T. C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
İSTATİSTİK BİLİM DALI

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SOSYOEKONOMİK ETKİLERİNİN MODELLENMESİNİ GELİŞTİRMEK İÇİN BİR ÇERÇEVE

(DOKTORA TEZİ)

FADİME AKSOY

BURSA-2023

T. C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
İSTATİSTİK BİLİM DALI

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SOSYOEKONOMİK ETKİLERİNİN MODELLENMESİNİ GELİŞTİRMEK İÇİN BİR ÇERÇEVE

(DOKTORA TEZİ)

FADİME AKSOY

Danışman:

Prof. Dr. Nuran BAYRAM ARLI

BURSA-2023

T. C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Ekonometri Anabilim Dalı, İstatistik Bilim Dalı'nda 711617007 numaralı Fadime AKSOY'un hazırladığı "İklim Değişikliğinin Sosyoekonomik Etkilerinin Modellenmesini Geliştirmek için Bir Çerçeve" konulu Doktora Çalışması ile ilgili tez savunma sınavı, 28/04/2023 günü 12:00–13:30 saatleri arasında yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin başarılı olduğuna oybirliği ile karar verilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı ve Sınav Komisyonu Başkanı)
Prof. Dr. Nuran BAYRAM ARLI
Bursa Uludağ Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Özer ARABACI
Bursa Uludağ Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR
Bursa Uludağ Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Metehan YILGÖR
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Ayşegül İŞCANOĞLU ÇEKİÇ
Trakya Üniversitesi

28/04/2023

Yemin Metni

Doktora tezi olarak sunduğum "İklim Değişikliğinin Sosyoekonomik Etkilerinin Modellenmesini Geliştirmek için Bir Çerçeve" başlıklı çalışmanın bilimsel araştırma, yazma ve etik kurallarına uygun olarak tarafımdan yazıldığına ve tezde yapılan bütün alıntıların kaynaklarının usulüne uygun olarak gösterildiğine, tezimde intihal ürünü cümle veya paragraflar bulunmadığına şerefim üzerine yemin ederim.

28/04/2023

Adı Soyadı : Fadime AKSOY

Öğrenci No : 711617007

Anabilimdalı : Ekonometri

Programı : İstatistik

Tezin türü : Doktora

ÖZET

Yazar Adı ve Soyadı	: Fadime AKSOY
Üniversite	: Bursa Uludağ Üniversitesi
Enstitü	: Sosyal Bilimler Enstitüsü
Anabilimdalı	: Ekonometri
Bilimdalı	: İstatistik
Tezin Niteliği	: Doktora
Sayfa Sayısı	: ix+137
Mezuniyet Tarihi	:
Danışmanı	: Prof. Dr. Nuran BAYRAM ARLI

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SOSYOEKONOMİK ETKİLERİNİN MODELLENMESİNİ GELİŞTİRMEK İÇİN BİR ÇERÇEVE

İnsan faaliyetlerinden kaynaklı sera gazı emisyonlarından dolayı ortalama küresel yüzey sıcaklığı artmaya başlamış ve küresel ısınmaya neden olmuştur. Küresel ısınmadan kaynaklı olan iklim değişikliği birçok sistemi olumsuz etkilemiştir. Mevcut koşullar devam ettiği sürece iklim değişikliğinin etkileri artacak ve şiddetlenecektir. Özellikle sosyoekonomik sistemler bu etkilere daha fazla maruz kalacaktır. Küresel iklim değişikliğini azaltmak ve etkilerini yönetebilmek için birtakım araçlara ve yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı karşılamak adına atılan adımlardan en önemlisi entegre değerlendirme modelleridir. Entegre değerlendirme modelleri özünde, uzun zaman ölçeğinde sosyoekonomik sistem ile doğal sistem arasındaki karmaşık etkileşimleri ve geri bildirimleri temsil eden ve iklim politikası oluşturma sürecine bilgi sağlamak için tasarlanmış bilgisayar simülasyonlarıdır. Literatürde çok sayıda entegre değerlendirme modeli bulunmasının yanı sıra bu modeller, ele almak için tasarlandıkları politika sorularının yapısı, ayrıntıları ve türleri bakımından büyük ölçüde farklılık göstermektedir.

Bu çalışma ekonomik büyüme modelini yarı endojen büyüme perspektifinden ele alarak E7 ülkeleri için bir entegre değerlendirme modeli sunmaktadır. Bu model sonucunda E7 ülkeleri için ekonomik büyüme projeksiyonu oluşturulmuş ve sosyal refah fonksiyonu kullanılarak optimal bir iklim politikası belirlenmiştir. Ayrıca karbonun sosyal maliyeti tahmin edilerek bir ton CO_2 azaltmanın bu ülkelere ne kadar mali yük getireceği belirlenmiştir. Karbon için belirlenen fiyat literatürdeki çoğu değerden yüksek olmakla birlikte güncel çalışmaların eğilimini yansıtmaktadır. Çalışma iklim değişikliğinin modellenmesini geliştirerek, iklim değişikliğinin potansiyel sosyoekonomik etkilerine ilişkin değerli bilgiler sağlamakta ve böylece etkili karar alma ve politika geliştirmeyi desteklemektedir.

Anahtar kelimeler: Entegre değerlendirme modeli, İklim değişikliği, Karbonun sosyal maliyeti, Optimal iklim politikası

ABSTRACT

Name and Surname	: Fadime AKSOY
University	: Bursa Uludağ University
Instution	: Social Science Institute
Field	: Econometrics
Branch	: Statistics
Degree Awarded	: PhD
Page Number	: ix+137
Degree Date	:
Supervisor	: Prof. Dr. Nuran BAYRAM ARLI

A FRAMEWORK TO IMPROVE THE MODELING OF THE SOCIOECONOMIC IMPACTS OF CLIMATE CHANGE

Climate change is a global issue caused by the increase in greenhouse gas emissions from human activities, leading to a rise in average global surface temperature, also known as global warming. This phenomenon has negatively impacted various systems, and unless mitigating measures are taken, the effects of climate change will continue to worsen, particularly affecting socioeconomic systems. Managing and reducing global climate change requires the use of a range of tools and approaches, with integrated assessment models being a crucial step towards informed climate policy-making. Integrated assessment models are computer simulations that depict complex interactions and feedbacks between the natural and socioeconomic systems over extended periods of time.

Numerous integrated assessment models have been developed and studied in the literature, but these models differ considerably in their details and the policy questions they address. In this study, we present an integrated assessment model for the E7 countries that utilizes an economic growth model from a semi-endogenous growth perspective. Using this model, we projected economic growth for the E7 countries and determined the optimal climate policy by applying the social welfare function. Moreover, we estimated the social cost of carbon to gauge the financial burden of reducing one ton of CO2 emissions in these countries. Our results reveal a higher carbon price than most previous studies, reflecting current trends. By improving the modeling of climate change, this study provides valuable information on the potential socioeconomic impacts of climate change and thus supports effective decision-making and policy development.

Keywords: Integrated assessment model, Climate change, Social cost of carbon, Optimal climate policy

ÖNSÖZ

Doktora sürecim boyunca kıymetli rehberliği ile en derin minnettarlığım Prof. Dr. Nuran Bayram Arlı'ya aittir. Onun teşviki ve desteği, tez çalışmamın uygulama bölümünde karşılaştığım engellere karşı olumlu bir tutum sergilememe yardımcı oldu. Ne zaman soru sorsam ofisinin kapısı her zaman açık olan ve müthiş bir sabırla yol gösteren Prof. Dr. Özer Arabacı'ya, tez izleme toplantılarındaki önemli yorumları ve sürekli desteği için Prof. Dr. Fatih Çavdur'a, doktora dönemimin her aşamasında hem verdiği tavsiyeler hem de gösterdiği anlayış için Prof. Dr. Metehan Yılgör' e, tez çalışmam için ayırdığı zaman ve değerli yorumları için Doç. Dr. Ayşegül İşcanoğlu Çekiç'e teşekkür ederim.

Neşe Aral ve Mine Aydemir Dev' e kahve eşliğinde sayısız tartışma ile çalışmama katkıda bulundukları ve süreçten keyif almamı sağladıkları için çok teşekkür ederim. İyi ki varlar. Sevgili Sinem Atay ve Sena Erdoğan'a zorlandığım her an motive etmek için harcadıkları zaman ve değerli yorumları için çok teşekkür ederim. Desteklerini ve dostluklarını asla unutmayacağım.

Yaşamım boyunca koşulsuz sevgileri, sonsuz destekleri için aileme çok teşekkür ederim. Özellikle annem Sultan Çelik ve babam Nadir Çelik 'in sonsuz anlayışı ve desteği olmadan doktora çalışmamı başarıyla sürdüremez ve tamamlayamazdım. Ayrıca bu sürecin zorlu zamanlarında verdikleri destek ve özveri için Halime Aksoy ve Kenan Aksoy'a çok teşekkür ederim. Son olarak, can eşime sevgisi, muazzam desteği ve büyük sabrı için yürekten müteşekkirim. Çok yorgun ve huysuz olduğum zamanlarda bile en iyi arkadaşım oldu. Doktora sürecimin son döneminde hayatıma giren minik oğlum, bu zor süreçte motivasyon kaynağım olduğun için sana olan teşekkürüm en özelinden. Onlarla 2050'de model tahminlerimi gerçek verilerle kontrol etmeyi dört gözle bekliyorum.

Ayrıca burada ismini sayamadığım doktora tezimi tamamlamamda doğrudan veya dolaylı olarak bana yardımcı olan ve yoluma ışık tutan herkese teşekkür ederim.

Fadime AKSOY

Bursa-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
TABLOLAR vi
ŞEKİLLER vii
KISALTMALAR vii
GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ANLAŞILMASI

1.1. İklim Değişikliğinin Küresel Bir Sorun Olarak Ortaya Çıkışı 6
1.2. İklim Değişikliğinin Nedenleri 8
1.3. İklim Değişikliğinin Etkileri 9
1.3.1. Hava Olaylarına Etkisi 10
1.3.2. Deniz Seviyelerine Etkisi 13
1.3.3. Mevsimlere Etkisi 14
1.3.4. Canlı Yaşamına ve Türlere Etkisi 14
1.3.5. Sosyoekonomik Etkisi 16
1.4. İklim Değişikliğinin Sosyoekonomik Bir Sorun Haline Gelmesi 21
1.5. İklim Değişikliğini Azaltma Yaklaşımları 23
1.5.1. Jeo-Mühendislik 23
1.5.2. Adaptasyon 25
1.5.3. Emisyon Azaltma 27
1.6. İklim Değişikliğinin Azaltılmasına Yönelik Politikalar 30

1.7. Karbonun Sosyal Maliyeti 34
1.7.1. İskonto Oranı 37

İKİNCİ BÖLÜM
ENTEGRE DEĞERLENDİRME MODELLERİ

2.1. İklim Değişikliğinin Modellenme Süreci 41
2.2. Entegre Değerlendirme Modelleri 43
2.2.1. DICE/RICE Model 49
2.3. Senaryolar 56

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
E7 ÜLKELERİ İÇİN ENTEGRE DEĞERLENDİRME MODELİNİN KURULMASI

3.1. Veri Seti 63
3.2. Model Oluşturma 65
3.2.1. Karbon Döngüsü Modeli 65
3.2.2. İklim Dinamikleri Modeli 68
3.2.3. Ekonomik Büyüme Modeli 71
3.3. Entegre Değerlendirme Modelinin Çözümü 83
3.4. Entegre Değerlendirme Modeli Analiz Sonuçları 90
SONUÇ 102
KAYNAKLAR 106
EKLER 136
ÖZGEÇMİŞ 138

TABLOLAR

Tablo 3.1. Karbon Döngüsü Parametre Değerleri 67

Tablo 3.2. İklim Dinamikleri Model Parametre Değerleri 71

Tablo 3.3. Ekonomik Büyüme Model Parametre Değerleri 83

Tablo 3.4. Ekonomik Büyüme Modelinin Kalibrasyon Parametrelerinin Varyans-Kovaryans Değerleri 87

Tablo 3.5. CO_2 Emisyon Oranlarına Göre Ortalama Küresel Yüzey Sıcaklıkları 90

Tablo 3.6. Farklı İklim Politikalarının Farklı Yıllarda CO_2 Emisyon Oranlarına Etkisi 93

Tablo 3.7. Farklı İklim Politikalarının Farklı Yıllarda Sıcaklık Derecelerine Etkisi 94

Tablo 3.8. Farklı İklim Politikalarının Farklı Yıllarda Maliyet Oranlarına Etkisi 95

Tablo 3.9. Farklı İklim Politika Uygulamaları Sonucu Kişi Başına Tüketimde Meydana Gelen Değişim 96

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Farklı Politikalara Göre Karbonun Sosyal Maliyeti 36

Şekil 2.1. DICE Şematik Gösterimi 52

Şekil 2.2. SSP'lerin İklim Değişikliği Azaltma ve Adaptasyon Zorluklarına Göre Konumlanması 61

Şekil 3.1. Gözlememlenen ve Modellenen Atmosferik CO_2 Konsantrasyonları 68

Şekil 3.2. Gözlememlenen ve Modellenen Yıllık Ortalama Yüzey Sıcaklığı 71

Şekil 3.3. E7 Ülkeleri için Gelir Projeksiyonu..... 87

Şekil 3.4. Gözlemlenen ve Modellenen Brüt Çıktı 88

Şekil 3.5. CO_2 Emisyon Oranlarına Göre Yıllık Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı Değişimi 91

Şekil 3.6. CO_2 Emisyon Oranlarının Yılda %1.96 Azaltılması ile Ortalama Küresel Yüzey Sıcaklığı Değişimi 92

Şekil 3.7. E7 Ülkelerinde CO_2 Emisyon Oranları..... 93

Şekil 3.8. E7 Ülkelerinde Farklı Emisyon Azaltım Oranlarının Maliyetleri 97

Şekil 3.9. E7 Ülkelerinde Farklı Emisyon Azaltım Oranlarının İklim Değişikliği Etkileri..... 98

Şekil 3.10.OECD Tarafından E7 Ülkeleri için Hazırlamış Olduğu SSP'ler ile Tez Çalışmasından Elde Edilen Ekonomik Büyüme Projeksiyonlarının Karşılaştırılması 101

KISALTMALAR

AR4 : Fourth Assessment Report
AR5 : Five Assessment Report
AR6 : Sixth Assessment Report
CCS : Carbon Capture and Storage
CDR : Carbon dioxide removal
COP : The Conference of Parties
DICE : Dynamic Integrated Climate Economy Model
E7 : Emerging 7
EBM : Energy Balance Model
ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ESM : Earth System Model
EU : European Union
FAR : First Assessment Report
GCM : General Circulation Model
IAM : Integrated Assessment Model
IEA : The International Energy Agency
IIASA : The International Institute for Applied Systems Analysis
IMF : The International Monetary Fund
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
MAPE : Root Mean Square Error Sayfa Sayısı
NDCs : Nationally Determined Contributions
OECD : The Organization for Economic Co-operation and Development
PIK : Potsdam Institute for Climate Impact Research
RCM : Radiative Concevtive Model
RCP : Representative Concentration Pathways
RICE : Regional Integrated Climate Economy Model
RMSE : Mean Absolute Percentage Error
SCC : Social Cost of Carbon
SMR : Solar Radiation Management
SRES : The Special Report on Emissions Scenarios
SSP : Shared Socioeconomic Pathway

TAR : Third Assessment Report

UN : United Nations

UNCCD : The United Nations Convention to Combat Desertification

UNEP : The United Nations Environment Programme

UNFCCC :United Nations Framework Convention on Climate Change

US IWG : US Intertnational Workplace Group

WHO : World Health Organization

WMO : World Meteorological Organization

WTT : World Travel and Tourism Council

GİRİŞ

"Yapı taşları bu kadar eski püsküyse, entegre modeller oluşturmaya hiç değer mi? Cevap, modellerin mevcut zayıflıklarına rağmen açıkça evettir. Bunun nedeni, modellemenin bizi varsayımlarımızı ortaya çıkarmaya zorlaması ve bu varsayımları değiştirmenin sonuç açısından ne kadar önemli olduğunu göstermesidir" (Toth, 1995).

İklim değişikliği, çevresel bozulma, küresel eşitsizlik ve küresel güven sorunu ile birlikte 21. yy.'ın en belirgin dört sorunu arasında yer almaktadır (IPCC, 2014). Dünya Ekonomik Forumu, Küresel Riskler Raporu'nda (WEF, 2020) iklim değişikliğini ekonomi ve toplum için en büyük risk olarak göstermiştir. İklim değişikliği dünyayı beklenenden daha sert ve hızlı bir şekilde etkilemektedir. Bu nedenle doğal yaşamın devamlılığını şekillendirme ve insanların geleceğini belirleme açısından en a,z ekonomik krizler, askeri çatışmalar, siber savaşlar ve nükleer tehditler kadar belirleyici bir konuma sahiptir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)[1]'nin son yayınladığı 6. değerlendirme sentez raporu AR6 'da 21. yüzyılın ilk yirmi yılında (2001-2020) ortalama küresel yüzey sıcaklığının, 1850-1900'den bu yana 0,99°C [0,84-1,10] daha yüksek olduğunu ifade etmiştir. Ortalama küresel yüzey sıcaklığı, 1970'ten bu yana, diğer dönemlere göre en hızlı artışı göstermiştir (IPCC, 2023). Ayrıca küresel sıcaklıkların yüzyılın sonuna doğru en az 3°C artma eğiliminde olduğu öngörülmektedir (UNEP, 2022). Bu değer, iklim uzmanlarının en ağır ekonomik, sosyal ve çevresel sonuçlardan kaçınmak için belirlediği sınırın iki katıdır (IPCC, 2018).

İklim değişikliğinin dünya yaşamı üzerinde uzun vadede onarılmaz hasarlara neden olacağı kısa vadeli etkileri üzerinden kolaylıkla görülmektedir. Bu kısa vadeli etkileri; can kaybı, çevresel stres, olumsuz ekonomik etkiler, su ve yiyecek krizi, sosyal ve jeopolitik gerilimler gibi etkilerdir (WEF, 2020). Şimdiden çok fazla türün ve ekosistemin devamlılığı, iklim değişikliği yüzünden tehdit altındadır. Birçok canlı türü yok olmaya başlamış veya yok olma tehlikesi ile karşı karşıya gelmiştir (Zhang vd., 2019). 2022 yılında insan kaynaklı afetler ve doğal felaketlerden kaynaklanan ekonomik kaybın 275 milyar ABD doları olduğu açıklanmıştır. Ayrıca bu kaybın küresel gayri safi yurt içi hasılanın (GSYİH) %0,27'si kadar olduğu ifade edilmiştir (Sigma, 2023). Ricke

[1] Tez boyunca tüm kısaltmalar ingilizce kısaltmaları şeklinde kullanılacaktır.

vd. (2018)'ne göre, iklim değişikliğinden dolayı ülkeler eşit olmayan kayıplar yaşayacaklar, en yüksek ekonomik maliyetler büyük ekonomiler tarafından hissedilirken, daha küçük ve daha yoksul ekonomilerde etkilere maruz kalma, ölüm ve ekonomik olmayan maliyetler daha yüksek olacaktır.

