çıktı değişkenini tahmin etmesi en küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanır. İsteğe bağlı olarak nitelik seçilebilir bu işlem için ya greedy ya da geriye doğru eleme yöntemini kullanır. Böylece tüm nitelikleri ya da sadece seçilmiş nitelikleri içeren, bir model inşa eder. LR algoritması model seçimi için Akaike kriterlerini kullanır ve ağırlıklı örnekleme yapar. Modelin veriyi açıklama oranı açıklayıcılık katsayısı olan  $R^2$  ve düzeltilmiş  $R^2$  ile belirlenir. Bu değerler bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama değeri olarak da kullanılır. (Witten, Fank ve Hall., 2005; WEKA, 2020; Akaike, 1974; Özçınar, 2006).

Lineer regresyon modeli, sınıfı niteliklerin doğrusal bir kombinasyonu olarak açıklamaktadır. Denklem eğitim verisinden hesaplanan ağırlık gösterimi ile şu şekildedir;  $x$  sınıf,  $a$  nitelik ve  $w$  ağırlık olmak üzere;

$$x = w_0 + w_1a_1 + w_2a_2 + \dots + w_ka_k \quad (5.1)$$

Buna göre öngörü denklemi (i.eğitim örneği için);

$$w_0a_0^i + w_1a_1^i + w_2a_2^i + \dots + w_ka_k^i = \sum_{j=0}^k w_ja_j^i \quad (5.2)$$

$a_0$  her zaman 1 e eşittir.  $i$ . eğitim örneği için öngörü değeri sınıf değeridir. Hata kareler toplamı aşağıdaki şekilde gösterilir;

$$\sum_{i=1}^n (x^i - \sum_{j=0}^k w_ja_j^i)^2 \quad (5.3)$$

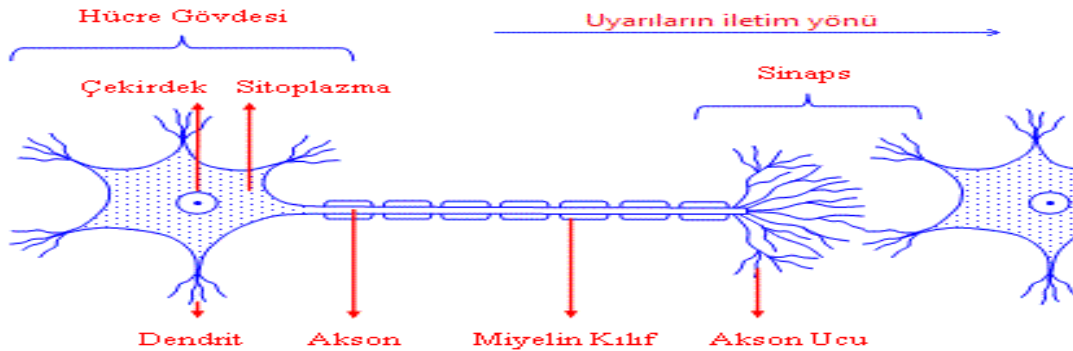
Gözlenen değer ile öngörü değeri arasındaki farkın karesi hata kareler toplamını vermektedir. En küçük hata kareler toplamı olan model en uygun model olarak seçilir fakat WEKA LR algoritmasında en uygun modeli seçerken Akaike kriteri kullanılır. Uygun model Akaike bilgi kriteri en küçük olan modeldir ve şu şekilde gösterilir;

$$AIC = -2 \log L + 2k \quad (5.4)$$

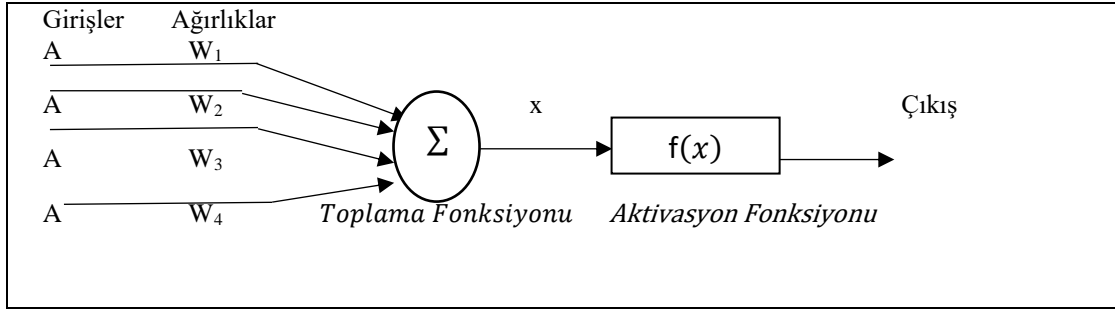
Burada k, bağımsız parametre sayısını, L, maksimum benzerliği göstermektedir (Erguvan Etgin, 2017).

### 5.2.2. Çok katmanlı algılayıcı (Multilayer perceptron)

Yapay sinir ağları, insan beyni taklit edilerek modellenmiştir. Hatırlama, düşünme gibi olgular beynin kendine ait sinir hücreleri aracılığıyla gerçekleşir. Bu sinir hücreleri çok sayıda dendrit, akson ve sinaplardan oluşur. Sinirler, sinaps boyunca dendrite ulaşan uyarıları aksonda işleyerek diğer sinire iletir. Çalışma prensibi olarak beyinden ilham alan yapay sinir ağları, düğümlerden oluşur. Katman olarak giriş katmanı, gizli katman(lar) ve çıkış katmanından oluşur. Ağırlıklar, toplama ve etkinlik işlevi de bu katmanlarda gerçekleşir. Bu yapı biyolojik sinir hücresinin basitleştirilmiş şekli olmasına rağmen beynin temel işlevlerini taklit edebilmektedir. Yapay sinirin öğrenme yeteneği, algoritma içindeki ağırlıkların uygun şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Aşağıda biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir ağındaki düğümler gösterilmiştir:



Resim 5.1. Biyolojik sinir hücresi yapısı ([www.bilgiustam.com](http://www.bilgiustam.com))



Şekil 5.1.Yapay sinir (Düğüm) (Elmas, 2018)

Bir yapay sinir ağı, öğrenme stratejilerine bağlı olarak denetimli, denetimsiz ve destekleyici öğrenme olmak üzere üç şekilde öğrenir.

#### *Denetimli öğrenme*

Denetimli öğrenmede girdi ve girdilere karşılık gelen çıktı değerleri verilir ve algoritma örneklerden genellemeler ve modellemeler yaparak, çıktı üretir. Dolayısıyla girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi kendisi belirler. Ağın ürettiği değerlerle hedef değerler arasındaki fark belirli bir tekrar sayısına ulaşana kadar veya hata kriteri tarafından istenen değere ulaşana kadar devam edilerek öğrenme sağlanır. Hata karesi en küçük olan model, son model olarak belirlenir ve öngörü bu model üzerinden gerçekleşir (Öztemel, 2006).

#### *Denetimsiz öğrenme*

Gözetimsiz öğrenmede ağ girilen bilgilerle çalışır fakat çıkış ile ilgili bilgisi yoktur. Burada ağ, yaparak öğrenmektedir.

#### *Destekleyici öğrenme*

Bu öğrenme biçiminde eğitim sırasında eğitim setinden bir miktar bilgi rasgele alınarak giriş birimlerinin etkinliği sağlanır. Kazanan öğrenir bu sebeple yarışmacı öğrenme olarak da bilinen bu öğrenme kategorisinde süreç devirler belli bir rayına oturuncaya kadar devam eder (Elmas, 2018).