İklim değişikliğinden kaynaklı Dünya'nın ısınması, sıcaklık dalgalarının hem frekans hem de şiddet olarak artması, deniz seviyelerinin yükselmesi, yağışların düzensiz olması, büyük buz kütlelerinin erimesi gibi değişimler aşırı hava koşullarına, ikincil olaylara (kuraklık, orman yangını vb.) ve ikincil olayların etkilediği olayların (şiddetli yağmur, fırtına, sel, heyelan vb.) meydana gelmesine yol açmaktadır. İklim değişikliğinin bu etkileri küresel bir acil durum oluşturmaktadır (The Club of Rome, 2019). İklim değişikliğinin artık engellenemeyeceği fakat etkilerini hafifletmenin, mücadele stratejileri geliştirmenin ve uyum sağlayabilmenin büyük önem teşkil ettiği kabul edilmektedir. Bu nedenle vakit kaybetmeden iklim değişikliğinden kaynaklı kaçınılmaz risklerin yönetilmesi ve toplumun kırılganlığının azaltılması gerekmektedir (IPCC, 2007). İklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesi ve izlenmesini sağlayacak güvenilir ve yaygın bir şekilde kullanılabilir değerlendirme yöntemlerine gereksinim olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu amaçla bilim insanları, Dünya'nın iklimini simüle etmeye, zaman içinde nasıl ve neden değiştiğini anlamaya, iklim değişikliğini azaltmaya çalışmışlar ve etkilerinin hafifletilebilmesi için çözümler aramışlardır. İklim bilimcileri, iklim değişikliğiyle ilgili fiziksel mekanizmaları anlamada büyük ilerleme kaydetmiş olsalar da, iklim değişikliğinden kaynaklı olayların toplumu ve ekonomiyi nasıl etkileyebileceğine ilişkin literatürde hala devam etmekte olan dinamik bir tartışma vardır (Bosello vd., 2012; Budolfson vd., 2019; Burke vd., 2016; Carleton ve Hsiang, 2016; Dell vd., 2014; Farmer vd., 2015; Greenstone ve Jack, 2015; Lamperti vd., 2019; Maddison ve Rehdanz, 2011; Nordhaus, 2013a; Pindyck, 2013b; Rennert vd., 2021b; Tol, 2018; Weitzman, 2015; Yohe ve Tol, 2008). Literatür iklim değişikliği ile ilgili çalışmalar konusunda oldukça zengin olmakla beraber, iklim sistemin karmaşıklığı, belirsizliği ve bazı etkilerinin hala bilinmiyor olması nedeniyle çok fazla eleştiriye de maruz kalmaktadır. Bu nedenle güncel bir sorun olan bu konu üzerinde daha fazla çalışma yapılması, sistemin mevcut eksiğinin kapatılmasına, iyileştirilmesine ve geleceğe ışık tutmasına fayda sağlayacaktır. Bu durum tez çalışmasının motivasyon kaynağını oluşturmuştur.

Literatürde iklim değişikliğine karşı hiçbir şey yapmama yaklaşımından ciddi emisyon azaltımlarına kadar olan çok çeşitli tartışmalara rağmen iklim değişikliğinin gelecek nesiller için maliyetli olacağı ve günümüz neslinin karbon emisyonlarını azaltmak için ekonomik fedakarlıklar yapması gerektiği konusunda geniş bir fikir birliği vardır. Bu nedenle bu çalışmanın da savunduğu gibi iklim politikası çağımızın belirleyici konularından birisidir ve temel amacı, iklim değişikliğinin olası olumsuz etkilerinden kaçınmayı sağlamaktır. Ayrıca iklim değişikliğinin sosyoekonomik etkileri iklim politikası seçimine kritik bir şekilde bağlı olduğu için, etkili iklim politikalarının uygulanması, artık çoğu hükümet ve kurumun öncelikleri arasına girmiştir. İklim değişikliğinin hızlanmasının ve diğer sistemleri etkilemesinin engellenmesi ve gerekli politikaların uygulanabilmesi için ekolojik ve sosyoekonomik sistemlerin birlikte evrimi hakkında zamanında, güvenilir ve erişilebilir bilgiye ihtiyaç vardır. Bu kapsamda insan faaliyetleri, çevre ve iklim arasındaki karmaşık, dinamik ve doğrusal olmayan ilişkileri anlamak ve politika tasarımı yapabilmek için çeşitli araç ve metodolojiler geliştirilmiştir (Calvin ve Bond-Lamberty, 2018; Lamperti vd., 2019; Tol, 2018; Weyant, 2017). İklim değişikliğini hem doğal sistemler hem de sosyoekonomik sistemler bütününde ele alarak inceleyen en çok kabul görmüş, IPCC ve birçok hükümet tarafından iklim değişikliği politikası geliştirilmesinde kullanılarak giderek daha etkili hale gelmiş modeller, entegre değerlendirme modelleri (IAM)'dir (Farmer vd., 2015; Krey vd., 2019; Metcalf ve Stock, 2015). IAM'ler, son derece karmaşık fiziksel ve sosyal sistemleri temsil etmek için basitleştirilmiş sayısal yaklaşımlardır. IAM'ler insani gelişim ve toplumsal seçimlerin iklim değişikliği de dahil olmak üzere doğal dünyayı ve birbirlerini nasıl etkilediğinin anlaşılmasına yardımcı olmak için tasarlanmıştır (Kelly ve Kolstad, 2000). Başlangıçta IAM'ler enerji denge modellerini temel alarak geliştirilmiştir. İlk olarak enerji modellerine bir emisyon modeli dahil edilerek başlanmış, daha sonra karbon döngüsü modeli ve küçük bir iklim modeli eklenerek geliştirilmesine devam edilmiştir (Nordhaus, 1991). Nordhaus'tan (1991) bu yana küresel iklimi ve farklı sistemleri modellemek için çeşitli yaklaşımlar ve modeller kullanan birçok IAM geliştirilmiştir (Krey vd., 2019). IAM'lerin benzer noktaları olmasına rağmen, her biri benzersiz bir yapıya ve odağa sahiptir (Calvin vd., 2019). Yakalamaya çalıştıkları ilişkiler hakkında farklı varsayımlar yapmakta ve "iklim değişikliğinin sistemler üzerindeki etkileri nedir?" sorusuna farklı cevaplar vermektedir. Bu bir model türünün diğer model türünden iyi olduğu anlamına gelmemektedir (Stanton vd., 2009; Wang vd., 2017). Hangi IAM'lerin kullanılacağına

karar vermek, iklim ile hangi sistemlerin birleşimine odaklanıldığına ve çalışma hipotezlerine bağlıdır. Çünkü her bir IAM iklim değişikliği sorununa farklı şekilde yaklaşmak için tasarlanmıştır. Örneğin, bazı modeller daha çok ekonomik konulara (DICE/RICE, FUND, PAGE gibi) odaklı modeller iken, bazıları ağırlıklı olarak fiziksel modellerdir (MAGIC gibi) ve bazı modellerde küresel bir odaklanma var iken (DICE, IMAGE gibi), bazılarında bölgesel bir odaklanma vardır (RICE, AIM gibi). Nordhaus (1991)'den bu yana, iklim değişikliğinin sosyoekonomik sistemler üzerindeki etkisini ve üretim ve tüketimden kaynaklı çevresel etkileri azaltmanın ekonomik maliyetini incelemek için çok sayıda IAM geliştirilmiştir. Fakat bu modellerde bazı parametrelerin (iklim duyarlılığı, iskonto oranı gibi) kalibre edilmesi ve "doğru" hasar fonksiyonunun ve azaltım maliyet fonksiyonunun ne olduğu konusu üzerine literatürde devam eden bir tartışma vardır. Bu nedenle sosyoekonomik ve iklim bilimindeki gelişmelere ve değişimlere uyum sağlamak için var olan modellerin iyileştirilmesi, yeni modelleme tekniklerinin ve fikirlerinin geliştirilmesi, bu konu üzerine yapılan çalışmalarının sonuçlarının sürekli takip edilmesi ve modellerin buna göre revize edilerek eksikliklerinin giderilmesi ve güncellenmesi gerekmektedir (Farmer vd., 2015). Aynı zamanda bu durum tez çalışmasının özgünlüğünü ve yapılma amacını da göstermektedir. Bu kapsamda tezin amacı; Nobel ödüllü Nordhaus tarafından geliştirilmiş DICE/RICE modellerini temel alarak E7 ülkelerinde iklim değişikliğinin sosyoekonomik etkilerini değerlendirmek ve iklim değişikliğinin azaltılması için optimal iklim politikasını belirlemek amacıyla entegre değerlendirme modeli oluşturmaktır. Bu kapsamda tez araştırmasının soruları şunlardır: İklim değişikliğini azaltacak ve etkilerini en aza indirerek insan refahını arttırmak için uygulanacak optimal iklim politikası nedir? Farklı emisyon azaltım oranlarının sosyoekonomik etkileri nelerdir? E7 ülkeleri için karbonun sosyal maliyeti nedir? Oluşturulan model, E7 ülkeleri için oluşturulmuş ilk entegre değerlendirme modeli özelliği taşımaktadır.

Yukarıda da bahsedildiği üzere tez çalışmasına ilişkin literatür incelendiğinde, mevcut çalışmalarda iklim değişikliğinin sosyoekonomik etkileri anlamak için geliştirilmiş IAM'ler üzerine dinamik bir tartışma olduğu görülmektedir (Bretschger ve Pattakou, 2019; Farmer vd., 2015; Moore ve Diaz, 2015). İklim değişikliğinin sosyoekonomik sistemler ile ilişkisini modellemek zor olduğu için bu alanda yapılan çalışmaların çoğu bu açıdan tatmin edici değildir ve iklim değişikliğinin yapısı gereği literatürdeki modellerin sürekli geliştirilmesi gerekmektedir (Bretschger ve Pattakou,

2019; Farmer vd., 2015). Bu noktada çalışmanın literatüre katkısı, entegre değerlendirme modellerinde kullanılan ekonomik büyüme modelinin daha iyi bir temsilini bulabilmek adına bir dışsal büyüme modelinden ziyade Jones (1995a) tarafından geliştirilen yarı endojen büyüme modelinin kullanılmasıdır. Dolayısıyla bu çalışmanın önemi ilgili literatürün gelişmesine ve tartışmalara katkı sağlamış olması ve karbonun sosyal maliyetini ölçen daha güncel ve son çalışmaların eğilimini yansıtan bir model geliştirilmiş olmasıdır. Ayrıca bu model sonucunda E7 ülkeleri için elde edilen projeksiyonlar %95 güven düzeyinde elde edilmiştir.

İklim değişikliğinin çağımızın en büyük sorunu olması nedeniyle toplum, çevre ve ekonomi açısından gelecekteki rolü dikkate alındığında çalışmanın sonuçlarından elde edilecek bilgiler ve politika önerileri önem taşımaktadır. Bu bağlamda çalışmanın ampirik sonuçlarının politika yapıcılara optimal iklim politikası belirlenmesi konusunda yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Çalışma bu açıdan da özgün bir değere sahiptir.

İklim değişikliğinin doğasında bulunan belirsizlik nedeniyle elde edilen sonuçlar, parametre değerlerine, ön kabullere, gelecekteki emisyon ve sosyoekonomik senaryo varsayımlarına duyarlı olmaktadır. Aynı zamanda orijinal çalışmaların doğası ve kapsamı ile sınırlı kalmaktadır. Bu, literatürdeki diğer çalışmalarda da olduğu gibi tez çalışmasının en önemli kısıtını oluşturmaktadır. Bu kısıt aynı zamanda literatürün de güncel kalmasını sağlamaktadır.

Bu tez çalışması üç bölüm olacak şekilde planlanmıştır. İlk bölümde iklim değişikliğinin küresel bir sorun olarak ortaya nasıl çıktığı, nedenleri, etkileri, sosyoekonomik bir sorun haline gelme süreci ve iklim değişikliği ile nasıl başa çıkılması gerektiği ele alınmıştır. İkinci bölümde, iklim değişikliğinin sosyoekonomik etkilerinin modellenmesi için kullanılan entegre değerlendirme modelleri tanıtılmıştır. Daha sonra oluşturulan modelin temel alındığı DICE model anlatılmıştır. İkinci bölümün son kısmında model kapsamında ele alınacak senaryolara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise öncelikle veri seti tanıtılmış, E7 ülkeleri için entegre değerlendirme modeli oluşturulmuş, modelin her bir alt bileşeni ayrı ayrı olarak anlatılmıştır. Son alarak model doğrusal olmayan optimizasyon yöntemiyle çözülerek elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar da göz önünde bulundurularak tartışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ANLAŞILMASI

İklim değişikliğinin insanlığın karşılaştığı en tehlikeli ve en büyük sorunlardan biri olduğunun anlaşılması için ilk olarak iklim biliminin temelinin anlaşılması gerekmektedir. Küresel ısınmanın büyük bir kısmının CO_2 kaynaklı olduğunun iddia edildiği iklim değişikliği bilimi, bir asırdan daha eski bir geçmişe sahip olup, modern yerbilimlerinin en büyük başarılarından biri olmuştur (Nordhaus, 2013). Tezin ilerleyen bölümlerinde anlatılacak olan iklim değişikliğinin modellenmesini incelemeden önce iklim değişikliğinin bilimsel temellerinin anlaşılması, insan ve diğer canlılar üzerindeki etkilerinin neler olduğunun/olacağının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bu bölümde iklim değişikliğinin ne olduğundan, nasıl ortaya çıktığından, nasıl bir süreç izlediğinden, etkilerinden, gelecekteki risklerinden, azaltma yaklaşımlarından ve politikalarından bahsedilmiştir.

1.1. İklim Değişikliğinin Küresel Bir Sorun Olarak Ortaya Çıkışı

İklim değişikliğinin küresel bir sorun olarak nasıl ortaya çıktığı anlatılmadan önce iklim değişikliği kavramı ile ne kastedildiğinden bahsedilmiştir.

Günümüzde iklim değişikliğinin oldukça belirgin hale gelmesi ile beraber iklim değişikliği kavramını duymayan ve ondan etkilenmeyen canlı kalmamıştır. İklim değişikliği kavram olarak en basit hali ile, sıcaklık, yağış, rüzgar, nem gibi meteorolojik olaylar ile ilgili ölçülebilir değerlerde çok uzun dönemlerde meydana gelen istatistiksel değişim olarak ifade edilmektedir (Nordhaus, 2013). Bu değişiklikler geçmişte doğal olaylar sonucu ortaya çıkmış olsa bile 1800'lerden bu yana kömür, petrol ve doğal gaz gibi karbon bazlı fosil yakıtların yakılması nedeniyle insan faaliyetleri iklim değişikliğinin ana itici gücü olmuştur. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'nde, iklim değişikliğini "*Karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlemlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde meydana gelen değişiklik*" şeklinde tanımlamıştır (UN, 1992).

Foote (1956), farklı gazlar (hidrojen, oksijen, CO_2 ve karışık hava) üzerinde güneş ışınlarının etkisini ölçtüğü bir deneyde, CO_2 içeren deney tüpünün diğer gazları içeren

tüplerden daha fazla ısındığını ve soğumasının diğer gazlara göre birkaç kat daha uzun sürdüğünü bulmuştur. Bu deney "sera gazı etkisi" tanımının temeli olmakla beraber CO_2 gazının, Dünya'nın sıcaklığını değiştirme gücüne sahip olduğunun ilk bilimsel kanıtı olmuştur. Tyndall (1859), Foote (1856)'un çalışmasından yola çıkarak su buharı (H_2O), Karbondioksit (CO_2), nitröz oksit (N_2O), metan (CH_4) ve ozon (O_3) gibi gazların göreli ısı absorpsiyonunu (soğurma) doğru bir şekilde ölçerek iklim biliminin öncüsü kabul edilmiştir. Arrhenius (1896), sera gazlarındaki değişimler göz önüne alındığında Dünya'nın sıcaklığının ne kadar değişebileceğini hesaplamıştır. Atmosferdeki CO_2 miktarının yarıya düşmesinin küresel sıcaklığı 4°C düşüreceğini ve bunun buzul çağlarının ana nedeni olabileceğini, CO_2 miktarının iki katına çıkması ise küresel sıcaklığı 4°C artıracağını tahmin etmiştir. Fosil yakıtların kullanılması ile CO_2 emisyonlarının küresel ısınmaya neden olacak kadar artacağını o yıllarda öngörmüştür. Callendar (1938), 50 yıllık bir dönemi kapsayan 147 sıcaklık kaydını derleyerek Dünya'nın ısındığını göstermiş ve atmosferik CO_2'in iki katına çıkmasının, 2°C'lik küresel ısınmaya neden olacağını tahmin etmiştir. 1940'lardan 1950'ler sonuna kadar bilim insanları, okyanusların atmosfere salınan herhangi bir ekstra CO_2 miktarını kolaylıkla emeceğini savundukları için, olası küresel ısınmayı o dönem göz ardı etmişlerdir. Revelle ve Suess (1957), okyanus yüzeyi üzerine yaptıkları çalışmada, okyanusların emdikleri CO_2'in çoğunu atmosfere geri döndürdüğünü bulmuş ve okyanusların düşünüldüğü gibi CO_2 için bir yutak olmadığını göstermiştir. Keeling (1958), dahil olduğu bir proje ile havadan aldığı örnek numunelerin içerdikleri CO_2 miktarını ölçerek atmosferik CO_2'i incelemeye başlamıştır. Zamanla gece alınan hava numunelerinin, gündüz alınan numunelere göre daha yüksek konsantrasyonda CO_2 içerdiğini gözlemlemiştir. Buna bitkilerin fotosentez ve solunumunun sebep olduğunu ifade etmiştir. Keeling, ölçümlerini birkaç yıl boyunca devam ettirerek CO_2 seviyelerinin ilkbaharda en düşük olduğunu, sonbaharda ise en yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır. Araştırmasına devam eden Keeling, Amerika Birleşik Devletleri'nin Hawaii'deki Mauna Loa Gözlemevi'nde fosil yakıtların kullanımının ve arazi kullanımındaki değişikliklerin, küresel atmosferik CO_2 seviyelerini neredeyse her yıl artırdığını keşfetmiştir. Küresel ısınma konusundaki araştırmalarda artış olmasına rağmen; 1940'tan 1970'lerin ortalarına kadar ortalama küresel yüzey sıcaklığının düşme eğilimi göstermesi ile bilim insanları dünyanın buzul çağına girip girmediğini tartışmaya başlamış ve küresel ısınma kavramı üzerindeki ilgi küresel soğuma kavramı üzerine kaymıştır. 1980'lerin sonlarında, yıllık ortalama küresel yüzey

sıcaklığının hızlı bir şekilde artması ile küresel ısınma teorisi tekrardan ön plana çıkmış ve bundan sonra iklim değişikliği ciddi anlamda küresel bir sorun olarak görülmeye başlanmıştır. IPCC'nin 2021 yılında yayınladığı raporda, atmosferdeki CO_2 seviyelerinin sanayi devriminin başlangıcından bu yana artığını**,** 1980'lerin sonunda fark edilen küresel sıcaklıktaki eğilimin doğru olduğunu ve bu ısınma eğiliminin günümüze kadar kesintisiz devam ettiğini ifade etmiştir.