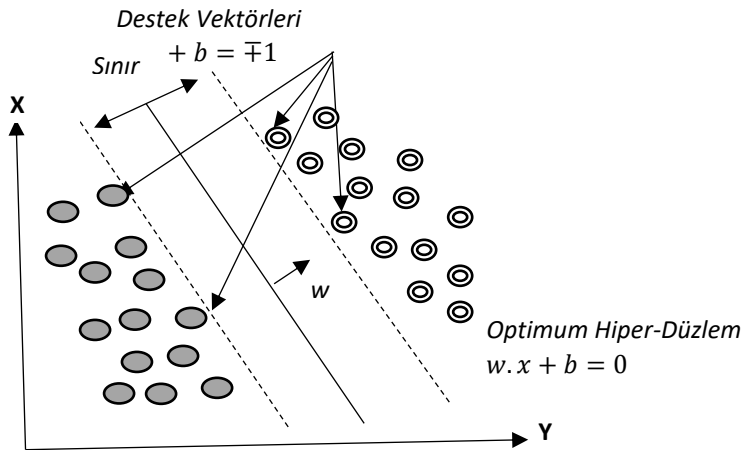
### **5.2.3. Sıralı en düşük optimizasyon (Sequential minimal optimization )**

Vladimir Vapnik ve arkadaşları tarafından 1992 yılında ortaya atılan destek vektör makineleri (DVM) aslında 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Eğitim süresi diğer algoritmalara oranla oldukça yavaş olmasına rağmen doğru karar vermede son derece başarılıdır. İlk yıllarda örüntü tanıma, sınıflandırma gibi problemlerde kullanılmaya başlanan destek vektör makineleri daha sonraları regresyon problemlerinde çözüm olarak kullanılmıştır. Destek vektör makineleri sınıflandırmanın yanı sıra tahmin performanslarında da başarılı sonuçlar vermektedir. SMOreg algoritması makine öğrenmesi yöntemlerinden destek vektör makineleri içerisinde yer alır ve temel olarak istatistiksel öğrenmeye dayanır. Temel mantığı, doğrusal olarak ayrılabilen veriler için en iyi ayırıcı düzlemin belirlenmesi olan destek

vektör makineleri, doğrusal olarak ayırlamayan verileri de dönüşüm tekniği uygulayarak çözmektedir. Eğitim esnasında gözlenmemiş verileri de sınıflayarak genelleştirebilme özelliğine sahip olmasıyla yapay sinir ağı ve karar ağaçlarına oranla birçok gerçek problemde daha başarılı sonuçlar vermektedir. Yapay sinir ağı modellerinde deneysel risk minimizasyonu yapılırken destek vektör makinelerindeki temel prensip, yapısal risk minimizasyonudur. Platt tarafından önerilen SMO algoritması, iki boyutlu çalışma kümelerini tekrarlı olarak seçip optimize ederek sınıflandırmaktadır. SMOreg bu işlemi iki sınıf arasındaki marjini maksimum kılarak yapmaktadır. Doğrusal olarak ayırlamayan verilerde optimum doğrusal hiper düzlemi orijinal veriyi daha yüksek boyutlu bir uzaya taşıyarak bulmaktadır. (Shevade, Keerthi, Bhattacharyya ve Murthy, 2000, Güven ve Bilgin, 2014, Durğun, 2018, Aydemir, 2017).

#### *Doğrusal olarak ayırılabilir veriler*

Verinin birbirinden farklı biçimde doğrusal olarak ayrılabilceği durumlarda veriyi ayıran doğrular çok boyutlu düzlemlerde hiper düzlemler olarak görülür ve bu düzlemlerden biri diğerlerinden daha fazla ayırma başarısına sahiptir. Bu düzlem, iki sınıfın birbirine en yakın noktalarının en geniş aralığını belirleyerek diğerlerinden üstün duruma geçer.



Şekil 5.2. Destek vektörlerde doğrusal ayrılma (Küçüksille ve Ateş, 2013)

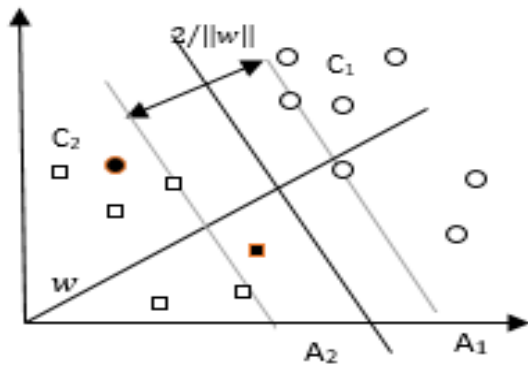
Veriyi şekildeki gibi ayırmak destek vektör makinelerinin amacıdır. Veri setini sınıflara ayırabilecek sonsuz sayıda düzlem çizilebilir fakat burada önemli olan nokta bilinmeyen bir veri seti ile karşılaşıldığında sınıflama hatasını minimum yapabilecek düzlemi seçmektir. Bu tarz bir optimizasyon problemi Lagrange denklemleri kullanılarak çözülmektedir.

$$f(\bar{x}) = \bar{w}^T \bar{x} + b = 0 \quad (5.5)$$

fonksiyonu ile gösterilen bu denklemde  $\bar{w}^T$  karar fonksiyonunun normalini,  $\bar{x}$  doğru üzerinde bulunan noktaları  $b$  ise eğilim değerini ifade etmektedir. Amacımız sistemi eğitmek yani  $\bar{w}^T$  ve  $b$ 'yi eğitim seti yardımıyla bulabilmektir.

#### *Doğrusal olarak ayırlamayan veriler*

Gerçek hayatta veriler her zaman doğrusal bir düzlem ile ayırlamayabilir veya verilerin sınır içerisine düştüğü durumlarda yanlış ayrılma olabilir. Böyle durumlarda minimum hata ile yapılan ayırma kabul edilir.



Şekil 5.3. Doğrusal olarak ayırlamayan veriler (Küçüksille ve Ateş, 2013)

Doğrusal olarak ayrılabilen verilerde olduğu gibi ayırlamayan verileri de çözmek için Lagrange denklemlerinden faydalanılmaktadır. Doğrusal olarak ayrılmama yani yumuşak ayrılma olarak da adlandırılabilen bu optimizasyon probleminde;

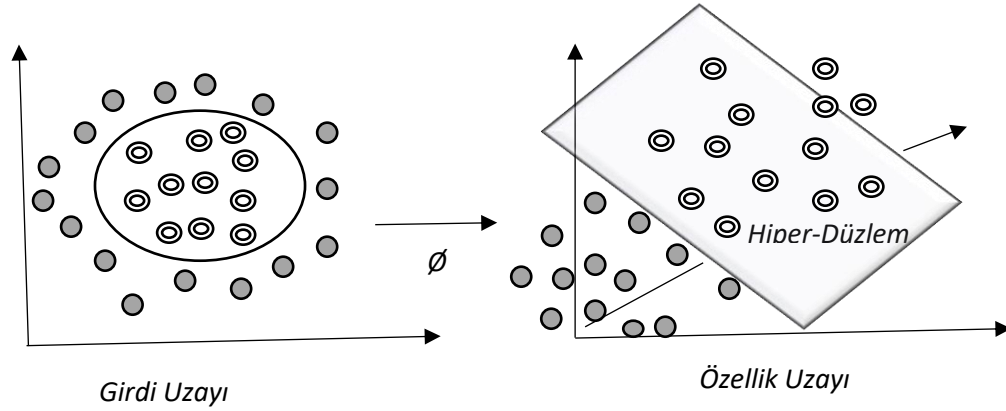
$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i \quad (5.6)$$

denkleminin verileri elde edilmiş olur. Denklemdaki  $\xi_i$  zayıflık (gevşeklik) değişkeni olarak nitelendirilir ve bir  $x_i$  örneğinin sınırdan sapma uzaklığı olarak ifade edilir.

#### *Ayrımı doğrusal olmayan veriler (Çekirdek Fonksiyonlar)*

Veri kümelerinin doğrusal hiper düzlem ile ayrılabilmediği durumlar dışında iç içe geçmiş sınıfların veya veri grupları arasında kalmış sınıfların varlığı söz konusudur. Bu durumlarda destek vektör makineleri girdi uzayını daha yüksek bir boyuta taşır ve burada doğrusal ayırma işlemi uygular.