1.2. İklim Değişikliğinin Nedenleri

Güneş'ten Dünya'ya gelen ısı, ışınımdır. Bu ışınım enerjisi, sıcaktır ve yaklaşık %30'u uzaya geri yansıtılmaktadır. Dünya'nın atmosferinde bulunan CO_2, CH_4, O_3 gibi gazlar ve su buharı geri kalan enerjiyi emmekte ve ısıyı içinde hapsetmekte, bu durum da yeryüzünü ısıtmaktadır. Atmosferin doğal bir "sera" olarak tanımlanmasının nedeni de budur. Sera etkisi, atmosferdeki gazların güneş ışınları ile gelen ısıyı tutmasıyla meydana gelen bir süreçtir ve yeryüzünün denge sıcaklığında kalmasını sağlamaktadır. Dünya'da sera etkisi olmasaydı gezegen kalıcı bir buz devri yaşayacak ve canlı yaşamı mümkün olmayacaktı. Dünya'yı ortalama olarak 14ºC'de sıcak ve yaşanılabilir kılan bu sera etkisidir. Sera etkisini sağlayan en temel unsurlar bulutlar ve sera gazlarıdır (NASA, 2023).

Tarım ekonomisinden, sanayi egemen bir ekonomiye geçişi ifade eden sanayi devrimi ile sera etkisi artmaya başlamıştır. Endüstri çağının başlaması ile insan faaliyetleri artmış ve Dünya'da enerji kullanımı daha yoğun bir hale gelmiştir. Bu enerji ihtiyacı kömür, petrol ve doğal gaz gibi karbon bazlı fosil yakıtların yanması ile karşılanmıştır. Sera gazlarından en önemlisi olan CO_2'in yayılmasının temel nedenleri fosil yakıtların yanması, arazi kullanım değişikliği ve ormansızlaşmadır. İnsan kaynaklı bu faaliyetler nedeniyle CO_2 miktarının hızla artmasıyla atmosferde CO_2 stoğu yükselmeye başlamıştır. Atmosferde CO_2 konsantrasyonun artarak birikmesi sonucunda Dünya'nın iklimini stabilize eden karbon döngüsünün dengesi bozulmuştur, biriken CO_2 etkisiyle enerjinin gezegene girmesi, gezegeni terk etmesinden daha kolay hale gelmiştir. Atmosferde sera gazının varlığında enerjinin gezegenden ayrılması daha zor olmakta ve böylece gezegende daha fazla enerji depolanmaktadır. CO_2 gazı, Dünya'nın enerji dengesi değişimindeki en önemli etkendir. Mevcut durumda gezegen hala enerji dengesi durumundadır ancak enerji fazla biriktiği için ısınmaya başlamış ve daha sıcak hale

gelmiştir (Tol, 2021). İklim değişikliğinin nedeni, CO_2'in veya diğer sera gazların atmosfere salınımından ziyade atmosferde birikmesidir (Rörsch vd., 2005).

IPCC, AR6 Sentez Raporu'nda 1750 yılından bu yana sera gazı konsantrasyonlarında gözlemlenen artışların nedeninin kesin olarak, insan faaliyetlerinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Ayrıca raporda 1850'den 2019'a kadar tarihsel kümülatif net CO_2 emisyonlarının yarısından fazlasının (%58) 1850 ile 1989 yılları arasında ve yaklaşık %42'sinin 1990 ile 2019 yılları arasında meydana geldiğini göstermiş ve 2019 yılında atmosferik CO_2 konsantrasyonlarının (410 ppm) en az 2 milyon yıldaki herhangi bir zamandan daha yüksek olduğunu hesaplamışlardır. Bunun yanı sıra rapora göre; 2010-2019 dönemindeki ortalama yıllık sera gazı emisyonlarının seviyesi, rekor düzeyde önceki on yıllardan daha yüksekken, 2010 ile 2019 yılları arasındaki büyüme oranı (yılda %1,3), 2000 ve 2009 yılları arasındaki büyüme oranından (yılda %2,1) daha düşüktür. Raporun son verilerine göre insan faaliyetlerinden kaynaklı ortalama küresel yüzey sıcaklığının 2011-2020 yılları arasında, 1850-1900 yıllarına kıyasla 1,1ºC üzerine çıkması tartışmasız bir şekilde küresel ısınmaya neden olmuştur. 2011-2020 yılları arasında, yıllık ortalama Arktik okyanusunun buz alanı 1850'den bu yana en düşük seviyesine ulaşmış ve küresel ortalama deniz seviyesi, 1900'lerden bu yana, son 3000 yıldaki herhangi bir yüzyılda olduğundan daha hızlı yükselmiştir. Küresel sera gazı emisyonları, fosil yakıtlara bağlı enerji kullanımından mevcut üretim ve tüketim kalıplarından, arazi kullanımı ve değişikliğinden, toplumların yaşam tarzlarından kaynaklı sürekli bir şekilde artmaya devam etmektedir. 2019 yılında küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %79'u enerji, sanayi, ulaşım ve bina sektörlerinin birlikte, %10'u ise tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımından kaynaklanmaktadır (IPCC, 2023).

Dünyada her şey olması gerektiği gibi doğal akışında olması durumunda dahi, iklim değişikliğinin neden olduğu küresel ısınmanın yavaşlaması veya durması, karbon döngüsünün dengeye gelebilmesi yüzbinlerce yıl alacaktır (Archer, 2010). Bu nedenle iklim değişikliğinin etkilerinin bilinmesi ve buna göre önlemler alınması büyük önem taşımaktadır.

1.3. İklim Değişikliğinin Etkileri

İklim değişikliği doğa ve insanlar üzerinde olumsuz etkilere ve buna bağlı kayıplara neden olmuştur. Küresel ısınma devam ettikçe iklim değişikliğinin etkileri de önemli ölçüde artacak, ciddi boyutlara ulaşacaktır. İklim değişikliğinin etkileri, iklim

bilimindeki tüm süreçler arasında en büyük belirsizliğe sahip olan konu olmuştur. İnsanlar iklim değişikliğinin, en önemli etkilerini ve insanlığın karşı karşıya olduğu diğer sorunlar ile karşılaştırıldığında ne derece ciddi bir sorun olduğunu merak etmektedir (Nordhaus, 2013). Bu başlıkta iklim değişikliğinin zararlı etkileri ve hasarların boyutları tartışılmıştır.

İklim değişikliği etkilerinin kapsamı ve büyüklüğü gün geçtikçe daha fazla hale gelmektedir. IPCC'nin etkiler üzerine hazırlamış olduğu son raporunda iklim değişikliğinin sıcak hava dalgalarının, sellerin, fırtınaların, kuraklıkların ve orman yangınların yoğunluğunu, şiddetini ve süresini etkileyeceğini, kıyı bölgelerinin deniz seviyelerinin yükselmesi ile savunmasız hale geleceğini, su ve gıda güvenliğinin, toplum sağlığının karşı karşıya olduğu en önemli sorun olacağını ve iklim değişikliğinin biyoçeşitliliği ve insan refahını tehdit edeceğini ifade etmiştir (IPCC, 2023).

İklim değişikliğinin neden olduğu küresel ısınma; kara ve kutuplarda, okyanus ve denizlere göre, kış mevsiminde yaz mevsimine göre, geceleri gündüzlere göre daha belirgin olmaktadır (Maslin, 2021). İklim değişikliği nedeniyle karada ve okyanusta aşırı sıcaklar, şiddetli yağış olayları, kuraklık ve orman yangınları, kasırgalar gibi iklim olaylarının sıklığı ve yoğunluğundaki artışların, fiziksel ve biyolojik sistemlere ve insan toplumlarına yönelik büyük etkileri olmaktadır. Bu etkilerin bazıları, doğal ve canlı sistemlerin uyum sağlama yeteneklerinin ötesine geçtiği için geri dönüşü olmayan kayıplara neden olmaktadır.

İklim değişikliğinin etkileri çok ve çeşitlidir. Bu etkiler zaman ve coğrafi alana göre değişiklik göstermekle beraber, etkilerin bazıları küçük bazıları büyük, bazıları olumlu bazıları olumsuz olmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerinden sırasıyla aşağıda bahsedilmiştir.

1.3.1. Hava Olaylarına Etkisi

İklim değişikliğinden dolayı aşırı hava olaylarının birçoğunun daha sık ve yoğun olarak meydana geldiği bilimsel çalışmalar ile ispat edilmiştir. 2015 ile 2020 arasında meydana gelen 113'ün üzerinde aşırı hava olayı incelenmiş ve olayların %70'inin iklim değişikliği nedeniyle artan sıklık veya yoğunluğa sahip olduğu; %26'sının iklim değişikliği nedeniyle daha az meydana geldiği ve %4'ünün iklim değişikliği nedeniyle herhangi bir değişiklik göstermediği bulunmuştur (Maslin, 2021).

-*Sıcak hava dalgasına etkisi*

İnsan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinden kaynaklı aşırı sıcakların sıklığı ve şiddetinde artışlar, aşırı soğuklarda da azalmalar mevcuttur (Clarke vd., 2022). Son dönemlerde Avrupa, Asya, Amerika ve Avustralya'da ısı dalgalarının sıklığı ve yoğunluğu artmıştır. Ayrıca son on yılda Avustralya, Kanada, Şili, Çin, Hindistan, Japonya, Orta Doğu, Pakistan ve ABD'de rekor kıran sıcak hava dalgaları görülmüştür (Maslin, 2021). En son IPCC raporu, sanayi öncesi dönemde herhangi bir yılda 10'da 1 olma şansı olan bir sıcak hava dalgasının artık 2,8 (1,8–3,2) kat daha sık meydana geleceğini ve 1,2 °C daha sıcak olacağını ifade etmiştir (IPCC, 2023).

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nun 2022 Küresel İklim Geçici Durumu raporuna göre; 2022 yılı, sıcaklık kayıtlarının tutulmasından bu yana ölçülen en sıcak beşinci yıl olmuştur. Son sekiz yıl ise "en sıcak sekiz yıllık dönem" olarak kayıtlara geçmiştir ve şimdiye kadar kaydedilen en sıcak yıllar sırasıyla 2016, 2020, 2019 ve 2017'dir.

-*Yağışlara etkisi*

İklim değişikliği, aynı zamanda kıtasal bölgelerde gözlemlenen ve genellikle sellere neden olan yağışların yoğunlaşmasının da ana nedenidir. Duan vd. (2022) yaptıkları çalışmada 2005-2020 yılları arasında dünyadaki tüm ülkeler için genel su baskın riskinin arttığını, en belirgin artışın ise 2015-2020 döneminde olduğunu göstermiştir. Son on yılda, Brezilya, İngiltere, Kanada, Şili, Çin, Doğu Afrika, Avrupa, Hindistan, Endonezya, Japonya, Kore, Orta Doğu, Nijerya, Pakistan, Güney Afrika, Tayland'da rekor kıran aşırı seller meydana gelmiştir. Bu tez yazılırken 15 Mart 2023 tarihinde Türkiye'nin Şanlıurfa ilinde bir senede beklenen yağışın üçte birinin bir günde düştüğü kaydedilmiştir (Elmacıoğlu, 2023).

Yağış rejimindeki değişiklikler yeryüzüne düşen yağışları orantısız hala getirmekte, sıcaklıklar hızla arttığı için kurak dönemler uzamakta ve kuraklıklar artmaktadır. Birçok bölge kuraklık nedeniyle çölleşme tehdidi ile karşı karşıya kalmaktadır. Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi'nin (UNCCD) yeni raporunda, 2000 yılından bu yana kuraklık sürelerinde ve sayılarında yaklaşık %29 artış olduğunu açıklamıştır. Rapora göre; kuraklık nedeniyle 1970-2019 yılları arasında yaklaşık 650.000 ölüm meydana gelmiştir (COP15, 2022). Ayrıca aşırı sıcaklık ve kuraklığın birleşimi daha fazla orman yangınına neden olmaktadır. Mkorombindo ve Balkissoon (2021) çalışmalarında 2016-2019 döneminde, 2001-2004 arasındaki döneme kıyasla 196 ülkeden 114'ünde (yaklaşık %58'inde) orman yangını riskinde artış olduğunu

göstermiştir. Avustralya'da 2019–2020 orman yangınları "Kara Yaz" olarak anılmaya başlanmıştır. Yaz boyunca, rekor sıcaklık ve uzun süreli kuraklık nedeniyle başta ülkenin güney doğusunda olmak üzere yüzlerce yangın çıkmıştır. Avustralya'nın güney doğusunun yaklaşık %7'si (5,5 milyon hektar), 2019–2020 Kara Yaz yangınında yanmıştır. Yanan toplam alanın, önceki bir yangın mevsiminde kaydedilen en kötü orman yangınlarından dört kat daha fazla olduğu kaydedilmiştir (Abram vd., 2021).

-Fırtınalara etkisi

İklim değişikliği, sıcak hava dalgaları ve yağış rejiminde olduğu gibi fırtınaların da küresel dağılımının, şiddetinin, sıklığının ve süresinin değişmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu özellikler arasında iklim değişikliği ile bağlantılı olan en önemli özelliği şiddetidir. Fırtınaların başladığında ne kadar şiddetli olacağı, nereyi etkileyeceği ve ne kadar hasara neden olacağı bilinmediği için iklim değişikliğinin fırtınalar üzerindeki etkisi durumun ciddiyetini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Deniz yüzeyinin ısınması arttıkça rüzgarın hızının üst sınırı artmaktadır. Bu da fırtınanın şiddetinin artmasına yol açmaktadır. Son yapılan çalışmalar 4ºC'lik bir ısınmanın ortalama kasırga şiddetini bir kategori[2] arttıracağını göstermektedir (Nordhaus, 2013). Kossin vd. (2020) tarafından yapılan bir araştırma, son 40 yılda dünya çapında meydana gelen yıkıcı kasırgalarda %15'lik bir artış olduğunu göstermiştir. Kuzey Atlantik Okyanusu, Pasifik Okyanusu ve Güney Hint Okyanusu'ndan kaynaklanan kasırgaların sayısı ve yoğunluğu yıldan yıla artmıştır. 2018-2019 yılında Hint Okyanusu'nun güney batısında güvenilir kayıtların başladığı 1967'den bu yana kaydedilen en maliyetli ve yoğun kasırgalar meydana gelmiştir. Bu kasırgalar milyonlarca insanın zarar görmesine ve 13 milyar doların üzerinde hasara neden olmuştur.

[2] Kasırgalar, sahip oldukları hıza göre kategorilere ayrılmaktadır. Kategori 1, saatte ortalama 119-153 km hıza ulaşan kasırgaları, kategori 2,saatte ortalama 154-177 km hıza ulaşan kasırgaları, kategori 3, saatte ortalama 178-209 km hıza ulaşan kasırgaları, kategori 4, saatte ortalama 210-247 km hıza ulaşan kasırgaları, kategori 5 saatte ortalama 249 km ve üstü hıza ulaşan kasırgaları göstermektedir (NOAA, 2023).

.

1.3.2. Deniz Seviyelerine Etkisi

İklim değişikliğinin diğer bir etkisi deniz seviyelerinde meydana gelen yükselmeler olmuştur. Deniz seviyelerinde meydana gelecek yükselmelerin, kıyı sistemleri ve sahil şeridinde yaşayan toplumlar üzerindeki etkileri büyük olacaktır. Deniz seviyesinin yükselmesinin ısıl genleşme ve karasal buzun erimesi olmak üzere iki temel nedeni vardır. Okyanuslar ortalama olarak üç kilometre derinliğindedir. Okyanus suyunun ısınmasıyla, diğer bir ifade ile, % 0.01 oranında genleşmesi durumunda, deniz seviyesi 30 cm yükselmektedir. Isıl genleşme nedeniyle 21. yüzyılda öngörülen deniz seviyesi yükselmesi 10 ila 33 cm arasında olacağı tahmin edilmektedir. 1901 ile 2018 arasında küresel ortalama deniz seviyesi yılda yaklaşık 2 mm artmış, en hızlı artış ise yılda 4,2 mm ile 2008 ile 2018 yılları arasında olmuştur. Deniz seviyelerinde gözlemlenen artışların %39'u okyanusun ısıl genleşmesi; %9'u Antarktika buz tabakasının, %12'si Grönland buz tabakasının, %27'si diğer buzulların erimesi ve diğer %13'lük kısmı toplam su depolamasının azalması ile meydana gelmiştir (IPCC,2021). Grönland ve Antarktika karasal buz tabakaları, dünyadaki en büyük buz kütleleridir ve küresel iklim sisteminde önemli bir rol oynamaktadır. Her iki buz tabakası da 1992'den beri artan bir oranda buz kaybetmektedir. Grönland'ın 1992'den 2017'ye kadar kümülatif buz kaybının 3900 milyar ton olduğu tahmin edilmiş ve bu, küresel deniz seviyesinin yaklaşık 11 mm yükselmesine neden olmuştur. Aynı şekilde Antarktika'da 1992'den 2017'ye kadar kümülatif buz kaybının 2600 milyar ton olduğu tahmin edilmiş ve bu, küresel deniz seviyesinin yaklaşık 7 mm yükselmesine neden olmuştur (Shepherd vd., 2018). Arktik deniz buzu kapsamı, 1979 ile 2019 arasında 41 yıllık dönemde %43 azalarak rekor kırmıştır (AMAP, 2021). WMO'nun 2022 Küresel İklim Geçici Durumu Raporu'na göre; deniz seviyesinin yükselme hızı 1993'te ölçülen seviyenin iki katına ulaşmıştır. 2020 yılından bu yana ise 10 mm artarak rekor seviyeye ulaşmıştır. Yaklaşık 30 yıldır tutulan uydu ölçüm verileri, meydana gelen deniz seviyesi yükselmesinin %10'un son 2,4-5 yılda meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca okyanusların sıcaklığı ölçüm yapılan son yıl olan 2021'de rekor seviyelerde yüksek ölçülmüştür. Aşırı sıcak hava dalgalarından kaynaklı buz kütlelerinde meydana gelen erime, Grönland buz tabakasına art arda 26. kez kütle kaybettirmiş ve 2022 Eylül ayında ilk kez kar yerine yağmur yağmıştır.