Şekil 5.4. Ayrımı doğrusal olmayan veriler (Küçüksille ve Ateş, 2013)

Yeni bir boyuta taşınan veriler için dönüştürme işlemi uygulanarak  $\Phi$  uzayında  $x$  görüntülerinin doğrusal olarak ayrılabilceği bir ortam yaratılır.

$$w = \sum a_i y_i \Phi(x_i) \quad (5.7)$$

$$f(x) (\sum a_i y_i \Phi(x_i) \Phi(x)) + b = 0 \quad (5.8)$$

denklemleri 'Kernel Trick' olarak isimlendirilen çekirdek düzenlemesi yöntemi ile çözülebilecek dönüştürülmüş uzaydaki iki vektörün iç çarpımını ifade etmektedir (Aydemir, 2017, Küçüksille ve Ateş, 2013).

#### 5.2.4. Öngörü performansının değerlendirilmesi

Öngörülerin hataları için hesaplanan hata ölçütleri zaman serilerinde öngörülerin performansını değerlendirmek için kullanılır. Belli sayıda gözlemin hata seviyelerini gösteren ölçütlere hata ölçütleri denir. En çok kullanılan ölçütler hatanın mutlak ortalaması (MAE) ile hata kareler ortalaması (MSE) ve hata kareler ortalaması karekök değeri (RMSE)'dir. Bu ölçütler öngörülen verideki ortalama hatayı göstermektedir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5.9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5.10)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (5.11)$$

Hatanın veri içindeki payına göre hesaplanan (MAPE) hatanın mutlak yüzde ortalamasını, SMAPE ise simetrik hatanın mutlak yüzde ortalamasını temsil etmektedir. MAPE ve SMAPE değerleri öngörü elde etmedeki yüzdelik hatanın ortalamasını göstermektedir. Bu ölçütlere ait denklemler aşağıdaki eşitliklerde gösterilmektedir.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (5.12)$$

$$SMAPE = 200 * 1/n \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{|y_i| + |\hat{y}_i|} \quad (5.13)$$

Öngörü performansları tüm bu ölçütlerin incelenmesi ile farklı bakış açıları ile karşılaştırılabilmektedir. Öngörü metotlarının karşılaştırılması ya da uygun yöntemin belirlenmesinde veri parçalama yöntemi kullanılmaktadır. Verinin parçalanmasında zaman serisinin geçmiş ilk gözlemleri eğitim kümesi olarak belli sayıdaki son gözlemler ise test kümesi olarak ayrılır. Eğitim setindeki gözlem sayısı tüm gözlem sayısından küçük, eğitim ve test setindeki gözlem sayısı ise toplam gözlem sayısına eşit olmalıdır (Eğrioğlu ve Baş, 2020, Kırbaş, 2018).

## 6. UYGULAMA VE BULGULAR

### 6.1. Uygulama

Çalışmada sera gazı emisyonlarının gelecekteki değerlerini tahmin etmek için WEKA programı kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle WEKA, Zaman Serileri Öngörü (Time Series Forecasting) eklentisi kullanılarak, zaman serileri analizi yapılmıştır. Zaman serileri veri madenciliği tahmin modellerinde yukarıdaki bölümde anlatılan en çok kullanılan üç algoritma seçilmiş ve bu algoritmalarından hangisinin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Uygulamada kullanılan veri seti 3 parçaya ayrılmıştır. 1990-2008 yılları arasındaki veriler eğitim için kullanılmış, 2009-2011, 2012-2014 ve 2015-2017 yıllarına ait veriler ise gruplar halinde tahmin için kullanılmıştır. En iyi modelin belirlenebilmesi için tahmin başarıları literatürde en çok kullanılan performans ölçütlerinden Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Hata Kareleri Ortalaması (MSE) istatistikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

### 6.2. Bulgular

Oluşturulan her bir model için hata kareleri ortalaması(MSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değerleri çıkarılarak 2009-2012 tahmin dönemi, 2012-2014 tahmin dönemi ve 2015-2017 tahmin dönemi için ortalamaları alınmıştır. Bu değerler ve ortalamalar çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Kullanılan öngörü algoritmalarında elde edilen MSE ve MAPE değerleri

Kullanılan Algoritma	Yıl Aralığı	MSE			MAPE			Ortalama MSE	Ortalama MAPE
Lineer Regresyon	2009-2011	3346,4374	417,6099	928,2114	13,3911	3,24	7,3022	1564,0862	7,9778
	2012-2014	1457,4139	8004,565	1669,8935	7,3828	18,121	6,7962	3710,6241	10,7667
	2015-2017	3283,0074	15438,0018	14040,0282	11,7403	26,1076	26,3764	10920,3458	21,4081
Çok Katmanlı Algılayıcı	2009-2011	33,1515	38,1435	39,8875	1,5563	1,6733	1,7433	39,0608	1,6576
	2012-2014	46,725	67,5869	65,5335	1,7306	1,9431	1,9089	59,9485	1,8609
	2015-2017	250,76	193,323	200,756	4,0329	3,1904	3,2864	214,9463	3,5032
Sıralı En düşük Optimizasyon	2009-2011	40,738	49,8186	58,8298	1,3151	1,5863	1,7542	49,7955	1,5519
	2012-2014	56,2392	83,3988	93,4105	1,4645	2,0513	2,2511	77,6828	1,9223
	2015-2017	72,2825	120,1381	136,3618	1,6464	2,3079	2,622	109,5941	2,1921

Daha sonra her bir model için tüm tahmin yıllarına ait değerlerin ortalamaları alınarak her bir model için hata kareler ortalaması ile ortalama mutlak yüzde hata değerleri oluşturulmuştur.

Çizelge 6.2. Modellere ilişkin hata istatistikleri

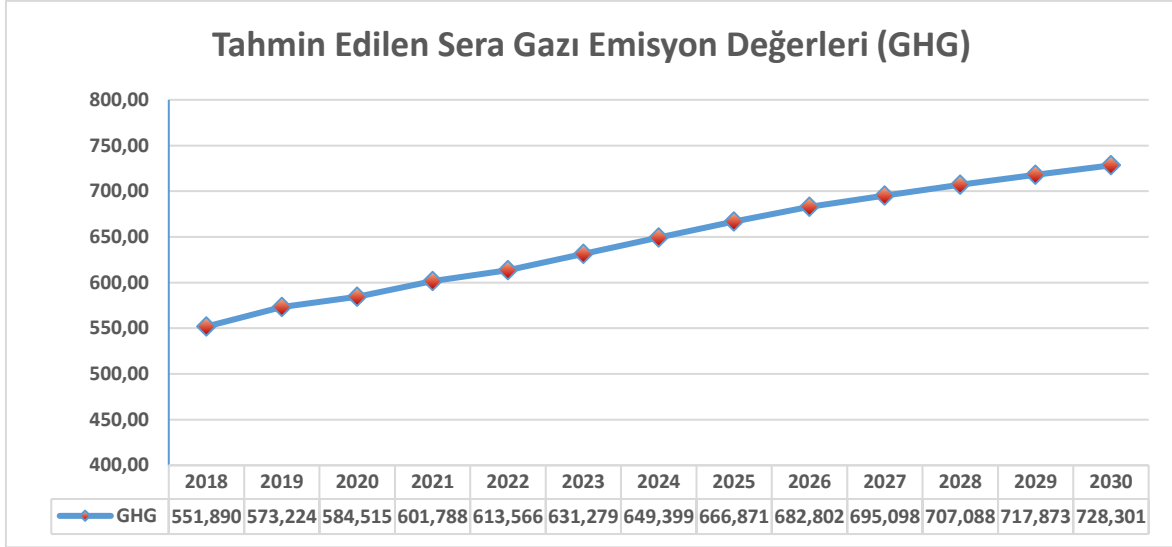
	<b>LR (Linear Regression)</b>	<b>MLP(Multilayer Perceptron)</b>	<b>SMOreg</b>
<b>MSE(Mean Square Error)</b>	5398,3520	104,6519	79,0241
<b>MAPE(Mean Absolute Percentage Error)</b>	13,3842	2,3406	1,8888