1.3.3. Mevsimlere Etkisi

Bilim insanları, iklim değişikliği nedeniyle mevsimsel kaymaların meydana geldiğini ve bundan kaynaklı baharın daha erken gelmeye, kışların daha kısa olmaya ve dondurucu günlerin sayısının daha az olmaya başladığını söylemektedir. Bu değişiklikler birçok yaşam döngüsünün zamanlamasını etkilemektedir. Kışın kısa sürmesi ve kış sonundaki olağandışı sıcaklıklar bitkilerin erken çiçek açmasına neden olmakta ve bu durum onları sonraki donlara karşı savunmasız bırakan bir "sahte bahar" yaratmaktadır (Jones vd., 2003).

İlkbahar mevsiminin Kuzey Yarımküre'de daha erken gerçekleştiğine dair çeşitli kanıtlar bulunmuştur. Finlandiya'daki Tornio Nehri'nden 1693'ten beri toplanan verilere göre, donmuş nehrin ilkbaharda erimesi, olması gerekenden bir ay önce gerçekleşmeye başlamıştır. Japonya'nın Kyoto Şehri'nin ünlü kiraz çiçekleri 100 yıl öncesinden bu yana 21 gün önce açmaya başlamıştır. Fransa'da Beaune'deki üzüm hasadı, 100 yıl öncesine göre 10 gün daha erken yapılmıştır. Britanya'da, kuşların 45 yıl öncesine göre 12 gün önce yuva yaptığına dair kanıtlar bulunmuştur. Ayrıca ABD'de ilkbaharda açan leylak ve hanımeli türleri 40 yıl öncesine göre 3 hafta erken yapraklarını açmaya başlamıştır (Maslin, 2021).

1.3.4. Canlı Yaşamına ve Türlere Etkisi

İklim değişikliği, küresel ısınmaya neden olmasından dolayı birçok türün bütünlüğünü ve yaşamını tehlikeye sokmuştur (Pecl vd., 2017; Ripple vd., 2017). Canlı türleri uzun dönemli süreçlerde meydana gelen değişimlere ayak uydurabilmekte fakat yoğun ve sık meydana gelen değişimlerden olumsuz yönde etkilenerek, özellikle hassas türler yok olmaya başlamaktadır. Biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetlerine ilişkin küresel değerlendirme raporuna göre; küresel ısınma, 21. yy.'da biyoçeşitlilik kaybının en önemli itici güçlerinden biri olacaktır (IPBES, 2019).

Deniz ekolojisi, az miktarda karbon içermektedir. Atmosferdeki kısmi CO_2 basıncı, okyanustaki kısmi CO_2 basıncına eşittir. Bundan dolayı atmosferde CO_2 'in fazla olması okyanusta da fazla olmasına neden olmaktadır. Okyanustaki yüksek CO_2 konsantrasyonları, daha asidik bir okyanus anlamına gelmekte olup, sudaki yaşamı etkileyen daha az alkali bir okyanus demektir (Smithsonian Ocean, 2018). Okyanuslardaki asitlenme ile birlikte, mercanlar, yumuşakçalar, planktonlar başta olmak

üzere, organizmaların çoğunda giderek üreme ve kireç taşına dönüşmenin yavaşladığı görülmüştür. Bu değişimler türlerin bazılarının yeniden dağılımına yol açacaktır (Nordhaus, 2013).

Deniz buzları, foklar ve morslar için dinlenme ve doğum yeri, kutup ayıları için avlanma ve üreme alanı, kutup tilkisi, balinalar, ren geyiği ve diğer memeliler için yiyecek arama alanı sağlamaktadır. Buzun azalması ve kötü buz koşulları, deniz memelileri için strese neden olmakta, nihayetinde geçim kaynaklarını ve üreme yeteneklerini etkilemektedir. Kuzey Kutbu İzleme ve Değerlendirme Programı'nın 2021 raporuna göre, buz kütlelerinde beklenen azalmalar, buza bağımlı fokların, kutup ayılarının ve bazı deniz kuşlarının deniz yaşam alanlarını büyük ölçüde daraltmakta ve bazı türlerin neslinin tükenmesine neden olmaktadır (AMAP, 2021).

Deniz seviyelerindeki artışlar ile beraber fırtınalardan kaynaklanan dev dalgaların ortaya çıkma ihtimali artmakta, bu durumda arazi kaybı ve sulak alan kaybı tuzlu suyun tatlı suya karışmasına neden olarak kıyı bölgelerindeki sistemleri tehlikeye sokmaktadır. Son yapılan çalışmalar kıyı bölgelerindeki canlı türlerinin değiştiğini, üretkenliklerini yitirdiklerini ve göç etmeye başladıklarını göstermiştir. Buna ek olarak Alaska Körfezi'nde balıkların daha serin sulara göç etmesiyle, birçok deniz kuşu besin kaynaklarından mahrum kaldıkları için açlıktan ölmüşlerdir. Tarihsel olarak bakıldığında Alaska Körfezi'nde kuş ölümleri, nadir değildir fakat ölümlerin sıklığı, ölü kuşların sayısı ve çeşitliliği, etkilenen geniş coğrafi alan ve olayların uzun sürmesi nedeniyle olağandışıdır (National Park Service, 2023). Göçmen kuş türlerİ, iklim değişikliğinden kaynaklı topografyayı ve menzillerini kaybetmeleri nedeniyle izole edilmiş ve uyumsuz habitatlarda sıkışıp kalabilmektedir (Dullinger vd., 2012). Bitki türleri, belirli iklim koşulları altında üreyip, büyüyebilmektedirler. Bu koşullar değiştiği takdirde türler ya uyum sağlamakta ya da göç etmektedir. Bunları yapamadığı durumda ise nesli tükenmektedir. Bitki türlerinin çeşitliliğinde meydana gelen azalma, biyolojik çeşitliliği sınırlanmakta olup, bu durum ekosistemin düzenini bozmaktadır. Bitkilerden elde edilen ham madde, ilaç, besin gibi ekosistem ürünlerini de tehlikeye sokmaktadır (Demir, 2009).

İklim değişikliğinden kaynaklı toprak yapısında meydana gelen değişiklik, toprakta bulunan mikroorganizmaları da etkilemektedir. Topraktaki mikroorganizma çeşitliliğinin değişime uğraması besin zincirinde değişmelere ve toksik maddelerin yayılmasına neden olmaktadır (Cavicchioli vd., 2019).

1.3.5. Sosyoekonomik Etkisi

İklim değişikliğinin temel nedeni, sosyoekonomik faaliyetlerdir. Aynı zamanda iklim değişikliği de sosyoekonomik faaliyetleri ciddi boyutlarda etkilemektedir. Bu etkilerin başında insan sağlığına, göçe, su kaynaklarına, enerji, tarım, ormancılık, balıkçılık, turizm, ulaşım gibi ekonomik sektörlere etkileri gelmektedir.

-İnsan Sağlığına etkileri

İklim değişikliği artıkça insan sağlığı üzerinde potansiyel etkileri çok büyük ve bu etkilerin yönetilmesi çok zor olacaktır. İklim değişikliğinin insan sağlığı üzerine etkileri hem doğrudan hem de dolaylı olarak gerçekleşmektedir. Doğrudan etkiler, sıcaklığa (sıcak hava dalgaları, dondurucu soğuklar) ve diğer aşırı hava olaylarına (seller, kasırgalar, kuraklıklar, orman yangınları vs.) maruz kalmaktan ve hava kirleticileri ile alerjik reaksiyonu tetikleyen maddelerdeki artıştan kaynaklanmaktadır (USGCRP, 2016). İnsan sağlığı ayrıca su, gıda ve vektör[3] kaynaklı hastalıklardaki artıştan dolaylı olarak etkilenebilmektedir. İklim değişikliği doğal sistemlerin etkilenmesinin sonucu olarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), iklim değişikliğini, insanlığın karşı karşıya olduğu en büyük sağlık tehdidi olarak görmektedir (WHO, 2021).

Dünyanın her yerinde aşırı sıcak hava dalgaları, yoğun yağışlar, kuraklık gibi iklim değişikliğinin neden olduğu olaylar insan ölümlerine ve hastalıklara neden olmaktadır. WHO'ya göre 2030-2050 yılları arasında iklim değişikliğinden kaynaklı yetersiz beslenme, sıtma, ishal ve sıcaklık stresinden yılda yaklaşık 250.000 ölüm gerçekleşecektir. Ayrıca iklim değişikliğinin sağlığa zarar verme maliyetinin (sağlığı etkileyen tarım, su ve sanitasyon sektörlerindeki maliyetler hariç) 2030 yılına kadar yılda 2-4 milyar ABD Doları olacağı tahmin edilmektedir (WHO, 2021).

İklim değişikliği sonucu ekosistemde meydana gelen bozulmalar, gıda ve su kaynaklı hastalıklarının oluşumuna yol açmaktadır. Özellikle yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklar, yaşlılar, hamile kadınlar ve çocuklar arasında bir dizi hastalık ve ölüm riskinin arttırmaktadır (USGCRP, 2016). Aşırı yağış ve sellerde meydana gelen artışlar, kanalizasyon taşmalarından ve içme suyuna erişim eksikliğinden kaynaklı viral ve bakteriyel hastalıklara neden olmaktadır (Guzman Herrador vd., 2015; Jagai vd., 2015).

[3] Hastalıkların insan veya hayvanlara bulaşmasını sağlayan canlılar. Örneğin; kan emen sinekler, pireler, keneler, fareler.

Ayrıca insanların vektör kaynaklı hastalıklara yakalanma olasılığı, iklim değişikliğinden kaynaklı hastalık vektörlerinin çoğalması ve yaşam alanlarının genişlemesi nedeniyle artmaktadır (IPCC, 2023). Örneğin; WHO ve WMO tarafından iklime en duyarlı hastalıklardan biri olarak sıtma tanımlanmıştır. Normal koşullar altında 17ºC'nin altında sadece 1-2 gün yaşayabilen sıtma mikrobu taşıyan sivrisineklerin, 5ºC'lik bir sıcaklık artışı ile yaşam alanları ve süreleri genişlemekte, bu durum sıtma hastalığının yayılmasına neden olmaktadır. Dünya Bankası 2016'da yayınladığı bir raporunda, gezegenin sadece 2-3ºC ısınmasının, sıtmaya karşı savunmasız nüfusu 2030 yılına kadar %5 artırabileceğini ifade etmiştir (The World Bank, 2016).

Ford vd., (2022) yapmış olduğu bir çalışmada, 2020 yılında ortaya çıkan Covid-19'un yayılmasında iklimsel olmayan faktörlerin, iklimsel faktörlerden daha önemli olduğunu ifade etmelerinin yanı sıra Covid-19 ile aynı zamana denk gelen aşırı iklim koşullarının hastalığa maruz kalma durumunu etkilediğini, insanların hastalığa karşı duyarlılığını artırdığını, sağlık sisteminin dayanıklılığını azalttığını ifade etmiştir. Ayrıca Covid-19 salgını, dünyanın küresel tehditlere karşı ne kadar savunmasız olduğunu göstermiştir. Hastalığın etkileri ve onu kontrol altına almak için alınan önlemler, yaşamlar ve geçim kaynakları üzerinde ciddi sonuçlar doğurmuştur. Trajik hastalık ve ölüm oranlarına ek olarak, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ekonomiler ağır darbe almıştır (Stern ve Ward, 2021). Bu durum iklim değişikliğinden kaynaklanacak salgın hastalıklardaki bir artışın da ne sonuçlar doğurabileceğini göstermiştir (Manzanedo ve Manning, 2020).

-Su kaynakları üzerine etkisi

Su döngüsü canlılara tatlı su sağladığı ve Dünya'nın iklimini düzenlemeye yardımcı olduğu için önemlidir. İklim değişikliği ile beraber su döngüsünde su daha fazla buharlaşmakta ve daha fazla yağışla yoğunlaşmaktadır. Ancak bu fazladan yağış dünya çapında eşit olmayan bir şekilde dağılmaktadır (Arnell, 1999). Birleşmiş Milletler, iklim değişikliğinin öncelikle bir su krizi olduğunu ve etkilerinin artan seller, yükselen deniz seviyeleri, küçülen buz kütleleri, orman yangınları ve kuraklıklar yoluyla hissedileceğini belirtmiştir**.** İklim değişikliği, deniz seviyelerinin yükselmesine neden olarak yeraltı sularını etkilemenin yanı sıra bazı bölgelerde kuraklık yoluyla su kıtlığı, bazı bölgelerde sel baskınları şeklinde su mevcudiyetindeki değişikliklere neden olacaktır (UN-Water, 2021). Tüm bu durumlarda da insanların temiz ve güvenli içme suyuna erişimi

kısıtlanacaktır**.** Dünya nüfusunun kabaca yarısı şu anda yılın en azından bir bölümünde iklimsel ve iklimsel olmayan etkenler nedeniyle şiddetli su kıtlığı yaşamaktadır.

Su kaynakları üzerinde özellikle kentsel alanlarda yoğunlaşma ile dünya çapında artan nüfustan kaynaklı var olan bir baskı mevcuttur. İklim değişikliğinden kaynaklı sıcaklık, yağış ve deniz seviyelerindeki değişiklikler de bu baskıyı iyice artırmaktadır.

Su döngüsü ile meydana gelen yağışların bir kısmı nehir, göller ve okyanuslara akarken, bir kısmı da toprak tarafından emilmektedir. Toprak tarafından emilen suyun bir kısmı yer altı suyu olarak kullanılmak üzere akifer (su rezervuarı) adı verilen yeraltı tatlı su taşıma kayalarında depolanmaktadır. Yeraltı suyunun bir kısmı da su temini ihtiyaçlarını karşılamak (belediye, tarım vs.) için pompalanmaktadır. Geri kalan kısmı akarsulara, nehirlere ve diğer su kütlelerine boşaltılmaktadır. Deniz seviyelerinin yükselmesi kıyı bölgelerini ve oradaki akiferleri etkileyecektir. Bunun sonucunda tuzlu su, akiferleri kirletip, yeraltı sularına tuzlu su girmesine neden olacaktır. Artan tuzluluk ile beraber, yeraltı sularının kalitesi düşmeye başlayacak, bu durum temiz ve güvenli suya erişimi kısıtlayacaktır. Aynı zamanda kirlenmiş su, içinde bulundurduğu parazit ve hastalıklar ile insan sağlığını tehdit edecektir.

Literatürde yapılan son çalışmalar, mevcut tüketim kalıplarının devem etmesi durumunda, 2025 yılına kadar dünya nüfusunun üçte ikisinin su sıkıntısı çekeceğini göstermektedir. 2022 yılında 2,3 milyardan fazla insan su sıkıntısı yaşamıştır (COP15, 2022). Dünya Bankası (2016)'na göre, iklim değişikliğinin şiddetlendirdiği su kıtlığının tarım, sağlık ve gelir üzerindeki etkileri ve potansiyel olarak göçü tetiklemesi nedeniyle bazı bölgelerin 2050 yılına kadar gayri safi yurtiçi hasılalarının (GSYİH) yaklaşık % 6' sına mal olabileceğini ifade etmiştir.

-Tarıma Etkileri

Tarım sektörü, tüm sera gazı emisyonlarının yaklaşık %30-40'ından sorumlu sektördür. Bu durum onu iklim değişikliğini artıran, aynı zamanda iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkilenen lider bir sektör haline getirmektedir (Ortiz vd., 2021; Thornton ve Lipper, 2014). Tarımsal sera gazı emisyonlarının dörtte üçü gelişmekte olan ülkelerde meydana gelmekte ve bu payın 2050 yılına kadar %80'in üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir (Smith vd., 2008). İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisi bölgelere göre farklılık göstermektedir. Tarımda çoğu mahsul, yüksek CO_2 konsantrasyonu nedeniyle daha hızlı büyümektedir. CO_2, mahsuller için bir gübredir ve bitkilerin sularını daha iyi yönetmelerini sağlamaktadır. Bazı mahsuller daha sıcak ve nemli koşullarda yaşamakta,

bazıları ise kuru koşulları sevmekte veya ısıya daha az toleranslı olmaktadır. Bu nedenle iklim değişikliğin etkisi, mahsul ve mahsulün konumuna göre değişiklik göstermekte, bazı bölgeler için olumlu bazı bölgeler için ise yıkıcı olabilmektedir (Tol, 2021).

İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisi sıcaklık değişikliklerinin hasat miktarı üzerinde yarattığı etkilerden çok daha karmaşıktır. İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisinin olumsuz kabul edilmesinin iki nedeni vardır. Bunlardan ilki iklim değişikliğinin neden olduğu ısınma dolayısıyla zaten kuraklık sınırında olan pek çok bölgede toprak neminin daha da azalmasına neden olmasıdır. İkinci nedeni ise iklim değişikliğinin tarım için önemli olan su sistemleri üzerindeki olumsuz etkileridir. İklim değişikliği sulama suyu bulma imkanını azaltmakta ve tarımsal verime zarar vermektedir (Nordhaus, 2013). Kuraklık ve sellerin sıklığındaki artış, geçimini tarımdan sağlayan toplumların mahsul verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle gelişmekte olan ülklerde ekonomik sistemlerin önemli bir parçası olan tarım sistemlerini, genel ekonomiyi ve potansiyel olarak hanelerin refahını etkilemektedir (Schlenker ve Roberts, 2009).

İklim değişikliği, gıda ve diğer tarımsal ürünlerin üretimini etkilediği için gıda mevcudiyetini ve istikrarını tehdit etmektedir. Bu durum, birçok insanın yetersiz beslenmesine ve açlığa neden olmaktadır.

-Ormancılığa etkisi

Ormanlar ve ormancılık, CO_2'i atmosferden uzaklaştırarak ve karbonu orman ve orman ürünlerinde depolayarak atmosferik CO_2 konsantrasyonlarının azaltılmasını sağlamaktadır (Pilli vd., 2015). Sera gazı azaltımı, orman ürünlerinin fosil yakıtları ve çimento, çelik gibi diğer sera gazı yoğun ürünleri ikame ettiğinde ortaya çıkar (Leskinen vd., 2018). Ağaçlar fotosentez yoluyla atmosferdeki CO_2 emmekte ve biyokütlelerinde depolamaktadır. Karbon tutma olarak bilinen bu süreç atmosferdeki küresel ısınmaya neden olan en önemli faktör olan CO_2 miktarının azalmasına yardımcı olmaktadır.

Sıcak havalardaki ve yağışlardaki değişim orman yangınlarını tetiklemektedir. Ormanların bozulması ve yok edilmesi yalnızca ekolojik, ekonomik ve sosyal zararlara neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda küresel ısınmayı daha da şiddetlendiren büyük miktarlarda CO_2 salınımına neden olmaktadır. İklim değişikliği ormanları tehdit etmekte ve karbon tutmaları da dahil olmak üzere sağladıkları faydaları azaltmaktadır. Ormanların yok olması ve tahrip olması da ormancılık sektörüne darbe vurmaktadır.

-Balıkçılık sektörüne etkisi

Balık popülasyonları, yaşam döngülerinin tüm aşamalarında doğal ortamlarının birçok unsurundan etkilenmektedir. Sıcaklık, tuzluluk oranı, rüzgar hızı ve yönü, okyanus akıntıları, kaldırma kuvveti ve yırtıcı hayvanlar gibi temel çevresel değişkenlerdeki küçük değişiklikler, balıkların bolluğunu, dağılımını ve varlığını keskin bir şekilde değiştirmektedir (Glantz ve Feingold, 1992). Küresel deniz balıkçılığı, esas olarak aşırı avlanma, kirlilik ve diğer antropojenik nedenlerden dolayı düşük performans göstermektedir (Srinivasan vd., 2010). İklim değişikliği, özellikle su sıcaklığı değişmeye, okyanus akıntıları artmaya, deniz seviyesi yükselmeye ve okyanuslar asitlenmeye başladığından bu yana, küresel balıkçılığın karşı karşıya olduğu zorluklar artmaktadır ve bu değişiklikler birçok balık ve kabuklu deniz hayvanının dağılımlarını değiştirmekte, üretkenliklerini etkilemekte ve uyumsuzluk nedeniyle neslinin tükenmesine neden olmaktadır (Cheung vd., 2010). Bu durum bazı bölgelerdeki kabuklu deniz ürünü yetiştiriciliğini ve balıkçılıktan elde edilen gıda üretimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Son araştırmalardan elde edilen sonuçlar, iklim değişikliğinin birçok bölgede balıkçılık şirketlerinin kazançlarında ve hanehalkı gelirlerinde kayıplara yol açacağını göstermektedir. Ayrıca deniz ve okyanuslardaki balık dağılımındaki kaymalardan dolayı da bazı bölgelerde balıklarda artış olacak, balıkçılık olumlu yönde etkilenecektir (Arnason, 2007).

-Turizme etkisi

Turizm, iş ve gelir yaratma, ülkelere döviz kazandırma, kültürlerarası tanıtım ve işbirliğini geliştirme, ulusal kalkınmayı sağlama potansiyeli ile kökleri çok boyutlu olan bir ticari faaliyettir. Son 50 yılda muazzam bir büyüme gösteren turizm, önemli bir küresel ekonomik sektördür (UNWTO, 2018).

İklim değişikliği, tüketicilerin tatil seçimlerini, turizm talebinin coğrafi modellerini, destinasyonların rekabet edebilirliğini ve sürdürülebilirliğini ve turizmin uluslararası kalkınmaya katkısı dahil olmak üzere 21 yy.'da turizm endüstrisini derinden etkileyeceği tahmin edilmektedir (Ma ve Kirilenko, 2019; Hall vd., 2014; Scott vd., 2012; WTTC, 2022). İklim değişikliğinden kaynaklı hava olaylarındaki değişiklik turizm talebini doğrudan etkilemektedir. Mevsimsel kaymalar sonucu bazı bölgeler turizm için daha dikkat çekici hale gelirken, bazı bölgelerde turizm, yoğunluğunu ve etkisini kaybedecektir. IPCC Raporu'na göre küresel ısınmadan kaynaklı bazı kayak alanlarının

kaybı nedeniyle kayak sezonun süresinde önemli bir düşüş yaşanacaktır. Bu durum kış turizminin yapıldığı bölgeleri olumsuz etkileyecektir. Bazı bölgelerde ise sıcaklık artışından kaynaklı yaz turizmi uzayacak ve olumlu etkilenecektir (IPCC, 2023).

Covid-19 salgını küresel turizmin bazı kısımlarını yeniden şekillendirmiştir (Scott ve Gössling, 2022; UNCTAD, 2021). Dünya Seyahat ve Turizm Konseyi'nin (WTTC) son yayınladığı rapora göre 2020'de yaşanan pandemi sebebiyle yaklaşık 4,9 trilyon ABD doları kayıp (%50,4) meydana gelmiştir (WTTC, 2022). Covid-19 Salgını turizmin ne kadar hızlı ve kapsamlı kesintiye uğrayabileceğini göstererek, iklim değişikliğinin etkileri hakkında küçük fikir vererek, hazırlıklı olmanın ve yeterli risk değerlendirmesi yapmanın önemini ortaya koymuştur.

1.4. İklim Değişikliğinin Sosyoekonomik Bir Sorun Haline Gelmesi

İklim değişikliğinin kendini göstermeye başladığı ilk zamanlar çoğu insan, iklim değişikliğinin doğa bilimcileri tarafından çözülmesi gereken bir sorun olduğunu ve durumun sadece sıcak hava dalgaları, eriyen buz kütleleri, fırtınalar, kuraklıklar gibi olaylar ile ilgili olduğunu düşünmekteydi. Günümüzde ise iklim değişikliğinin çok karmaşık bir konu olduğu ve temel iklim bilimlerinden ekolojiye, mühendislikten iktisada, siyasetten uluslararası ilişkilere kadar birçok farklı disiplini kapsadığı genel kabul görmektedir (Nordhaus, 2013).

İklim değişikliğinin ekonomisi aslında oldukça basittir. Günümüzde neredeyse yapılan tüm faaliyetler dolaylı veya doğrudan fosil yakıtların kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu durum atmosfere CO_2 salınımıyla sonuçlanmaktadır. Faaliyetler devam ettikçe CO_2 atmosfer ve okyanuslarda birikmeye ve Dünya'nın iklimini değiştirmeye başlamakta ve bir önceki başlıkta bahsedilen birçok etkiye yol açmaktadır. Bu etkiler insanları artık doğrudan etkilemeye ve ekonomiye kayda değer yükler getirmeye başlamıştır. Bundan dolayı iklim değişikliğinin küresel ekonomiyi şekillendirmeye başladığı ve ciddi bir sorun olduğu kabul edilmiştir.

WMO'nun Aşırı Hava, İklim ve Su olaylarından Kaynaklanan Ölüm ve Ekonomik Kayıplar Atlası'nda küresel olarak bu olayların neden olduğu afetlerin 1970-2019 yılları arasında 11.000'den fazla olduğu, bu afetlerde 2 milyonun üzerinde ölümler olduğu ve afetlerin küresel ekonomide 3,64 trilyon ABD doları kayba neden olduğu rapor edilmiştir. Bu dönem boyunca en büyük kayıplara neden olan ilk üç afet 650 bin ölüm ile kuraklıktan, yaklaşık 577 bin ölüm ile fırtınalardan ve yaklaşık 56 bin ile aşırı sıcak

havalardan kaynaklanmıştır. Aşırı hava olaylarından kaynaklı afetler nedeniyle 1970-1979 yılları arasında rapor edilen maddi hasar miktarı günde ortalama 49 milyon ABD Doları iken, 2010-2019 yılları arasında rapor edilen hasar miktarı günde ortalama 383 milyon ABD Doları ile ilk 10 yıllık dönemin yaklaşık yedi katı olmuştur (WMO, 2021). Uluslararası Para Fonu (IMF)'nun yayınladığı bir çalışmada son on yılda, iklim değişikliğinden kaynaklı felaketlerin doğrudan zararlarının yaklaşık 1,3 trilyon ABD dolarına (veya yılda ortalama dünya GSYİH 'sının yaklaşık %0,2'sine) ulaştığını ifade etmiştir. Ayrıca IMF en son yayınladığı Küresel Finansal İstikra Raporu'nda, iklim değişikliğinden kaynaklanan felaketlerin daha sık ve daha şiddetli olacağını ve bunun da ekonomik istikrarı tehdit edebileceğini öngörmüştür (IMF, 2020).

Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF)'ne bağlı Copernicus İklim Değişikliği Servisi'nin yayınladığı raporda, Avrupa'nın 2022 yılında şimdiye kadar kaydedilen en sıcak yazını gördüğünü ve birkaç kez yaşanan uzun süreli ve yoğun sıcak hava dalgasının, Batı ve Kuzey Avrupa'nın çok sayıda bölgesini etkilediğini ifade etmiştir. Ayrıca rapora göre; düşük yağış seviyeleri ve yüksek sıcaklıklar, kuraklıklara yol açmış ve son 20 yılın en yüksek orman yangını emisyonları ölçülmüştür (ECMWF, 2022). Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat)'nin verilerine göre Avrupa Birliği (EU)'ne üye ülkelerde iklim değişikliğinden kaynaklı toplam ekonomik kayıp son on yılda 145 milyar Euro'nun üzerinde, 2020'de ise ortalama 12 milyar Euro olmuştur. Ayrıca Fransa (4,2 milyar Euro), İtalya (2,5 milyar Euro) ve Almanya (1,7 milyar Euro) iklimle ilgili olayların sonucu olarak en büyük ekonomik kayıpları yaşamıştır. Kişi başına ekonomik kayıp ortalama 21 Euro olarak gerçekleşmiştir. Ortalama 91 Euro ile kişi başına düşen ekonomik kaybın en yüksek olduğu üye devlet Yunanistan, ardından Fransa (62 Euro) ve İrlanda (42 Euro)'dır.

İklim değişikliğinden kaynaklı aşırı olayların mali yükleri tüm ülkeler için ağır olsa da gelişmekte olan ülkeler en büyük kaybı yaşamaktadır. WMO'nun Aşırı Hava, İklim ve Su olaylarından Kaynaklanan Ölüm ve Ekonomik Kayıplar Atlası'na göre 1970-2019 döneminde iklim değişikliği kaynaklı olaylardan etkilenen insanların %91'i gelişmekte olan ülkelerde bulunmaktadır (WMO, 2021). Gelişmekte olan ülkelerde iklim değişikliğinden kaynaklanan hasarların 2030 yılına kadar 290 milyar ila 580 milyar dolar arasında olacağı tahmin edilmektedir. Bu tahminler, psikolojik etkiler ve biyolojik çeşitlilik gibi ekonomik olmayan kayıpları ve hasarları içermemektedir. Bu sebeple çok

büyük olan ancak tam olarak parasal terimlere çevrilemeyen hasar, yani gerçek maliyet açıklanandan çok daha yüksektir (Markandya vd., 2019).

Özetlemek gerekirse, iklim değişikliğinin boyutu ve sektörlere verdiği hasarların ciddiyeti ekonomik büyümenin hızına bağlı olacaktır. Mevcut koşullar altında ekonomik büyüme artıkça iklim değişikliği artacaktır. İklim değişikliğinden kaynaklı hasarlar nedeniyle ülkelerin sermaye stokları azalacak, dünya ekonomisinin üretim kapasitesinde bir düşüş görülecektir. Bu, her bir emek biriminin daha az çıktı üretmesine ve dünya üretim fonksiyonunda aşağı yönlü bir kaymaya neden olacaktır. Ayrıca iklim değişikliği su ve gıda güvenliğini etkileyerek, bulaşıcı hastalıkların yayılmasına neden olacak ve açık havada çalışanlara zarar verecektir. Bu durum hem işgücü verimliliğini etkileyecek hem de mevcut emek miktarını düşürecektir.

Tüm bu durumlar dikkate alındığında; iklim değişikliğinin verdiği hasarları azaltacak adımlar atılması büyük önem taşımaktadır. Bir sonraki başlıkta bu konu üzerinde durulmuştur.

1.5. İklim Değişikliğini Azaltma Yaklaşımları

İklim değişikliğinin hem fiziksel hem de sosyoekonomik sistemlerde nasıl büyük değişikliklere yol açtığı önceki bölümlerde anlatılmıştır. İklim değişikliğinin gelecekteki etkileri kesin olarak tahmin edilemese de istenmeyen sonuçlar doğuracağı ve tehlikeli değişikliklerin meydana geleceği günümüzdeki olaylardan ve etkilerden net bir şekilde görülmektedir. Bu bölümde iklim değişikliği ile nasıl başa çıkılması gerektiği konusu ele alınmıştır. Öngörülen iklim değişikliği etkilerini yönetmeye yardımcı olmak için üç temel yaklaşım ön plana çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, atmosferden CO_2'nin büyük ölçekte atılmasını veya küresel iklimin değiştirilmesini içeren jeo-mühendislik, ikincisi nüfusu iklim değişikliğinin etkilerinden koruyan adaptasyon (uyum) ve üçüncüsü sürekli artan sera gazı emisyonların eğilimini tersine çevirmek olan emisyon azaltmadır.

1.5.1. Jeo-Mühendislik

Jeo-mühendislik, sera gazlarını atmosferden uzaklaştırmak veya Dünya'nın iklimini değiştirmek adına kullanılabilecek teknolojiler için kullanılan bir terimdir. Jeo-mühendislik (iklim mühendisliği) teknikleri, iklim değişikliğini azaltmak için çevrenin kasıtlı olarak manipüle edilmesini içeren tekniklerdir (Royal Society, 2009). Bilim

insanları tarafından Dünya'yı yapay olarak soğutmak için çeşitli jeo-mühendislik planları önerilmiştir. Bu planlar kara tabanlı jeo-mühendislik, okyanus tabanlı jeo-mühendislik, atmosfer tabanlı jeo-mühendislik ve uzay tabanlı mühendislik olmak üzere dörde ayrılmaktadır (Zhang vd., 2015). Jeo-mühendislik kapsamında ele alınan bu dört planın kapsadığı fikirler, çok mantıklı olanlardan tamamen çılgın olanlara kadar uzanmaktadır. Tüm jeo-mühendislik planları arasında, iki temel metodoloji kullanılmaktadır. İlki CO_2 giderimi (CDR) olarak adlandırılan, CO_2'i atmosferden uzaklaştırmak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yaklaşımların kullanılmasıdır. CDR yöntemlerine büyük ölçekli yeniden ağaçlandırma, biyokömür üretimi, kimyasal ayrışma, okyanus gübreleme, toprağa silikat minerali ekleme gibi örnekler verilmektedir. CDR yöntemleri antropojenik emisyonlar ile karşılaştırıldığında yalnızca küçük bir miktarda atmosferik CO_2'i tutmakta ve bu nedenle 2100 yılına kadar ortalama küresel yüzey sıcaklığının 2ºC'nin üzerine çıkmasını engelleyememektedir (Keller vd., 2014). İkincisi ise güneş ışınımını yönetme yöntemi (SRM) olarak adlandırılır. Bu yaklaşımın amacı, Dünya'nın enerji dengesini değiştirerek, Dünya'ya ulaşan güneş ışığı miktarını ayarlamak ve ısınmayı tersine çevirmektir. Dünya'ya gelen güneş ışığını engellemek için stratosfere kükürt enjekte etmek, güneş ışığını yansıtmak için uzaya güneş kalkanları/toz bulutu yerleştirmek, bulutların yansıtıcılığını artırmak için okyanusların üzerindeki havaya deniz tuzu enjekte etmek vb. SRM yöntemlerinden bazılarıdır. SRM yaklaşımının Dünya tarafından emilen güneş radyasyonunu önemli ölçüde azaltacağından, küresel sıcaklıkları hızla düşürebileceği düşünülmektedir (Lenton ve Vaughan, 2013; Royal Society, 2009). CDR ile karşılaştırıldığında, SRM ısınmayı önleme konusunda büyük potansiyele sahip olmasına rağmen CDR yaklaşımları risksizken, SRM'nin bazı büyük yan etkileri mevcuttur (Keller vd., 2014). Ayrıca bazı jeo-mühendislik çözümleri hala fikir aşamasındadır ve uygulanabilir olup olmadıklarını görmek için çok daha fazla çalışma gerektirmektedir.

Maliyet tahminlerine göre; jeo-mühendislik yaklaşımları başarılı olması halinde, CO_2 salınımlarını azaltma yaklaşımından çok daha ucuza mal olacaktır. Ekonomik açıdan bakıldığında jeo-mühendislik az maliyetli olmasına rağmen, ne kadar etkin olacağına dair şüpheler ve doğurabileceği yan etkilerden dolayı iklim değişikliğine karşı ilk savunma adımı olarak görülmemektedir (Nordhaus, 2013).

1.5.2. Adaptasyon

İklim değişikliğinin etkileri artıkça, hava olayları hem daha aşırı hem de daha öngörülemez hale gelecektir. Bu nedenle, insanların yaşamlarını ve geçim kaynaklarını korumak için hem fiziksel hem de sosyal adaptasyonu sağlayıcı önlemler almaları gerekmektedir (Maslin, 2021).

Adaptasyon diğer yaklaşımlardan farklıdır. Diğer yaklaşımlar iklim değişikliğini önleme veya azaltma üzerinde dururken, adaptasyon iklim değişikliği ile birlikte yaşamaya vurgu yapmaktadır (Nordhaus, 2013). Adaptasyon, iklim değişikliğine maruz kalma ve bu konudaki kırılganlığın azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu kavram; iklim değişikliğinin canlılar üzerindeki zararlı etkilerini önleyebilecek veya azaltabilecek düzenlemeler anlamına gelmekte ve iklim değişikliğine uyum sağlamak adına atılacak tüm adımları kapsamaktadır. Adaptasyon, insan sağlığını ve refahını, ekonomik ve sosyal dayanıklılığı, tarımsal üretkenliği, gıda güvenliğini, ekosistem ve gezegen sağlığını, biyolojik çeşitliliği korumak için iklim değişikliğinden kaynaklı olaylara uyumu mümkün kılmaktadır (IPCC, 2022).