Bu tahmin sonuçları ile gerçek tahmin sonuçları karşılaştırılarak hangi modelin en az hata ile en iyi tahmini verdiği belirlenmiştir. Her bir model için gerçek değerler ve 2010-2018 yılı tahmin değerleri Tablo 4' te gösterildiği gibidir:

Çizelge 6.3. Gerçek değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Yıllar	Gerçek Değerler	Tahmin Edilen Değerler		
		<b>LR(Linear Regression)</b>	<b>MLP (Multilayer Perceptron)</b>	<b>SMOreg</b>
<b>2009</b>	395 515	321 908	393 451	395 390
<b>2010</b>	398 661	340 958	386 199	399 283
<b>2011</b>	427 572	353 595	352 237	394 080
<b>2012</b>	446 935	297 805	429 298	421 472
<b>2013</b>	438 969	337 171	435 890	428 162
<b>2014</b>	457 962	389 265	433 282	433 943
<b>2015</b>	472 191	409 853	490 697	475 696
<b>2016</b>	498 469	431 825	492 369	489 132
<b>2017</b>	526 253	403 513	493 494	507 349

Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'ten elde edilen karşılaştırma sonuçları, SMOreg yönteminin hata istatistiklerinin en küçük değerini vererek en iyi tahmin değerini elde ettiğini göstermektedir. Buna dayanarak 2018-2030 yılları arasında atmosfere salınan sera gazı tahmin sonuçları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir:



Şekil 6.1. SMOreg modeli ile 2019-2030 yılları için tahmin edilen sera gazı emisyon (GHG) değerleri

### 6.3. Tartışma

Türkiye’de sera gazı emisyonları 3. Bölümde yer alan Çizelge 3. 1’den de görüldüğü gibi her yıl giderek artmaktadır. Sera gazı emisyon tahminlerinin yapılmasında en önemli parametreler kullanılan fosil yakıtlara bağlı olarak enerji üretimi ve birincil enerji tüketimidir. Nitekim bu çalışmada karbon emisyonu, enerji üretimi ve birincil enerji tüketimi arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Enerji tüketimlerini kontrol altına alarak ciddi karbon emisyonu azaltımı yapılabilir. Emisyonların başka bir sebebi de Türkiye’de günden güne artan nüfus büyümesidir. Bu çalışmada karbon emisyonları ile aralarında negatif bir ilişki olan GSYH diğer bağımsız bir değişken olarak belirlenmiştir. Bu Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini doğrular niteliktedir. Carson’un 1997 yılında yaptığı çalışmada bahsedildiği gibi gelişmekte olan ülkelerin sebep olduğu çevre kirliliği yüksek geliri olan gelişmiş ülkelere daha fazladır. Gelir artışıyla birlikte çevre kirliliğinin azalma eğilimi gösterdiği bilinmektedir (Carson vd., 1997). Türkiye için de bu sonuç Okutan ve Yamak’ın 2018 yılı çalışması için geçerli olmuştur. Türkiye’de ölçek etkileri olarak tanımlanan gelir seviyesinden sonra teknolojik etkiye geçildiğinde çevresel azalmanın görülmeye başlaması gerektiği düşünülmektedir (Okutan ve Yamak, 2018).

Günümüzde karbon ayak izi bilim adamlarının çözmeye çalıştığı karmaşık bir sorun olarak görülmektedir ve neredeyse tüm ülkeler atmosferdeki sera gazı emisyon oranlarını azaltmak için uğraşmaktadırlar. Hamzaçebi ve Karakurt (2015), Behrang vd. (2011), Hertwich ve Peters (2009), ve Shaikh vd. (2017), karbon emisyonunu çeşitli yöntemlerle tahmin etmeye çalışırken Carson vd. (1997), Halıcıoğlu (2009), ve Alam vd. (2011) çalışmalarını çevresel

kuznets eğrisi hipotezi kapsamında gelir ile karbon emisyonu arasındaki ilişkinin incelenmesi şeklinde yapmışlardır. Zhang vd. (2009), Jaforullah ve King (2015), ve Çam vd. (2018) ise karbon emisyonunu etkileyen diğer değişkenlerle aralarındaki ilişkileri inceleme üzerine çalışmalardır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin sera gazı emisyon oranlarının; nüfus, GSYH, enerji üretimi ve enerji tüketimi gibi bağımsız değişkenlerin etkisi ile zaman içerisindeki değişimi incelenmiş ve zaman serisi madenciliği kullanılarak gelecek dönem tahminleri elde edilmiştir. Türkiye için yapılan çalışmalar ele alındığında genellikle yapay sinir ağı algoritmaları kullanıldığı görülmektedir. Pabuçcu ve Bayramoğlu (2017), seçilmiş Avrupa ülkeleri ve Türkiye için yapay sinir ağı kullanarak karbon emisyonunu tahmin etmeye çalışmıştır. Neredeyse bu tezle aynı değişkenler kullanılmasına rağmen sonuçların farklılığı dikkat çekmektedir. Bu farklılığın sebebinin Pabuçcu ve Bayramoğlu'nun beşer yıllık veri kullanımı olduğu düşünülmektedir. Hamzaçebi ve Karakurt'un 2015 çalışması ile kıyaslandığında emisyon oranlarındaki farklılıkların enerji değişkenine göre tahmin yapılmasından kaynaklandığı görülmektedir. Bu tezde ise enerji ile birlikte diğer değişkenler de göz önünde bulundurularak tahmin yapılmaktadır. (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2017; Hamzaçebi ve Karakurt, 2015).

Bir ülkenin kişi başı milli geliri, bize karbon ayak izi ile ilgili ipucu verebilmektedir. Bu sebeple dünyada yapılan çoğu çalışmada GSYH sosyoekonomik bir indikatör olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çoğu çalışma elektrik tüketimi değişkenini karbon ayak izi çalışmalarında bağımsız değişken olarak almaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışmalara Alam vd. (2011), Behrang vd. (2011), Pao vd. (2012), Jaforullah ve King (2015), ve Rezaei vd. (2018) örnek verilebilir. Bu çalışmalarda GSYH ve enerji tüketimi değişken olarak alınarak karbon emisyonu çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde Alam vd. (2011) ile Jaforullah ve King (2015) çalışmalarının zaman serisi tahmininde veri seti aralığının diğer çalışmalara oranla daha geniş olduğu görülmektedir.

Bu tez Li ve ark.(2018) çalışması ile benzer özellikler göstermektedir. Eğitim ve test için kullanılan veri seti, zaman aralığı, tahmin yılları ve bağımsız değişkenlerden enerji tüketimi aynıdır. İncelenen bölgelerin farklılığına rağmen her iki çalışmada da enerji tüketiminin karbon emisyonunu arttırdığı sonucuna varılmıştır.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilen ekolojik ayak izi azaltma çalışmaları teknolojik yenilikler ve ar-ge planlamaları ile yıllar içerisinde farklı bir boyuta ulaşmıştır. Bu bağlamda günümüzde karbon ayak izinin azaltılması, tüm dünya ülkeleri için büyük bir hassasiyet oluşturmakta ve bu konuda uluslararası arenada anlaşmalar yapılmaktadır. Bu anlaşmalardan Türkiye'nin de taraf olduğu Paris İklim Sözleşmesi gereğince ülkeler sera gazı emisyon oranlarını belirlenen oranlarda azaltmayı taahhüt etmektedirler. Bu taahhüt gereğince gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ekonomik büyümeyi de göz önünde bulundurarak enerji politikaları belirlemektedirler.