IPCC'nin son raporunda emisyonların seviyesi sıfıra indirilse dahi başlayan değişimin kısa vadede durdurulamayacağı bunun sonucu olarak etkilerinden kaçılamayacağı ve ilerisi düşünülerek alınan önlemlerin, acil durum eylemlerine göre daha etkili ve daha az maliyetli olacağı ifade edilmiştir. Bu nedenle adaptasyon uygulamaları ne kadar çabuk hayata geçerse o kadar faydalı olacağı düşünülmektedir.

Tüm toplumların hem mevcut hem de gelecekteki iklim değişikliğiyle başa çıkmak için adaptasyon kapasitelerini geliştirmeleri gerekmektedir (Adger vd., 2003). İklim değişikliğine karşı adaptasyon, çoğunlukla mevcut sistemlerin ayarlanması yoluyla yapılmaktadır. İklim değişikliği ile ilişkili potansiyel riskler göz önüne alındığında, adaptasyonun karakterize edilmesi ve uygulanması konusunda ciddi bir çaba sarf edilmektedir. Mevcut sistemleri güçlendirme, yüksek riskli yerlerde yerleşim ve altyapı inşa etmekten kaçınma, nehirlerin ve sulak alanların taşkınlara karşı kapasitelerini artırma, bilinçli sulama yapma, kuraklığa duyarlı mahsuller yerine dayanıklı mahsuller ile gıda üretimini çeşitlendirme çeşitli adaptasyon yöntemlerinden bazılarıdır (Adger vd., 2003).

Adaptasyon planlaması, finansmanı ve uygulamasındaki çabalar, tüm sektörler ve bölgelerde gözlemlenmekte ve kademeli olarak ilerlemeye devam etmektedir. 10

ülkeden sekizinden fazlası şu anda en az bir ulusal uyum planlama aracına sahiptir ve bu araçlar giderek daha iyi olmakta ve dezavantajlı grupları daha kapsayıcı hale gelmektedir. İklim etkileri ve riskleri konusunda artan kamusal ve siyasi farkındalık ile geçen yıla göre %5 artışla UNFCCC'nin 198 tarafının yaklaşık %84'ü uyum planlarını, stratejilerini, yasalarını ve politikalarını oluşturmuştur ve bu tarafların yaklaşık yarısının iki veya daha fazla planlama aracı vardır. UNFCCC'nin 198 tarafının üçte birinden fazlası ise, ulusal uyum planlamasına, sayısallaştırılmış ve zamana bağlı hedefleri dahil etmiştir. Artan adaptasyon uygulamalarına rağmen ülkeler, iklim etkilerine ayak uyduramamaktadır. Bu nedenle mevcut adaptasyon seviyeleri ile etkilerden korunmak tam anlamıyla mümkün olamamakta ve iklim risklerini azaltmak için gereken seviyeler arasında adaptasyon açıkları bulunmaktadır (UNEP, 2022). Gözlemlenen adaptasyon, bölgeler arasında eşit olmayan bir şekilde dağılmış ve meydana gelen adaptasyon açıkları, tahmini adaptasyon maliyetleri ile adaptasyon için tahsis edilen finansman arasındaki artan eşitsizliklerden kaynaklanmıştır. En büyük adaptasyon açığı, düşük gelirli nüfus grupları arasında bulunmaktadır. Mevcut adaptasyon planlama ve uygulama, ihtiyacı karşılayamadığı için adaptasyon açığı büyümeye devam etmektedir. Adaptasyon planlama, finansman ve uygulama alanlarındaki çabalar artarak devam etse de, adaptasyon açıklarının daha da büyümemesi için hızlandırılmış adımlara ve ölçek değişikliklerine ihtiyaç vardır. Adaptasyon seçeneklerinin genellikle uzun uygulama süreleri olduğundan, özellikle önümüzdeki on yılda uzun vadeli planlama ve hızlandırılmış uygulama ile bazı bölgeler için kısıtlamaları devam ettirerek adaptasyon açıklarını kapatmak önemlidir (IPCC, 2022).

Adaptasyon bazı durumlarda etkileri yok edebilir, bazı durumlarda ise hiç işe yaramayabilir. Bundan kaynaklı adaptasyon, iklim değişikliğinin gelecekteki büyük etkilerine karşı tam bir çözümü değildir. Özellikle tarım ve sağlık gibi alanlardaki etkiler adaptasyon yolu ile ortadan kaldırılabilirken, fiziksel sistemler üzerindeki daha tehlikeli etkiler ortadan kaldırılamaz. Dolayısıyla en etkili adaptasyon seçenekleri bile iklimle ilgili kayıp ve hasarları tam olarak engelleyemez. Bu nedenle adaptasyon iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmak adına gerekli, faydalı ama asla yeterli değildir. Bunun için adaptasyon ve azaltımı birleştiren kapsamlı uygulamaların olması gerekmektedir. Diğer bir ifade ile, adaptasyon, emisyon azaltma yöntemlerinin alternatifi değil, tamamlayıcısı olmalıdır (Nordhaus, 2013).

1.5.3. Emisyon Azaltma

Şimdiye kadar tartışılan iki yaklaşım da iklim değişikliğine karşı tatmin edici çözümler sunmamaktadır. Nordhaus (2013), tek faydalı çözümün, emisyon azaltma yaklaşımı olduğunu ifade etmektedir.

Emisyon azaltma yaklaşımı; fazla sera gazı salınımı sonucu meydana gelen birikimlerin miktarını düşürmeyi içermektedir. İnsan faaliyetlerinden kaynaklı sera gazı konsantrasyonları ana bileşenleri uzun ömürlü olan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve nitröz oksit (N_2O)'dir. Aerosol denilen parçacıklı maddeler ise kısa ömürlü olan sera gazlarıdır. Bunlar arasında en önemli sera gazı CO_2'dir ve fosil yakıtların yanmasıyla meydana gelmektedir. Tahminlerin çoğu, 2100 yılına gelindiğinde iklim değişikliğinde en çok paya CO_2 emisyonlarının sahip olacağını göstermektedir.

Emisyon azaltma teoride basit, pratikte ise zor bir süreçtir. Emisyonların etkili bir şekilde nasıl azaltılabileceğini ve mevcut teknolojiler ile ortadan kaldırılıp kaldırılamayacağını anlamak için emisyonların kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir. Emisyonun ana kaynağı fosil yakıt kullanımıdır. CO_2 emisyonunda en çok payı olan yakıtlar sırasıyla kömür, petrol ve doğal gazdır. Yakıta harcanan her 1000 ABD doları başına salınan karbon, kömürde 11 ton, petrolde 9 ton , doğal gaz da ise 2 tondur. Kömür kısa vadede doğal gaz ve petrole göre daha az maliyetli bir yakıt olmasının yanı sıra en yüksek karbon salınımına sahip yakıttır. Son dönemde Rusya'nın Ukrayna'yı işgal etmesi ile yaşanan küresel krizden kaynaklı doğal gazdan kömüre bir geçiş olmuş, kömürden kaynaklanan CO_2 emisyonları %1,6 artarak son on yılın ortalama büyüme oranını fazlasıyla aşarak neredeyse 15,5 Gt ile tüm zamanların en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Doğal gaz arzında daralma nedeniyle doğal gaz kullanımı %1,6 düşmüştür. Doğal gaz emisyonlarındaki azalmalar %13,5 ile Avrupa'da belirgin olmuştur. Ayrıca Asya Pasifik bölgesinde de %1,8 ile benzeri görülmemiş düşüşler yaşanmıştır (IEA, 2022a). CO_2 emisyonunun azaltılması için fosil yakıt kullanımında kömürün azaltılması büyük öneme sahiptir (Nordhaus, 2013). Ayrıca tüm mal ve hizmetlerin üretiminde fosil yakıtlar doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Ancak tüm faaliyetler eşit derecede CO_2 emisyonuna sebep olmamaktadır. 2019 yılında küresel CO_2 emisyonlarının %34'ü enerji sektöründen, %24'ü sanayiden, %22'si tarım, orman ve diğer arazi kullanımından, %15'i ulaşımdan ve %6'sı inşaattan kaynaklanmaktadır (IPCC, 2023).

İklim değişikliğinin etkilerini ortadan kaldırmak için dünyada acilen emisyonların azaltması gerektiği ve bunun en etkili yol olduğu kabul edilmektedir. Ancak bu sorumluluğun bölgeler, ülkeler ve bireyler arasında nasıl paylaşılacağı ve nasıl yaklaşımlar uygulanacağı üzerine çeşitli tartışmalar vardır.

Emisyon azaltım için temel yaklaşımlar ise şunlardır:

***Ekonomi büyümesinin yavaşlatılması*:** Sovyet Rusya'nın çöküşüyle Rusya'nın sera gazı salınımının düşmesi, Amerika'da 2009 kriziyle ABD'nin sera gazı salınımının %7 azalması ve en son 2020 yılında yaşanan Covid-19 salgını nedeniyle meydana gelen ekonomik yavaşlama ile sera gazı salınımının küresel düzeyde düşmesi gibi örneklerle ekonomideki durgunluğun, emisyonları düşüreceği görülmüştür. Fakat bu yaklaşım insan refahını olumsuz etkileyeceği için tercih ve tavsiye edilen bir yaklaşım olmamıştır.

Enerji tüketiminin azaltılması: Sera gazı üreten birçok faaliyet arasında, enerji tüketimi açık ara en büyük emisyon kaynağını temsil etmektedir. Dünya şu anda, eşi benzeri görülmemiş bir büyüklükte ve karmaşıklıkta bir şok olan ilk küresel enerji krizinin yaşamaktadır. 2022 yılı itibariyle fosil yakıtlar dünya enerji arzının yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Çevreyi kirletmediği düşünülen fosil olmayan enerjideki (nükleer ve hidroelektrik gibi) büyümeye rağmen, fosil yakıtlar varlığını korumaya devam etmektedir (IEA, 2022b).

Birincil enerji arzına artan bağımlılığı ile ekonomik büyüme yüksek emisyonlardan sorumlu faktör haline gelmiştir. 2021'de CO_2 emisyonlarındaki %6'lık artışın, küresel ekonomik çıktıdaki %5,9'luk sıçramayla uyumlu olduğu görülmüştür (IEA, 2022a). Enerji kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılması, fosil yakıt tüketiminin azaltılmasını gerektirmekte, bu durumda ekonomik büyümeyi olumsuz etkilemektedir. Böylece enerji tüketiminin azaltılması, ekonomik büyümenin yavaşlatılması yaklaşımına dönüşmektedir. Bu hiçbir zaman istenen bir durum olmamıştır. Bu sebepten enerji tüketiminin azaltılmasından ziyade enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, karbon emisyon vergilerinin uygulanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir (Akpan ve Akpan, 2012).

Karbon-yoğun üretimin azaltılması: Dünyada en yüksek CO_2 emisyona sahip ülkelerin çoğunluğu gelişmekte olan ülkelerdir ve bunlar üretim süreçleri nedeniyle giderek küresel karbon emisyonlarının ana kaynağı haline gelmektedir (Lopes de Sousa Jabbour vd., 2020). 2022 yılında emisyonlardaki en büyük artış %1,8 ile elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanmıştır. Bunun ana sebebi elektrik ve ısı üretiminin özellikle

gelişmekte olan ülkelerde kömür kaynaklı olmasıdır. Emisyonların azaltılabilmesi için karbon yoğun üretimden, temiz üretim süreçlerine geçişin yapılması gerekmektedir. En basit yöntem ile elektrik üretiminde kömür yerine doğal gazın kullanılması dahi CO_2 salınımını yarı yarıya azaltacaktır (Nordhaus, 2013). Daha ilerisi, yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve gelgit enerjisini üretimde kullanmak emisyon miktarlarını ciddi oranlarda düşürecektir. Şu anda güneş enerjisi doğrudan ısıya veya elektriğe dönüştürülmektedir. En basit yaklaşım güneş enerjisiyle ısıtmadır. Küçük ölçekte, güneşli ülkelerdeki evlerin ve diğer binaların çatılarında suyu ısıtan güneş enerjisi panelleri artmıştır, böylece insanlar karbonsuz sıcak suya erişim sağlamaktadır. Güneş fotovoltaik panelleri güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmektedir. Güneş panellerinin ana avantajı, enerjiye ihtiyaç duyulan yere yerleştirilebilmesi ve normalde elektriği hareket ettirmek için gereken karmaşık altyapıya ihtiyaç duymamasıdır. Son on yılda güneş panellerinin verimliliklerinde büyük bir artış olmuştur. Piyasada bulunan en iyi güneş panelleri yaklaşık %23 verimlidir ve bu da yaklaşık %1 oranında yapılan fotosentezden daha fazla CO_2 miktarını azaltmaktadır. Rüzgar türbinleri, eğer büyüklerse ve tercihen denizde bulunuyorlarsa, elektrik üretmenin verimli bir yolu haline gelmektedir. Hidroelektrik enerji ise, küresel olarak önemli bir enerji kaynağıdır ve 2010'da dünya enerjisinin %5'ini sağlamaktaydı. Dalga ve gelgit gücünün ise gelecekte önemli bir enerji kaynağı olabileceği düşünülmektedir. Bu enerji kaynağından okyanusun dalgalar halindeki sürekli hareketi ile elektrik üretilmesi planlanmaktadır (Maslin, 2021). Ayrıca elektrikli araba üretiminin de emisyon miktarlarını azaltacağı iddia edilmekte fakat bu iddia bir yere kadar doğru olmaktadır çünkü elektrikli araba kullanımının emisyonu ciddi oranda azaltabilmesi için elektrik üretiminin de karbon nötr olarak üretiliyor olması gerekmektedir.

2020'de Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve IMF, emisyonların azaltılabilmesi için temiz enerjiye büyük yatırım yapılmasını öneren bir rapor yayınlamıştır. Yapılan araştırmalar da iklim değişikliğinden ciddi anlamda kurtulmanın düşük karbonlu teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması yoluyla olacağını göstermektedir. Bu yöntem emisyonu azaltmakla kalmayacak mevcut üretimden daha ucuza bir üretim yapılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle düşük karbon ekonomisine geçiş, ülkelerin sürdürülebilir sosyoekonomik kalkınmaya ulaşmaları için stratejik bir tercih haline gelmiştir. Fakat şu anda temiz enerji teknolojilerine yapılan yatırım, emisyonların yüzyılın ortasına veya hemen sonrasına kadar net sıfıra inmesi için gereken miktarın çok altındadır (Birol, 2022).

Yanma sonrası CO_2'i atmosferden uzaklaştırma: Bu yöntemin amacı fosil yakıtları kullanmaya devam ederken, CO_2 emisyonunu ortadan kaldırmaktır. Günümüzde en umut vadeden yanma sonrası teknoloji karbon tutma ve ayırma (CCS) sistemidir. Bu teknoloji, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtları yakarak, salınan CO_2'i yakalamaktadır. Bu yöntemde yakma kısmı kolay ve ucuz iken yakalama kısmı zor ve maliyetlidir. Bu sistem yanma anında CO_2'i yakalayacak ve sonrasında atmosfere giremeyeceği uzak bir yerde saklayacaktır. Sistemin en büyük sıkıntısı CO_2'in nakliye ve depolama ve bunların sonucunda oluşan maliyetidir. Depolanacak maddenin boyutu çok olacağından nakliyesinin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Depolama alanı olarak kurumuş petrol ve doğalgaz yataklarının, okyanus derinliklerindeki yerçekiminin kullanılabileceği düşünülmektedir. Fakat kaçak ihtimali riskli bir durum olmaktadır. CCS'nin birçok riski bulunduğu için işletmeler bu yönteme yatırım yapmamaktadır (Nordhaus, 2013).

Görüldüğü üzere CO_2 emisyonlarının azaltmanın birçok yolu vardır. İlk aşamada yapılması gereken elektrik üretimini kömürden doğalgaza ve diğer karbon nötr kaynaklara kaydırmaktır. Uzun vadede en umut verici yol ise düşük karbon veya karbon nötr yeni ve gelişmiş teknolojilerin kullanılmasıdır. Literatürde iklim değişikliği üzerinde sayısız tartışma olmasına rağmen iklim değişikliğinin ciddiye alınıp, doğru bir şekilde yönetilmesi halinde, azaltma yoluyla küresel ısınmanın yavaşlayacağı veya tersine döneceği ve gelecekte insan refahına etkilemeyeceği konusunda görüş birliği vardır (Martinich vd., 2018; Maslin, 2021; Nordhaus, 2013; The Royal Society, 2021; What Can Be Done About Climate Change | MIT Climate Portal, 2023).

1.6. İklim Değişikliğinin Azaltılmasına Yönelik Politikalar

Son yıllarda ülke liderleri iklim değişikliğinin artık gözle görülür etkilerin olduğu, bu etkilerin azaltılması ve sıcaklık artışına bir sınır konması gerektiği konusunda hemfikirlerdir. Bu nedenle iklim değişikliği politikalarını belirlemek için çeşitli adımlar atmışlar fakat hangi iklim politikalarının uygulanacağı konusunda ortak bir fikirbirliğine varamamışlardır (Dechezleprêtre vd., 2022).

İklim değişikliği politikaları için yaklaşık 30 yıl önce başlayan ve hala devam eden müzakereler vardır. İklim değişikliği sorununa 19. yüzyılda değinilmiş olsa da, konunun küresel düzeyde, ilk olarak Dünya İklim Konferansı'nda tartışılması ancak 1979'da gerçekleşmiştir. Daha sonra Brundtland liderliğindeki Dünya Çevre ve Kalkınma

Komisyonu, iklim değişikliğini diğer küresel çevre ve kalkınma sorunları arasına göstermiştir. 1985 yılında Sera Gazları Danışma Grubu oluşturulmuş ve 1988'de Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve WMO tarafından resmileştirilmiş bir Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. 1990'da iklim değişikliğinin etkileri ve politika yönlerine ilişkin ilk IPCC raporlarının yayınlanmasından sonra Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), sera gazlarını azaltmak ve iklim değişikliğinin etkisini sınırlamak için dünya çapında bir anlaşmaya varmak adına 1992'de Rio Dünya Zirvesi'nde oluşturulmuştur. UNFCCC, 21 Mart 1994'te resmen yürürlüğe girmiştir ve iklim değişikliği hedefleriyle ilgili, tarihte yapılmış ilk resmi açıklamadır. Bu sözleşmede, sera gazı emisyonlarının iklim sisteminde tehlikeler yaratmayacak şekilde dengelenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Fakat bu hedef bir politika oluşturulabilmesi için oldukça belirsiz kalmıştır (UNFCCC, 2023). UNFCCC kurulduğundan itibaren, taraflar müzakereleri ilerletmek için her yıl Taraflar Konferansı'nda (COP) toplanmaktadır. 11 Aralık 1997'deki COP3'te Kyoto protokolü kabul edilmiştir. Karmaşık bir onay süreci nedeniyle 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girmiştir ve böylece küresel emisyonların %55'inden fazlasını temsil eden en az elli beş ülkenin imzalamış olması gerekliliğini karşılamıştır. İlk uluslararası anlaşma olan Kyoto Protokolü, UNFCCC'nin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin ilkelerini ve daha spesifik olarak, tüm gelişmiş ülkelerin 2008-12 yılına kadar emisyonlarını 1990 seviyelerine göre %5,2 oranında azaltmayı hedefleyeceği belirtilmiştir. Protokol, gelişmiş ülkelerin bugüne kadar yaymış olduğu emisyonları dengelemek amacıyla gelişmekte olan ülkeleri kapsamamış ve gelişmekte olan ülkelerin 2012 sonrası anlaşmaya katılacağı varsayılmıştır. Anlaşma 2012 sonunda sonlanmasıyla emisyon azaltımlarında başarı sağlayamamıştır. Ayrıca emisyon azaltımı ile sıcaklık hedefi arasında bağlantı kurulamamış ve ülkelerin katılımını teşvik edecek mekanizma oluşturulmamıştır. Bu sebepten 8 Aralık 2012'de Katar'ın başkenti Doha'da toplanan taraflar 2013'te başlayan ve 2020'ye kadar sürecek olan ikinci bir taahhüt dönemi için bir takım değişikliklerin yapıldığı Kyoto protokolünü kabul etmişlerdir ve Doha değişikliği 31 Aralık 2020'de 147 taraf ülke ile yürürlüğe girmiştir. 2012 yılında geçerliliğini yitirecek Kyoto protokolünün sınırlamalarının yerine yenilerini koymak için 2009 yılında Kopenhag'da toplantı yapılmıştır. Toplantıda emisyon azaltımları için hedef sıcaklık sınırı belirlenmiştir. Kopenhag anlaşmasıyla beraber ülkeler küresel sıcaklıktaki artışın 2° C 'nin altında olması gerektiğini kabul etmişlerdir. Bu anlaşmayla beraber uluslararası

bir konferansta iklim hedefi belirlenmiştir. Nordhaus'a göre bu hedefin 2°C seçilmesinin gerekçeleri şunlardır: ilk gerekçe son beş yüz bin yıldır yaşanmış en yüksek küresel sıcaklık ortalaması bugünün 2°C daha yukarısındadır ve bu sınırı aşmanın tehlikeli olabileceğidir. İkinci sebep, bu sıcaklık artışının üstüne çıkıldığı durumda ekolojik adaptasyonun zor olabileceğidir. Üçüncü gerekçe ise bu sınır aşılınca diğer pek çok sınırında aşılacak olmasıdır.

Paris 2015'teki iklim müzakereleri, tarafların sıcaklıkları 'sanayi öncesi seviyelerin 2°C üzerinde tutmaları ve sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerinde sınırlamak için çaba sarf etmeleri' gerektiğini belirtmiştir. 2017'de Paris Anlaşması büyük bir gerileme yaşamış, o zamanın ABD Başkanı Trump, Paris Anlaşması'nın adil olmadığına ve gelişmekte olan ülkelere karşı önyargılı olduğuna inandığı için ABD'yi anlaşmadan çıkardığını açıklamıştır. Paris Anlaşması'nın 28. maddesine göre bir ülke, anlaşmanın kendi ülkesindeki başlangıç tarihinden üç yıl öncesine kadar anlaşmadan çekildiğini bildiremeyeceği için ABD'nin anlaşmadan mümkün olan en erken geri çekilme tarihi 4 Kasım 2020'ydi. 2020 ABD başkanlık seçimlerinden bir gün sonra yeni seçilen Başkan Biden'ın ilk icraatlarından biri ABD'yi Paris Anlaşması'na yeniden dahil etmek olmuştur. Bu doğrultuda da düşük karbon teknolojisine ve altyapısına büyük yatırımlar yapmış ve ABD'nin karbon emisyonlarını 2030'a kadar %50 ve 2050'ye kadar net sıfır karbon azaltma sözü vermiştir. Paris anlaşmasına rağmen küresel karbon emisyonları her yıl artmaya devam etmiştir. Bunun tek istisnası, Covid-19 salgınının yol açtığı küresel karantinanın emisyonları yaklaşık %7 oranında düşürdüğü 2020 yılı olmuştur. Dünyadaki neredeyse tüm uçak ve araba yolculuklarını durdurmanın toplam sera gazı kirliliği üzerinde küçük bir etkisi olmuştur. Aslında, küresel bir pandemi ile 2020 için küresel karbon emisyonları, 2006 ile aynı hale gelmiştir (Maslin, 2021).

2021'de İngiltere ve İtalya, COVID-19 salgını nedeniyle bir yıllık gecikmenin ardından Glasgow'da COP26'ya ev sahipliği yapmıştır. Bu, ülkelerin Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkıları (NDCs) veya sera gazı emisyonlarını azaltma taahhütlerini sunduğu Paris Anlaşması'ndan sonraki ilk küresel toplantı olmuştur. Sunulan NDCs'ler, dünyanın GSYİH'sının %90'ından fazlasının artık net sıfır emisyon hedefleri kapsamında olduğunu göstermiştir. Toplantıda tüm NDCs'lerin yerine getirilmesi halinde, küresel sıcaklık artışının 2,4˚C ile 2,7˚C arasında tutulabileceği ifade edilmiştir. Bu, 197 ülkenin tamamı tarafından imzalanan Glasgow İklim Paktı'nda yeniden vurgulanan 1,5˚C Paris Anlaşması

hedefinin yakınından bile geçmemektedir. Bu nedenle ülkelerden Mısır'daki COP27 için yeni, daha iddialı NDCs'ler sunmaları istenmiş ve bu durum Paris Anlaşması'nın 5 yıllık döngüsünü kırarak taahhütlerin yıllık olarak yenilenmesinin yolunu açmıştır. Toplantıda aynı zamanda kömürün kademeli olarak azaltılması ve verimsiz fosil yakıtların kaldırılması çağrısında bulunulmuştur. Böylece ilk kez herhangi bir uluslararası iklim anlaşmasında fosil yakıtlardan bahsedilmiştir. COP26'da gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ülkelere, CO_2 salınımlarını azaltmalarına yardımcı olmak için verilecek mali yardım sözü tutulmamıştır. Ancak Çin ve ABD, bu on yılda emisyonları önemli ölçüde azaltmak için ikili bir iklim işbirliği yapmıştır.

İklim değişikliği politikası iki bilim dalıyla ilgilidir. Doğa bilimleri, iklim değişikliğinin jeofiziksel yönlerini başarıyla tanımlamıştır. Küresel ısınmanın ardındaki bilimsel gerçekleri belirlemiş ve CO_2 emisyonlarının salınımlarının tehlikeli sonuçlara neden olabileceğini kanıtlamıştır. Ancak iklim değişikliğinin kontrol edebilmek için etkili bir strateji tasarlamak sosyal bilimlerin görevidir. Ülkelerin iklim hedeflerine etkin bir şekilde ulaşmalarını sağlamak için ekonomik ve politik sistemlerin nasıl kullanacağını incelemektedir. Sosyal bilimler iklim değişikliğinin ekonomik etkilerini, azaltma maliyetlerini ve bu azaltmaları sağlayacak yöntemlerin belirlenmesini de sağlamaktadır. İklim değişikliğini yavaşlatmanın ve zararlarını önlemenin maliyet ve faydaları tam olarak değerlendirilmeden iklim değişikliği hedefleri doğru bir şekilde belirlenemez. Emisyon azaltımlarını sağlanması için etkili politikalar oluşturmanın birçok yöntemi vardır. Bugün mevcut olan en önemli mekanizma ise karbonun fiyatlandırılmasıdır. Bunun ilk yolu CO_2 emisyonlarını bir karbon vergisi ile vergilendirmektir. Bu durum kişi ve kurumların, tıpkı benzin alırken yaptıkları gibi, yarattıkları emisyonlar üzerinden vergi ödemelerini gerektirmektedir. Üst-sınır ve alım-satım olarak adlandırılan ikinci yol ise kurumları CO_2 emisyonlarını üretmelerine müsaade eden izinlere tabi tutmak ve bu izinleri alıp satmalarına müsaade etmektir. Bu yöntem EU tarafından uygulamaya konulmuştur. Bu iki yol kullanılarak hibrit bir sistem de uygulanabilir. Ayrıca iklim değişikliği politikalarının küresel düzeyde koordine edilmesi ve uluslararası bir iklim değişikliği anlaşmasını içermesi gerekmektedir. Bu yöntemler başarısız olduğunda iklim değişikliğini azaltmada uygulanacak son çare düşük karbonlu yeni teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanılmasıdır.

İklim değişikliği politikalarının amacı emisyon azaltma yöntemlerine teşvik amaçlıdır. Etkili ve verimli politikaların ülkeleri, insanları firmaları düşük karbonlu

tüketim yapmaya ve teknoloji kullanmaya teşvik etmesi gerekmektedir. İklim değişikliği azaltma hedefleri sağlam olsa da, bunları başarmak için alınması gereken önlemler konusunda geç kalınmaktadır. Mevcut politikalar göz önüne alındığında, bilim insanları ortalama sıcaklıkların 2100 yılına kadar yaklaşık 2,7°C artarak toplumlar ve ekonomiler için yıkıcı etki olasılığını artırmasını beklemektedir (Boehm vd., 2022; IPCC 2022).

1.7. Karbonun Sosyal Maliyeti

CO_2 emisyonlarını azaltma adına birçok yaklaşımın olduğu bir önceki başlıkta ifade edilmiştir. Bu yaklaşımların uygulanabilmesi için enerji tüketiminde, mal ve hizmet üretiminde çeşitli yöntemlerden vazgeçilmesi ve yeni alternatiflerinin kullanılması gerekmektedir. Bu alternatiflerin bazıları çok pahalı değilken, bazıları oldukça maliyetli olmaktadır. En basit ifade ile, iklim değişikliği alanındaki maliyet hesaplama ölçüsü "azaltılmış bir ton CO_2 başına düşen dolar" olarak kabul edilmektedir. Diğer bir deyişle bu ölçü, atmosfere fazladan bir ton karbondioksit salınımından kaynaklanan ekonomik hasarların dolar cinsinden tahmini olan karbonun sosyal maliyeti (SCC) olarak adlandırılmaktadır. Ekonomide bir malı üretmenin maliyeti ve bundan dolayı her malın bir fiyatı vardır. İklim değişikliği ekonomisinde ise bir şey üretmemenin maliyeti vardır. CO_2 üretmemenin veya daha az üretmenin ekonomilere bir maliyeti olmaktadır. SCC de daha fazla CO_2 üretmemenin marjinal maliyetidir ve bir birim emisyondan kaynaklanan ekonomik hasarların bugünkü değerine eşittir.

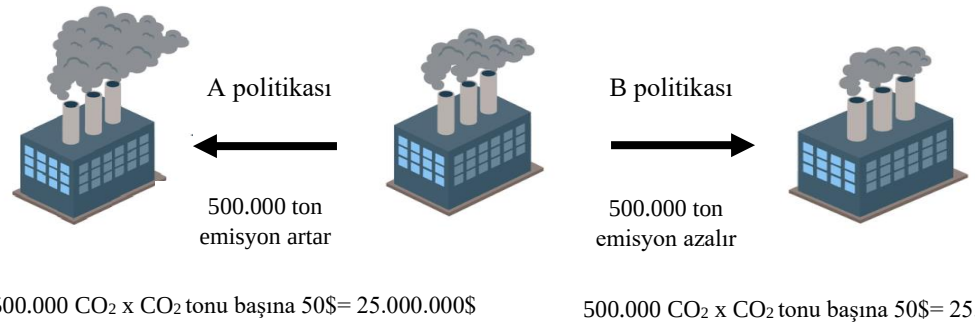
SCC, karbon salınımının artan etkisi olarak da ifade edilmektedir. SCC'nin iklim değişikliği ekonomisinde önemli bir kavram olmasının nedeni küresel/ulusal politika planlayıcısının dayatacağı bir verginin temeli olmasıdır. Ekonomide tüketilen her şeyin bedeli ödenmek zorundadır. İklim değişikliğine bunun uygulanması fikri de buradan gelmektedir, sorumlu olunan iklim değişikliğinin maliyetinin ödenmesi gerekmektedir. Bu durumu SCC karşılamaktadır. Optimum bir emisyon yörüngesi boyunca değerlendirildiğinde, SCC, Pigou (1920) vergisine eşittir (Tol, 2019a).

SCC, iklim değişikliği politikalarını anlamak ve uygulamak için önemli bir kavramdır. Bu kavram, iklim değişikliğini hafifletmenin faydalarını maliyetlerine karşı tartmaya yardımcı olmaktadır. Toplumların iklim değişikliğiyle mücadele etmek için ne kadar fedakarlık yapacaklarını belirlerken ihtiyaç duydukları bilgileri sağlamaktadır. Bunun nedeni SCC'nin, CO_2 emisyonlarını azaltmanın sağladığı fayda/ önlediği hasar olmasıdır. Bu durum onu politika yapıcılar için kılavuz haline getirmektedir. Politika

yapıcıların ve diğer karar vericilerin, emisyonları artıracak veya azaltacak kararların ekonomik etkilerini anlamalarını sağlamak için iklim değişikliğinin etkilerini ekonomik terimlerle ifade etmektedir.

SCC, iklim değişikliği hakkında politikalar üretebilme ve bu politikaları değerlendirebilmek adına en önemli niceliktir. SCC genellikle entegre değerlendirme modelleri ile hesaplanmaktadır. Bu modeller, nüfus, ekonomik büyüme ve diğer faktörlere bağlı olarak gelecekteki emisyonların, ortalama küresel yüzey sıcaklığında değişikliklere neden olduğu yolu yakalamaktadır. Modellerle, araştırmacılar önce bir politika değişikliği olmadığında iklim değişikliğinin yolunun ne olacağını simüle etmektedirler. Ardından, fazladan bir ton emisyonun sonucu olarak iklim değişikliğinin ne kadar artığını ve hasarın ne kadar olduğunu belirlemek için modeli tekrar çalıştırmaktadırlar. Sonuç olarak meydana gelen hasardaki fark, karbonun sosyal maliyetine denk gelmektedir.

SCC'nin iklim politikasının belirlenmesi ve değerlendirmesi amacıyla kullanıldığı yollardan diğeri ise fayda-maliyet analizidir. Fayda-maliyet analizi, önerilen veya değerlendirilen bir politikanın toplam ekonomik faydalarını toplam ekonomik maliyetleriyle karşılaştırmaktadır. Örneğin, bu analizle hava kirliliğini sınırlayan bir düzenleme ele alındığında daha iyi hava kalitesi yoluyla halk sağlığını ve çevre koşullarını iyileştirmek gibi toplam faydaları, hava kirliliğini kontrol etmek için ekipman satın alma ve kurma gibi uygulama maliyetleriyle karşılaştırılabilmektedir. SCC, bir politikanın sera gazı emisyonlarındaki değişiklikler nedeniyle iklim değişikliği üzerindeki etkisinin dolar değerini ölçmek için fayda-maliyet analizinde kullanılmaktadır. Emisyonları artıran politikalar ile emisyonlarda beklenen artış (ton cinsinden) SCC ile çarpılmakta ve ortaya çıkan dolar tutarı, politikanın toplam tahmini maliyetlerinin bir parçası olarak dahil edilmektedir. Emisyonları azaltan politikalar ile emisyonlardaki değişim SCC ile çarpılmakta ve sonuç, politikanın beklenen faydalarına eklenmektedir. Bu durum şekil 1.1'de görselleştirilmiştir.



Kaynak: Rennert ve Kingdon (2019)

Şekil 1.1. Farklı Politikalara Göre Karbonun Sosyal Maliyeti

SCC, iklim değişikliği zararlarının kapsamlı bir tahmini olmasına rağmen tahminlerini geliştirmek için kullanılan modeller, hasarların doğasına ilişkin kesin bilgi eksikliğinden ve farklı bilimlerin bir araya getirilmesinden dolayı iklim değişikliği literatüründe bilinen iklim değişikliğinin tüm önemli fiziksel, ekolojik ve ekonomik etkilerini şu anda içermemektedir. Doğal olarak yapılan tahminler en son araştırmaların gerisinde kalmaktadır. Buna rağmen, SCC'nin mevcut tahminleri, CO_2 emisyon değişikliğinin iklim etkilerini değerlendirmek için yararlı bir ölçüttür.

Literatürde SCC'nin değeri konusunda ciddi bir belirsizlik vardır. Yapılan tahminlerin çoğu ton başına 20-30 ile ton başına 300-400 arasında değişmektedir. Bu çok geniş bir aralıktır. Böylesi geniş bir aralıkta politika yapıcılar kararsız kalabilmektedir fakat bu maliyete karşılık gelen verginin 0'dan farklı olacağı konusunda hemfikirdiler. Bu durum, iklim değişikliğine neden olan faaliyetlerin bedelinin ödenmesi ve politikalar belirlenirken bu bedelin dikkate alınması gerektiğine vurgu yapmaktadır (Pindyck, 2013)

SCC üzerine sorulacak en önemli soru "her şey hesaba katıldığında CO_2'i belirli miktarda azaltmanın net maliyeti ne kadardır?" sorusudur. Literatürde bu konu üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır (Cai ve Lontzek, 2019; Griffi vd., 2012; Hickey, 2022; Pindyck, 2017; Pizer vd., 2014; Rennert vd., 2021; Tol, 2019a). ABD Kurumlar Arası Çalışma Grubu (US IWG) tarafından, karbonun sosyal maliyeti ABD için ton başına 51$ dolarak hesaplanmıştır (US IWG, 2021). Her ülke için karbonun sosyal maliyetini tahmin eden çalışmalar olmasına rağmen (Burke vd., 2018; Dell vd., 2012; Ricke vd., 2018; Tol, 2019a), pek çok ülkenin karbonun sosyal maliyetinin resmi bir tahmini yoktur. Çoğu ülke

karbonun sosyal maliyetinin uygulanmasını destekleme konusunda farklılık göstermektedir. Ulusal planlamacılar tarafından karbonun sosyal maliyetleri nadiren dile getirilmekte ve neredeyse hiç tartışılmamaktadır (Tol, 2019a). ABD hükümetinin, karbonun sosyal maliyetine ilişkin ilk tahmininden sonra, bazı ülkeler SCC değerini hesaplamak için ya ABD'nin tahmin metodolojisinin kullanmıştır ya da doğrudan ABD hükümetinin tahminini direkt kullanmışlardır. Bu nedenle iklim değişikliğinin maliyeti üzerine ortaya çıkan birçok yeni araştırmayı takip ederek, SCC'nin sürekli güncellenmesi gerekmektedir (Griffi vd., 2012).