Enerji politikalarının belirlenmesinde ülkeler bazı kriterlere göre karar vermektedir. Dünya ülkeleri açısından enerji kullanımını gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler boyutunda iki kategoriye ayırmak mümkündür. Ekonomik büyümesini gerçekleştirmeye çalışan her ülke ilk aşamada teknoloji sabitken üretimini arttırmaya çalışmakta, dolayısıyla üretim sürecinde daha fazla kaynak ve enerji kullanmaktadır. Fazla enerji ve kaynak kullanımı sebebiyle atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarı artarak çevre kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Kısaca ölçek etkisi de denen bu durum büyümenin ilk aşamalarında gerçekleşmektedir. Büyüme devam ettikçe ekonomide yapısal bir dönüşüm meydana gelmekte, büyümenin etkisiyle emek yoğun üretimden teknoloji yoğun üretime geçiş yapılmakta, enerji sektöründe teknolojinin kullanılmaya başlanmasıyla beraber çevre tahribatı azalmaya başlamaktadır ki bu durum yapısal etki olarak bilinmektedir. Son olarak gelişmiş ülkelerde ar-ge yatırımlarına ayrılan payla birlikte teknolojik bir dönüşüm yaşanmakta ve temiz teknoloji kullanımıyla karbon ayak izi azaltılarak, çevre kalitesi arttırılmaktadır. Teknolojik etki de denen bu dönüşüm kişi başı gelirin yüksek olduğu gelişmiş ülkelerde, son süreçte devam etmektedir (Kocak, 2014). Dünya ekonomisinin %85'ini oluşturan G20 ülkeleri teknolojik dönüşüm etkisiyle birçok sektörde enerji verimliliklerini arttırarak karbon ayak izlerini azaltmaya devam etmektedirler. Örneğin; ulaşım sektöründe yakıt tüketiminden kaynaklı emisyon oranını azaltmaya yönelik standartlar uygulanmakta ve bu sayede %20'ye varan verimlilik elde edilmektedir (Civelekoğlu ve Bıyık, 2018).

24 Ocak 1980 kararlarından sonra dışa açık bir kalkınma modeli belirleyen ve global ekonomiyle bütünleşme çabasına giren Türkiye'de hızlı bir sanayileşme süreci başlamıştır. Bu süreç; ülkemizin artan nüfusu ile birlikte, üretimi arttırmak için gerekli enerji kullanımını da arttırmıştır. Artan enerji kullanımı ile enerji talebi de artmaya başlamış ve buna bağlı

olarak çevreye verilen tahribat oranında artış meydana gelmiştir. Genel olarak ekonomik büyümenin çevresel bozulmayı arttırdığı düşünüldüğünde bu sonuç olağandır. Enerji tüketimi dışında, nüfus artışı, dışa açık ticaret, kişisel gelir gibi başka birçok değişkenin de CO<sub>2</sub> emisyonunun belirleyicileri arasında yer aldığını unutmamak gerekmektedir. Dolayısıyla çevre kalitesinin gelişmesinde ülke politikalarının yanında bireylere ve firmalara da görevler düşmektedir.

Türkiye’de sera gazı emisyon oranlarının %70’lik kısmını enerji kullanımının yüksek olduğu sanayi sektörü oluşturmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler kategorisindeki Türkiye, ekonomik kalkınmasını sürdürülebilir kalkınma politikaları eşliğinde tamamlamak istemektedir ve bunu başarabilmek için hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal gibi birçok yenilebilir enerji potansiyeline sahiptir. Fakat bu potansiyelin sadece çok küçük bir kısmını kullanabilmektedir. Türkiye etkin enerji kullanımı ile daha az karbon salınımı yaparak büyümesini tamamlayabilmek adına öncelikle sektöründeki enerji kullanımını azaltmaya gitmeli, yenilenebilir enerjiye yönelmelidir.

Bu çalışmanın yapıldığı esnada meydana gelen Covid-19 pandemisi sebebiyle bir süre evlere kapanma durumuyla karşı karşıya kalınmıştır. Bu süreç karbon emisyonlarında önemli bir düşüşe yol açsa da kısa süreli oluşu nedeniyle kalıcı bir çözüm sunmamaktadır. Bu durumda iklim politikalarını gözden geçirmek hükümetler için elzem bir hale gelmiştir. Çünkü Covid-19 ile yeşile dönük olarak değişen insan davranışlarının salgın süreci sonrası eski haline gelmesi, Paris İklim Anlaşması taahhütlerine yaklaşmayı zorlaştırmaktadır. Bu süreçte sera gazı emisyonlarındaki önemli düşüş aslında fosil yakıt kullanımının ne kadar yaygın ve kanıksanmış olduğunu fakat kapanmayla birlikte aslında karbon kullanımına dayalı olmayan bir kalkınma modeli geliştirilebileceğini göstermektedir. İşte bu bilincin kalıcı olarak değiştirilmesi adına yeşil enerjiye geçiş planları teşvik edilmeli, akıllı yollar, akıllı binalar ve şehirler tasarlanmalı ve enerji verimli üretime geçiş yapılmalıdır. Toprağın karbon tutma kapasitesini maksimum kılacak tarım yöntemleri geliştirilerek sera gazı emisyon artışı yavaşlatılabilir. Burada amaç öncelikle yutak ve hazne alanlarını koruyarak emisyon artış hızını yavaşlatmak ardından emisyonu azaltmak ve sınırlamak üzerinedir (Öztürk, 2020).

Türkiye’de karbon emisyonunu azaltarak sürdürülebilir bir dünya yaratmak amacıyla birçok faaliyet yapılmaktadır. Bu faaliyetler kapsamında karbon ayak izini azaltma potansiyelleri araştırılmakta, maliyet analizleri yapılmakta, geleceğe yönelik tahminlerde bulunulmakta ve bölgesel çözüm önerileri sunulmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’nin sera gazı emisyon oranlarının; nüfus, GSYH, enerji üretimi ve enerji tüketimi gibi bağımsız değişkenlerin etkisi



ile zaman içerisindeki değişimi incelenmiş ve zaman serisi madenciliği yöntemlerinden lineer regresyon, çok katmanlı algılayıcı ve sıralı en düşük optimizasyon algoritmaları kullanılarak gelecek dönem tahminleri elde edilmiştir. Gerçek değerlerle karşılaştırma ve test istatistiklerine bakılarak SMOreg modelinin sera gazı emisyonunu kabul edilebilir hata düzeylerinde tahmin ettiği görülmektedir. 1990-2017 yılları verileri kullanılarak yapılan analiz sonucunda, Türkiye'nin günümüzdeki seyrini devam ettirdiği sürece sera gazı emisyon miktarının kademeli olarak artarak 2030 yılında 728.3016 metrik ton CO<sub>2</sub> eşdeğerine ulaşacağı tespit edilmiştir. Görülmektedir ki, bu tahmin Türkiye'nin Paris iklim sözleşmesinde taahhüt ettiği oranının altında kalarak Türkiye için umut verici olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte yapılan diğer çalışmalarda tahminler göz ardı edilmemeli, politika yapıcıların bu doğrultuda politika belirlemesi gerekmektedir.

Literatürde yer alan karbon emisyon oranlarının tahmini ile ilgili çalışmaların çoğunda kullanılan yöntemler açısından karşılaştırmalı tahmin yapan çalışmalar kısıtlı sayıda bulunmaktadır. Bu anlamda çalışmanın, Türkiye'nin gelecek dönem karbon emisyon oranlarının zaman serisi veri madenciliği yöntemlerinden üç farklı algoritmaya göre yapılmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar hem çok katmanlı algılayıcı algoritmasının hem de sıralı en düşük optimizasyon algoritmasının kabul edilebilir hata düzeylerinde tahmin yapabildiğini göstermektedir. Karşılaştırmalı analiz yapılması gerçek değerlere en yakın algoritmanın belirlenerek uluslararası sözleşmelerde taahhüt edilen oranın ne kadar altında kalılabileceğini göstermesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma ile gelişmekte olan bir ülke konumundaki Türkiye'nin gelecek dönem emisyon tahminlerinin gerçek değerlere yakın sonuçlar vermesinin, yapılacak ar-ge çalışmaları ve belirlenecek politikalara yön verebilmesi ümit edilmektedir.

Kişilerin karbon ayak izinden hanelerin, şirketlerin, bölgelerin ve ülkenin karbon ayak izine kadar hesaplama yöntemleri geliştirilmekte ve her bir kalem için ayrı azaltım hedefleri konmaktadır. Bireylerden kurumlara, özelden genele herkesin bu konuda çaba göstermesi dünyanın gelecek nesillere sağlıklı bir çevre mirası bırakması açısından önem arz etmektedir. Her ülkenin politika yapıcılarının ulusal ve uluslararası çevre politikalarını yeniden gözden geçirmesi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda çevresel tahribatı azaltacak önlemler alması gerekmektedir. Bu kapsamda 2020 yılında Kyoto protokolünün sona ermesi dolayısıyla 2015 te imzalanan Paris İklim anlaşması kuralları gereği 175 ülke emisyon oranlarını ciddi oranlarda azaltarak küresel ortalama sıcaklık

artışını 2 °C altında tutmaya çalışacaktır. Keza 2019 yılı Aralık ayında imzalanan Avrupa Yeşil Mutabakatı ile yeşil bir dönüşüm kapsamında, 2050 yılına dek sıfır emisyon oranıyla iklim-nötr bir kıta olarak sürdürülebilir sağlıklı çevre düzenlemesi yapılmıştır. Bu düzenleme kapsamında hava, su ve toprağın daha temiz bir hale getirilmesi, daha az atık üretimi, tarım ürünleri kullanımında daha az gübre kullanımı, akıllı binalar ve yollar, temiz enerji kullanımı, çevre dostu ürün kullanımı gibi birçok uygulama hayata geçirilmektedir. Avrupa Birliği, Yeşil Mutabakat kapsamında yapılacak olan uygulamaların yol açacağı etkilere dönük olarak en az 100 milyar avroluk bir fon ayırmıştır. Adil Dönüşüm Fonu olarak adlandırılan bu fonun kullanımı kamu-özel işbirliği çerçevesinde bireyler, iş dünyası, bölgeler ve ülkelerin kullanımı olarak bölümlendirilmiştir. Avrupa Komisyonu tarafından 2020’de açıklanan iklim kanunu ile mutabakat uygulanmaya başlanmıştır. İleri ki süreçte etkilerini daha net görebileceğimiz bu uygulamaların emisyon oranlarında belli bir ölçekte azalış sağlayacağı aşikardır (Tuğaç, 2020).

G20 ülkelerinin birçoğunda uygulanan zorunlu karbondioksit azaltma standartları Türkiye’deki binek otomobiller ve hafif ticari araçlar içinde uygulamaya geçmelidir. Bu uygulama ile karbon emisyon oranlarında tahmini yıllık %4 ile %6 oranında azalma elde edilebilecektir. Ayrıca, önümüzdeki yıllarda kullanılacak yeni araçların en düşük emisyon seviyelerine sahip olmaları, hibrit yakıt veya emisyonu düşük yakıt tercihi, daha düşük ağırlıklı ve aerodinamik özellikli hafif malzeme kullanılmış lastik tercihi ve düzenlenmiş trafik politikaları gibi birçok faktör, karbon ayak izinin ulaşım sektöründeki payını önemli ölçüde azaltabilecek önlemlerdir (Mock, 2016).

Uluslararası Doğayı Koruma Birliği, Greenpeace, Yeşilay, Doğal Hayatı Koruma Vakfı, Türkiye Çevre Eğitim Vakfı gibi çevre koruma kuruluşlarının çalışmaları desteklenmeli, kamuoyu oluşturmalarına ve çevre sorunlarını önleyici çalışmalar yapmalarına destek olunmalıdır. Küresel iklim değişikliği ile ilgili yapılacak ar-ge çalışmalarına ayrılan pay arttırılmalı, çözüm önerileri için projeler ve yarışmalara verilecek ödüllerin miktarı yükseltilerek teşvik arttırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Alada, A., Gürpınar, E., Budak, S. (1993). Rio Konferansı Üzerine Düşünceler. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, (3-4-5), 93-94.
- Alam, M. J., Begum, I. A., Buysse, J., Rahman, S., and Van Huylenbroeck, G. (2011). Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3243-3251.
- Arı, İ. (2010). İklim Değişikliği İle Mücadelede Emisyon Ticareti ve Türkiye Uygulaması. DPT Uzmanlık Alanı Tezleri, Ankara.
- Arı, A. ve Zeren, F. (2011). CO<sub>2</sub> Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi. Yönetim ve Ekonomi: *Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(2), 37-47.
- Akaike H. (1974). "A New Look at the Statistical Model Identification", *IEEE Xplore*, Volume: 19, Number: 6, USA, December 1974. 716-723.
- Aydemir, B. (2017). Veri Madenciliği Yöntemleri Kullanarak Meslek Yüksek Okulu Öğrencilerinin Akademik Başarı Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- Aydın, İ., Karaköse, M., Akın, E., (2005). Zaman Serileri Veri Madenciliği Tekniği Kullanılarak Asenkron Motorlarda Sarım ve Sürtünme Hatalarının Teşhisi. *11. Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Kongresi*, 124-127.
- Behrang, M. A., Assareh, E., Assari, M. R., & Ghanbarzadeh, A. (2011). Using bees algorithm and artificial neural network to forecast world carbon dioxide emission. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(19), 1747-1759.
- Benlisoy, S. (2010). Fiyasko ve Umut: Kopenhag Zirvesi'nden Geriye Kalan Ne?. *Birikim Dergisi* Sayı: 249, Ocak 2010.
- Birpınar, M.E. (2022). Küresel Sorun İklim Değişikliği: "Gelişimi, Uluslararası Müzakereler ve Türkiye". *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. Yıl: 1. Sayı: 1. ss. 20-36.
- Can, M. (2009). İşletmelerde Zaman Serisi Analizi ile Tahmin. (Yayımlanmamış doktora tezi). *İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul*.
- Carson, R., Jeon, Y., & McCubbin, D. (1997). The Relationship between Air Pollution Emissions and Income: USA data. *Environment and Development Economics*, 2, 433-50.
- Civelekoğlu, G., ve Bıyık, Y. (2018). Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 157-166.
- Çam, S., Sigeze, Ç., & Ballı, E. (2018). Türkiye'nin Enerji Verimliliğinin Yapay Sinir Ağı

- ve ARDL Yaklaşımı ile Analizi. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 18(4), 661-670.
- Çoban, O. ve Şahbaz Kılınç N. (2015). Yenilenebilir Enerji Tüketimi Ve Karbon Emisyonu İlişkisi: Tr Örneği. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(38) 195-208.
- Dener, M., Dörterler, M., & Orman, A. (2009). Açık kaynak kodlu veri madenciliği programları: WEKA’da örnek uygulama. *Akademik Bilişim*, 9, 11-13.
- Dineri, E. ve Köse, Z. (2019). Türkiye’de CO<sub>2</sub> Emisyonu, Ticari Açıklık ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki. *III. International Symposium on Economics, Finance and Econometrics*
- Doğan, M. (2013). Türkiye Sanayileşme Sürecine Genel Bir Bakış (A General Outlook On The Industrialization Process Of Turkey). *Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 28:211-231*.
- Durğun, S. (2018). Türkiye'nin Enerji Talebinin Yapay Zeka Teknikleriyle Uzun Dönem Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.
- Dwyer, L., Forsyth, P., Spurr, R.& Hoque, S. (2010). Estimating the carbon footprint of Australian tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 18:3, 355-376.
- Ecemiş, O. (2016). Veri Madenciliği Yöntemleriyle Paslanmaz Çelik Sektöründe Satış Tahmini. Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya*.
- Ecemiş, O, Irmak, S, (2018). Paslanmaz Çelik Sektörü Satış Tahmininde Veri Madenciliği Yöntemlerinin Karşılaştırılması/Comparison of Data Mining Methods In Stainless Steel Sector Sales Forecasting, *Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (1), 148-169
- Ecer, K., Güner, O. ve Çetin, M. (2021). Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye Ekonomisinin Uyum Politikaları. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi* Yıl: 2021, Cilt: 9, Sayı: 2, s. 125-144.
- Egrioglu, E., Bas, E., Yolcu, U., ve Chen, M. Y. (2020). Picture fuzzy time series: Defining, modeling and creating a new forecasting method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 88, 103367.
- Erden Özsoy, C. (2015). Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye'nin karbon ayak izi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 4(9), 198-215.
- Erguvan Etgin, E. (2017). Zaman Serilerinde Veri Madenciliği Öngörü Algoritmalarının Etkinlik Ve Verimliliğinin Bıst100 Hisse Senetleri Üzerinde Gerçeklenmesi. Master's thesis, *Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Elmas, Ç. (2018). *Yapay Zeka Uygulamaları*. 4. Baskı, ISBN:978-975-02-4897-9, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Es, H.A., Kalender F.Y. & Hamzaçebi C. (2014). Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji

- Talep Tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 495-504.
- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Bakker, D. C. E., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Anthoni, P., Barbero, L., Bastos, A., Bastrikov, V., Becker, M., ... Zaehle, S. (2019). Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11(4), 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
- Gülçe, G. (2010). Veri Ambarı Ve Veri Madenciliği Teknikleri Kullanılarak Öğrenci Karar Destek Sistemi Oluşturma. Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli*.
- Güven, Z. B., & Bilgin, T. T. (2014). Zaman Serileri Madenciliği Kullanılarak Nüfus Artışı Tahmin Uygulaması. *Akademik Bilişim*, 5-7.
- Halıcıoğlu, F. (2009). An econometric study of CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.
- Hamzaçebi, C., ve Karakurt, I. (2015). Forecasting the energy-related CO<sub>2</sub> emissions of Turkey using a grey prediction model. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37(9), 1023-1031.
- Hertwich, E. G., & Peters, G. P. (2009). Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. *Environmental science & technology*, 43(16), 6414-6420.
- Işık, N. ve Kılınç E.C. (2014). Ulaştırma Sektöründe CO<sub>2</sub> emisyonu ve Enerji Ar-ge Harcamaları İlişkisi. *Sosyoekonomi* 2:1-26.
- İnternet: Biyolojik Sinir Hücresi Yapısı URL: <https://medium.com/@yasinguzel/yapay-zeka-ders-notlar%C4%B1-03-biyolojik-sinir-sistemi-ve-yapay-sinir-a%C4%9F%C4%B1-h%C3%BCcresi-6555add68d80>, Son Erişim Tarihi:03.03.2022.
- İnternet: Birleşmiş Milletler Çevre Programı, (t.y.) Birleşmiş Milletler Wiki içinde. URL: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Birle%C5%9Fmi%C5%9F\\_Milletler\\_%C3%87evre\\_Program%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Birle%C5%9Fmi%C5%9F_Milletler_%C3%87evre_Program%C4%B1) Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.
- İnternet: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). *Gönüllü Karbon Piyasaları*. URL: <https://iklim.csb.gov.tr/gonullu-karbon-piyasaları-i-4391>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.
- İnternet: Dış İşleri Bakanlığı. (2021). *Sürdürülebilir Kalkınma*. URL: <http://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.
- İnternet: Dış İşleri Bakanlığı. (2021). *Paris Anlaşması*. URL: <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.
- İnternet: Dünya Bankası. (2020). *Dünya Kalkınma Göstergeleri*, URL: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=EG.USE.COMM.FO.ZS>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.

İnternet: Dünya Bankası. (2020). Toplam Sera Gazı Emisyonları, URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE>, Son Erişim Tarihi: 14.05.2021.

İnternet: Dünya Bankası. (2020). Türkiye’de Sera Gazı Emisyon Oranları, URL: [World Development Indicators | DataBank \(worldbank.org\)](https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE), Son Erişim Tarihi: 14.05.2021.

İnternet: Emeç H. (2020). Ekonometri Semineri: Durağan ve Durağan Olmayan Zaman Serileri. URL: [http://kisi.deu.edu.tr/~hamdi.emec/Ekonometri%20Semineri/Duragan\\_ve\\_Duragan\\_Olmayan\\_Zaman\\_Serileri.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/~hamdi.emec/Ekonometri%20Semineri/Duragan_ve_Duragan_Olmayan_Zaman_Serileri.pdf), Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.

İnternet: Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, (2016) *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Sayı:14. URL: <https://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/enerji%20bakanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20yay%C4%B1n.pdf>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.

İnternet: Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, (2017) *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Sayı:15. URL: [www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi\\_15/mobile/index.html](http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/mobile/index.html), Son Erişim Tarihi: 20.01.2022.

İnternet: Güç Barometresi [Basın bülteni]. *Eurelectric* (2020, Eylül). URL: [https://www.eurelectric.org/news/pr\\_powerbarometer\\_2020/](https://www.eurelectric.org/news/pr_powerbarometer_2020/), Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.

İnternet: IEA (2019), World Energy Outlook 2019, *IEA*, Paris URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.

İnternet: IEA (2020), World Energy Outlook 2020, *IEA*, Paris URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.

İnternet: IEA (2020), IEA World Energy Statistics and Balances (database) URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=TURKEY&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>, Son Erişim Tarihi: 11.05.2021.

İnternet: IEA (2021), World Energy Outlook 2021, *IEA*, Paris URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.

İnternet: Küresel Karbon Atlası, (2020). URL: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>, Son Erişim Tarihi:19.12.2021.

İnternet: Oral, N. (2019). Mühendislikte Yeni Trendler: Enerji ve Çevre Sürdürülebilirliği

Bilgilendirme Semineri URL: <http://tto.iste.edu.tr>, Son Erişim Tarihi: 23.09.2020.

İnternet: Öztürk M. (2020, 13 Haziran) Kovid-19 pandemi sürecinin sera gazı salım değişimi (2). *Independent Türkçe*, URL: <https://www.indyturk.com/node/194951/t%C3%BCrkiyeden-sesler/kovid-19-pandemi-s%C3%BCrecinin-sera-gaz%C4%B1-sal%C4%B1m-de%C4%9Fi%C5%9Fimi-2>, Son Erişim Tarihi: 12.01.2022.

İnternet: Rapier, R. (2020, 20 Haziran). Forbes URL: <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2020/06/20/bp-review-new-highs-in-global-energy-consumption-and-carbon-emissions-in-2019/?sh=29c0795666a1> Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.

İnternet: Ritchie, H. & Roser, M. (2020). "Emissions by sector". Published online at OurWorldInData.org. URL: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2022.

İnternet: Semtrio (t.y.). Karbon ayak izi hesaplama. URL: <https://www.semtrio.com/blog/karbon-ayak-izi-hesaplama>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2020.

İnternet: Semtrio (t.y.). Ülkelerin Karbon ayak izi URL: <https://www.semtrio.com/ulkelerin-karbon-ayak-izi>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2020.

İnternet: TC Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, İstanbul Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü (2018) İstanbul İl Sanayi Durum Raporu URL: <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/%C4%B0STANBUL.pdf>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2020.

İnternet: TÜİK (2021, 3 Mart). Haber Bülteni. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2019-37196>, Son Erişim Tarihi: 11.05.2021.

İnternet: WEKA, URL: <http://weka.sourceforge.net/doc.dev/overview-summary.html>, Son Erişim Tarihi: 07.01.2020.

İnternet: WEKA, URL: <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/index.html>, Son Erişim Tarihi: 07.01.2020.

Jaforullah, M., & King, A. (2015). Does the use of renewable energy sources mitigate CO<sub>2</sub> emissions? A reassessment of the US evidence. *Energy Econ*, 49:711-717.

Jones, C. M., & Kammen, D. M. (2011). Quantifying carbon footprint reduction opportunities for US households and communities. *Environmental science & technology*, 45(9), 4088-4095.

Karabağ, N., Çobanoğlu Kayıkcı, C. B. & Öngen, A. (2021). %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 230-240.

Karakaya, E., & Sofuoğlu, E. (2015, May). İklim değişikliği müzakerelerine bir bakış: 2015

- Paris iklim zirvesi. *In International Symposium on Eurasia Energy Issues* pp. 28-30.
- Kavaklıoğlu, K. (2010). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression. *Applied Energy* 88 (2011) 368–375.
- Kaya, H.E. (2020). Kyoto'dan Paris'e Küresel İklim Politikaları. *Meriç Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi* 4(10): 165-191.
- Kaya, Ü., Caner, M., & Oğuz, Y. (2016). Rüzgar Türbin Modelleri Kullanarak Kastamonu İli Rüzgar İle Elektrik Üretim Potansiyeli Tahmini. *Technological Applied Sciences*, 11(3), 65-74.
- Kayar, E. , İl, N. & Carlak, H. (2021). Türkiye Elektrik Enerjisi Görünümü ve Yenilenebilir Enerjinin Global Ölçekte Mevcut Konumu. *EMO Bilimsel Dergi YEKSEM Özel Sayısı*, 70-83 .
- Kaynar, O., & Taştan, S. (2009). Zaman Serisi Analizinde Mlp Yapay Sinir Ağları Ve Arıma Modelinin Karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (33), 161-172.
- Kaypak, Ş. (2011). Küreselleşme sürecinde sürdürülebilir bir kalkınma için sürdürülebilir bir çevre. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi* 13 (20): 19-33.
- Kırbaş, İ. (2018). İstatistiksel metotlar ve yapay sinir ağları kullanarak kısa dönem çok adımlı rüzgâr hızı tahmini. *Sakarya University Journal of Science*, 22(1), 24-38.
- Kocak, E. (2014). Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Geçerliliği: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi* Cilt 2, Sayı 3, 62-73.
- Kunda, D. & Phiri, H. (2017). An Approach for Predicting CO<sub>2</sub> Emissions using Data Mining Techniques. *International Journal of Computer Applications*, 172(13), 7-10.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.
- Küçükşille, E.U. & Ateş, N. (2013). Destek Vektör Makineleri ile Yaramaz Elektronik Postaların Filtrelenmesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 6 (1).
- Lam, H.L., Varbanov, P. & Klemes, J. (2010). Minimising carbon footprint of regional biomass supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(5), 303-309.
- Lerner, K. L., & Lerner, B. W. (2006). Environmental issues: essential primary sources. *Thomson Gale*.
- Li M, WangW, De G, Zi X, Tan Z (2018) Forecasting carbon emissions related to energy consumption in Beijing-Tianjin-Hebei region based on grey prediction theory and extreme learning machine optimized by support vector machine algorithm. *Energies* 11(9):2475



- Mercan, M. (2016). Türkiye İçin Karbon Emisyonlarının Tahmini: Zaman Serisi Analizi. *Aydın İktisat Fakültesi Dergisi*, 1(1), 4-19.
- Mock, P. (2016). Türkiye’de Karayolu Taşımacılığı Sektörü Kaynaklı Emisyonların Azaltılmasına Yönelik Politikalar. *İstanbul Politikalar merkezi, Sabancı Üniversitesi, Stiftung Mercator Girişimi*, 1-15.
- Okutan, Ş. & Yamak R. (2018). Türkiye'nin Çevresel Kuznets Eğrisi: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *İktisat Seçme Yazılar*:157–181.
- Özçınar, H. (2006). Kpss Sonuçlarının Veri Madenciliği Yöntemleri İle Tahmin Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli*.
- Özdemir, V. (2011). Türkiye’nin Karbonizasyon İndeksinin Temel Enerji Göstergelerine Bağlı Olarak Yapay Sinir Ağları İle Tanımlanması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1).
- Öztemel E., “*Yapay Sinir Ağları*”, Papatya Yayıncılık, IBAN 975-67-97-39-8, İstanbul, Ekim 2006.
- Pallemaerts, M. (1997). Stockholm’den Rio’ya Uluslararası Çevre Hukuku: Geleceğe Doğru Geri Adım mı?. *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 52(1), 613-632.
- Pabuçcu, H., & Bayramoğlu, T. (2017). Yapay Sinir Ağları İle CO<sub>2</sub> Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762-778.
- Pao HT, Fu HC, Tseng CL (2012). Forecasting of CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption and economic growth in China using an improved grey model. *Energy* 40:400–409.
- Pınarcıoğlu, NŞ. (2018). İklim Değişikliği Müzakerelerinde Geline Nokta: Paris Anlaşması ve Sonrası. *Current Debates in Social Sciences* 13/23:211-224.
- Rezaei MH, Sadeghzadeh M, Nazari MA, Ahmadi MH, Astaraei FR (2018). Applying GMDH artificial neural network in modeling CO<sub>2</sub> emissions in four Nordic countries. *Int J Low-Carbon Technol* 13(3):266–271.
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1-4), 135-160.
- Sancar, O., ve Bostancı, S. H. (2020). COVID-19 Pandemi Sürecinde Karbon Emisyonu Üzerine Bir Tartışma. *Iğdir University Journal of Social Sciences*.
- Savaş, S., Topaloğlu, N. ve Yılmaz, M. (2012). Veri madenciliği ve Türkiye’deki uygulama örnekleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Bilim Dergisi*, 11(21), 1-23.
- Sarkodie, S.A. & Owusu P.A. (2016). Energy use, carbon dioxide emissions, GDP, industrialization, financial development, and population, a causal nexus in Sri Lanka: With a subsequent prediction of energy use using neural network. *Energy Sources*,

*Part B: Economics, Planning, And Policy*. Vol. 11, No. 9, 889–899.

- Sezer, Ö. Küresel Konferanslar Ve Çevre Sorunları: Çevre Kalkınma Ve Etik Açısından Eleştirel Bir Değerlendirme. *Çevre, Kentleşme Sorunları Ve Çözümleri Bildirisi* (2015) 761-780.
- Shaikh, M. A., Kucukvar, M., Onat, N. C., & Kirkil, G. (2017). A framework for water and carbon footprint analysis of national electricity production scenarios. *Energy*, 139, 406-421.
- Shevade, S. K., Keerthi, S. S., Bhattacharyya, C., & Murthy, K. R. K. (2000). Improvements to the SMO algorithm for SVM regression. *IEEE transactions on neural networks*, 11(5), 1188-1193.
- Tuğaç, Ç. Avrupa Kentsel Şartı'ndan Avrupa Yeşil Sözleşmesi'ne: Avrupa'da Kentsel Politikaların Gelişim Süreci ve Geleceği. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi* Cilt:19, No:1 (Yıl: 2020), s. 225-267.
- Vieilledent, G., Grinand, C., & Vaudry, R. (2013). Forecasting deforestation and carbon emissions in tropical developing countries facing demographic expansion: A case study in Madagascar. *Ecology and evolution*, 3(6), 1702-1716.
- Wang, Z. X., & Ye, D. J. (2017). Forecasting Chinese carbon emissions from fossil energy consumption using non-linear grey multivariable models. *Journal of Cleaner Production*, 142, 600-612.
- Witten, I. H., Frank, E., & Hall, M. A. (2005). Practical machine learning tools and techniques. *Morgan Kaufmann*, 578.
- Yılankıran, N. ve Doğan, H. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu\*. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 10(2):1-16
- Yu, Y., & Zhang, N. (2021). Low-carbon city pilot and carbon emission efficiency: Quasi-experimental evidence from China. *Energy Economics*, 96, 105125.
- Zhang, M., Mu, H., & Ning, Y. (2009). Accounting for energy-related CO<sub>2</sub> emission in China, 1991–2006. *Energy policy*, 37(3), 767-773.



# TEKNOVERSITE





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