1.7.1. İskonto Oranı

İklim değişikliği ekonomisini tam anlamak için iskonto kavramının mantığını anlamak oldukça önemlidir. Bunun nedeni bugünkü maliyet ve faydalar ile gelecekteki maliyet ve faydaların karşılaştırılması konusunun iklim değişikliği ekonomisinin en zorlayıcı konusu olmasıdır (Nordhaus,2013).

Geleceği iskonto etmenin iki temel nedeni vardır. Birincisi, ekonomik büyüme nedeniyle toplumların zaman içinde daha da zenginleşeceğinin varsayılması ve bu nedenle bugün bir doların, daha yüksek gelir elde edeceğimiz gelecekteki bir dolardan daha değerli olmasıdır. İkincisi ve daha tartışmalı olan nedeni ise saf zaman tercihini (veya sabırsızlığı) hesaba katmaktır. Bu kavram, insanların gelecek yerine bugünkü geliri tercih etme eğilimini tanımlamaktadır. İskonto oranı üzerindeki tartışma, insanların zamana karşı tutumlarının politika yapımına yansıtılıp yansıtılmamasından kaynaklanmaktadır (Kelleher, 2017; Spackman, 2004).

İklim değişikliğinin azaltmanın gelecekteki fayda ve maliyetlerini hesaplamak için iskonto oranı önemlidir. Çünkü emisyonların azaltılması için yapılan yatırımların maliyeti kısa vadede ödenirken, iklim değişikliğinden kaynaklı hasarların azalmasıyla oluşan fayda uzun vadede (uzak gelecekte) görülmektedir. Literatürde bu konuda ikilem mevcuttur. Araştırmacıların bazısı; gelecekte oluşacak faydanın bugünkü maliyetten iskonto edilmesi (düşülmesi) gerektiğini savunurken, bazıları gelecekteki nesilleri bugün yaşayan nesillerden daha az önemli kabul etmenin etik olmadığını savunmaktadır (Rennert ve Kingdon, 2019).

Ekonomi bilimine göre gelecekteki para bugünkü paradan daha az değerli olduğundan zamanla azalmakta, diğer bir deyişle iskontoya uğramaktadır. İskonto bugünkü mallar ile yarınki malları karşılaştırmaktadır ve nihayetinde önemli olan mal ve

hizmet tüketimidir. İklim değişikliği politikasındaki en temel ödün verme de gelecekteki tüketim uğruna bugünkü tüketimden vazgeçmektir. İskonto oranı da bu ödün vermenin değerini diğer bir ifade ile, bugünün tüketimine kıyasla yarının tüketiminin nispi değerini ifade etmek için kullanılmaktadır (Kelleher, 2017).

SCC tahminini etkileyen en önemli faktörlerden biri iskonto oranıdır. Bu oran, hem ampirik kanıtları hem de değer yargılarını içermektedir. İklim değişikliği etkilerinin büyük bir çoğunluğunun onlarca yıl sonra meydana gelmesi beklendiği için, gelecekteki bu etkilere bugün ne kadar ağırlık verileceğini belirlemek iskonto oranı ile sağlanmaktadır. Diğer bir deyişle, iskonto oranı gelecekteki hasarları bugünkü değerlere dönüştürmektir (EPA, 2016). İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için bugün birçok farklı yatırım seçeneği mevcuttur. Bu yatırımlara en verimli şekilde karar verilebilmesi için iskonto oranı belirlenmesi şarttır. İskonto oranı, iklim değişikliğini azaltmak için yapılan yatırımların, diğer alanlardaki yatırımlar ile rekabet edebilmesi için gereklidir ve bu yatırımların birbiriyle karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır (Nordhaus, 2013).

Gelecekteki maliyet ve faydaların, genellikle mevcut maliyet ve faydalardan daha az önemli olduğu kabul edilmekte ve iskonto oranı, bu göreli önem düzeyini yansıtmaktadır. Literatürde iskonto oranının yüksek mi düşük mü olması gerektiği konusunda hala devam eden bir tartışma vardır. Stern (2007), iklim değişikliği politikalarını ele aldığı raporunda gelecek nesillerin refahını iskontoya tabi tutmanın etik olmadığını savunmakta ve bu sebepten düşük iskonto oranının uygulanması gerektiğini iddia etmektedir. Bu iddiasını desteklemek için %1,4'lük bir iskonto oranı kullanmıştır. Ancak Nordhaus (2007) ve Mendelsohn (2008) dahil olmak üzere birçok araştırmacı, iskonto oranının fazla düşük olduğunu ve vardığı sonuçların sağlam temellere dayanmadığını ileri sürmüşlerdir. Özellikle Nordhaus, iskonto oranının düşük olmasına kıyasla yüksek olması için daha fazla neden olduğunu savunmuştur. Bunun sonucu olarak da yaklaşık %4,3'lük bir iskonto oranı kullanmıştır. Ayrıca iskonto oranının iklim değişikliğinin maliyet ve faydalarının değerlendirilmesi üzerinde sanıldığından daha az önemli bir rolü olabileceği görüşünü savunan araştırmacılarda vardır (Dietz ve Matei, 2016; Millner, 2013). Weitzman, (2009), yıkıcı iklim değişikliği durumunda, böyle bir olayın olma olasılığı ne kadar düşük olursa olsun, ciddi sonuçların iskonto etkisini geçersiz kılacağını iddia etmiştir. Bu bilgiler kapsamında, yüksek bir iskonto oranı, gelecekteki etkilerin mevcut etkilerden çok daha az önemli olduğu ve bu nedenle gelecekteki hasarlara karşı korunmak için şimdi daha az yatırıma ihtiyaç duyulduğu

anlamına gelirken, düşük bir iskonto oranı, gelecek etkiler ile mevcut etkilerin eşit derecede önemli oldukları anlamına gelmektedir ve gelecek nesilleri iklim değişikliğinin etkilerinden korumak için şimdi harekete geçilmesi gerektiği görüşünü desteklemektedir. Bu nedenden düşük iskonto oranları, daha sıkı (sert) politika önerilerine sebep olurken, yüksek iskonto oranları daha mütevazi çabaları göstermektedir.

İskonto oranını hesaplamak için iki temel yaklaşım vardır. Bunlarda ilki kuralcı yaklaşım diğeri tanımlayıcı yaklaşımdır. Kuralcı yaklaşım, iskonto oranının toplumların alternatif yatırımlardan elde edebileceği gerçek getirilere göre belirlenmesi gerektiğini ve etik ile ilgili felsefi argüman temelinde seçilmesi gerektiğini savunmaktadır. Nordhaus bu yaklaşıma şu örnekle karşı çıkmıştır: *"Ülkeler pek çok yatırımlar yapmaktadır. Binalar, eğitim, sağlık hizmetleri ,karbon azaltımı, yurtdışı yatırımları gibi… Özellikle devlet bütçelerinin sıkı tutulduğu ve finansal kısıtlamaların getirildiği dönemlerde bu tür yatırımların getirileri çok yüksek olabilir. Böyle bir durum yaşandığında, çok düşük ahlaki iskonto oranına sahip kuralcı yaklaşım iktisadi açıdan saçma olur. Ülkenin uluslararası finansal piyasalardan yılda %5-10 puan faizle borç alırken, elindeki az bir parayla yılda %1 getiri sağlayacak rüzgar santrallerine yatırım yapması saçmadır"* (Nordhaus, 2013). Tanımlayıcı yaklaşıma göre ise, iskonto oranı sermayenin fırsat maliyetine, piyasa faiz oranlarına ve bireylerin tüketici kararlarında ortaya koyduğu tercihlerine göre belirlenmesi gerektiğini savunmaktadır (Kelleher, 2017).

İklim değişikliği ekonomisinde çoğu çalışma sabit bir iskonto oranı kullanırken bazı çalışmalar ise zaman göre değişen bir oran kullanmıştır. Literatürde en çok kullanılan Ramsey iskonto faktörüdür ve $r = \rho + \eta g$ şeklindedir. Burada ρ saf zaman tercihi, η riskten kaçınmayı (marjinal gelir esnekliğini), g ise kişi başına tüketim değerini göstermektedir. İskonto oranının en önemli belirleyicilerinden biri saf zaman tercih oranı, diğeri ise riskten kaçınma oranıdır. Bu iki parametre genellikle "etik parametreler" olarak adlandırılmaktadır. İnsanlar için etik parametreler geleceğe, başkalarına ve riske karşı tutumu yansıtmaktadır. Bu tür tutumlar ahlaki muhakemeye dayalı olabilmekte veya sosyal normlar ve yetiştirilme biçiminden kaynaklanabilmektedir. Diğer bir deyişle, bu parametreler ekonomik birimlerin tercihlerini yansıtmaktadır ve ölçülebilmektedir (Tol, 2019b). Saf zaman tercih oranı, çoğu zaman, gelecekteki faydanın 'yalnızca gelecekte olduğu için' değerindeki düşüş oranı olarak karakterize edilmektedir (Stern, 2007). Diğer bir deyişle, toplumun daha sonra tüketmek için şimdiki özel tüketimini erteleme isteğinin

ölçüsüdür. Dolayısıyla saf zaman tercihi oranının yüksek olması, geleceğin az önemsendiğini göstermektedir (Tol, 2019b). Mevcut tüketimdeki bir artış, gelecekteki tüketimdeki aynı artıştan (enflasyona göre düzeltilmiş) kaynaklanacak olandan daha fazla refah üretecektir. Bu, tüketimin azalan marjinal faydasını yansıtmaktadır. Ekonomistler, tüketimin azalan marjinal faydasını, gelecekteki tüketim değerinin iskonto edilmesi gereken oranı belirlemek için kullanmaktadır. İklim değişikliği ekonomisinde ise bu kavram kullanılan en etkili modellerde bireyler arasında tüketimin dağılımına yönelik olarak, sosyal eşitsizlikten kaçınma veya riskten kaçınmanın bir oranı olarak tanımlanmaktadır (Dietz vd., 2009). Bu nedenle, eşitsizlikten kaçınma oranı genellikle klasik faydacılıkla çelişen ahlaki düşünceleri yansıtmak için kullanılmaktadır. Ayrıca, tüketimde zamanlar arası eşitsizliğe karşı sosyal isteksizliğin derecesini temsil etmektedir. Diğer bir ifade ile, gelir arttıkça fazladan bir doların ne kadar az keyif getirdiğini göstermektedir. Bu oran ne kadar düşükse, iskonto oranı o kadar düşük olacaktır. Bu da gelecek nesillerin günümüzdeki nesiller kadar çok önemsendiğini göstermektedir.

Bu bölümde, tüm ülkelerin katılımıyla, iktisadi ve mühendislik alanlarında ciddi ve etkin bir çaba sarf edilirse iklim değişikliğinin kontrol altına alınabileceği görülmüştür. Araştırmalar, uygulanan politikaların yeterince etkili olması halinde iklim değişikliğini 2,5-3ºC arasında tutmanın maliyetinin, iskonto edilmiş dünya gelirinin %1'i hatta daha azı değerinde olacağını ortaya koymuştur. Bu kapsamda iklim değişikliği konusunda ülkelerin hangi hedefleri belirlemesi, devletlerin nasıl politikalar izlemesi ve insanların CO_2 salınımlarını azaltmaya yönelik karar alması için hangi yöntemlerin kullanılması gerektiği belirlenmelidir.

İKİNCİ BÖLÜM
ENTEGRE DEĞERLENDİRME MODELLERİ

İklim değişikliği hedeflerine uluşmak için sosyoekonomik etkilerinin belirlenmesi, bu doğrultuda etkin politikalar uygulanması ve bunun için de ciddi gayret gösterilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda belirlenen alternatif emisyon azaltma politikalarının hangisinin etkin olacağını değerlendirmek ve fayda-maliyet dengelerini hesaplamak için entegre değerlendirme modelleri (IAM) geliştirilmiştir. Bu modeller ekonomik büyümeden, CO_2 emisyon miktarlarına, iklim değişikliğinin ekonomi üzerindeki etkilerinden, iklim değişikliğini azaltma politikalarının etkilerine kadar birçok karmaşık süreci tek modelde birleştirmektedir. Bu bölümde entegre değerlendirme modelleri anlatılmıştır.

2.1. İklim Değişikliğinin Modellenme Süreci

Birçok araştırmacı Dünya'nın iklimini simüle etmeye, zaman içinde nasıl ve neden değiştiğini anlamaya, mevcut iklimi neyin şekillendirdiğini bulmaya çalışmışlar ve "İklim değişikliği ne kadar önemlidir?" sorusuna cevap aramışlardır. Bu soruya cevap verebilmek için, iklim değişikliğinin toplam sosyoekonomik etkisinin, diğer fiziksel sistemlerdeki değişiklik ve risklerin etkisiyle karşılaştırılması gerekmektedir. Etkili iklim politikalarının uygulanması, artık çoğu hükümet ve kurumun öncelikleri arasına girmiştir. İklim değişikliğinin hızlanmasının diğer sistemleri etkilemesinin engellenmesi ve gerekli politikaların uygulanabilmesi için çeşitli araç ve metodolojilere ihtiyaç vardır (Calvin ve Bond-Lamberty, 2018; Weyant, 2017). Bu kapsamda iklim sisteminin geçmişte nasıl çalıştığını ve gelecekte nasıl ilerleyeceğini daha iyi anlayabilmek için, iklim sistemi modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller gerçek veriler kullanılarak oluşturulan küresel iklim sisteminin bilgisayar simülasyonlarıdır ve iklim sisteminin nasıl çalıştığına dair bilimsel anlayışı yansıtmaktadır. İklim sistemi modelleri, Dünya'nın iklimini yönlendiren süreçleri ve etkileşimleri temsil etmek için bilgisayarlarda çalışan matematiksel denklemleri kullanmaktadır (Ledley, 2013). Tüm mekansal ve zaman ölçeklerinde iklim sistemi bir bilgisayar modeline dahil edilmiş olsaydı, çalıştırılması çok karmaşık ve maliyetli olacaktı. Fakat, en karmaşık modeller bile gerçek iklim sisteminin nispeten basit temsilleridir. Dolayısıyla modeller iklim süreçlerinin anlaşılması için faydalı olsa da

iklim sistemini tam olarak simüle edememektedir. Bu nedenle iklimi simüle etme veya tahmin etme konusunda yetenekleri sınırlıdır. Bununla birlikte, basitlikleri, bilim insanlarının iklim sisteminin bileşenlerinin ve süreçlerinin nasıl etkileşime girdiğini ve bu bileşenlerdeki ve süreçlerdeki değişikliklerin iklimi nasıl değiştirebileceğini incelemesine olanak tanımıştır. Diğer bir ifade ile, bu modellerden elde edilen çıktılar iklim bilimini ileriye taşımış ve insan faaliyetinin iklimi nasıl etkilediğinin anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Bu ilerlemeler sayesinde, modeller son 50 yılda ulusal ve uluslararası ölçekte iklim politikası kararlarının temelini oluşturmuştur (Carbon Brief, 2018).

İklim sistemlerinin modellenmesinde en eski ve en temel sayısal iklim modelleri, enerji denge modelleri (EBM)'dir. EBM'ler iklimi simüle edememekte, bunun yerine Güneş'ten Dünya atmosferine giren enerji ile uzaya geri salınan ısı arasındaki dengeyi dikkate almaktadır. Dünya, bir enerji dengesine yakın çalışmaktadır. Bu ifade, Dünya'ya eşit miktarda enerji girdiği ve çıktığı anlamına gelmektedir. Enerji dengesi sayesinde tüm sistemin uzun süre boyunca sıcaklığı nispeten sabit kalmıştır. Stefan-Boltzmann kanununa göre; bu sıcaklık ortalama yüzey sıcaklığıyla aynı değildir, çünkü yüzey sıcaklığı atmosferin ve okyanusların radyasyon ve absorbsiyon (soğurma) etkilerine bağlıdır. EBM'ler bu etkileri hesaba katarak Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığını, uzaya yayılan radyasyonu, Dünya'nın enerji absorbsiyonunu ve sera gazı etkilerini tahmin etmeye çalışan basit iklim modelleridir. EBM'ler, sıcaklıkta meydana gelen değişimi, gelen ve giden enerjinin bir fonksiyonu olarak tanımlamakta ve en basit şekilde denklem 2.1 ile açıklanmaktadır.

$$\underbrace{\pi R_e^2 (1-\alpha) H_0}_{\text{absorbe edilen enerji}} = \underbrace{4\pi R_e^2 \sigma T_e^4}_{\text{Yayılan enerji}} \qquad 2.1$$

Denklem 2.1'de; R_e Dünya'nın yarı çapı, H_0, Dünya dışından gelen güneş akısı, α, gezegenin albedo değeri, σ, Stefan-Boltzmann katsayısı, T_e, Dünya'nın yüzey sıcaklığıdır.

EBM'lerden bir adım sonrasında ışınımlı konvektif modeller (RCM) vardır. RCM'ler, sıcak hava yükselirken konveksiyon yoluyla atmosferin yüksekliği boyunca enerji transferini simüle ederek atmosferin farklı katmanlarının sıcaklığını ve nemini hesaplamaktadır. Bu modellerde dünya bir bütün olarak ele alındığı için tek boyutludurlar. RCM'lerden sonra küresel iklim modelleri olarak da adlandırılan genel dolaşım modelleri (GCM) geliştirilmiştir. İlk GCM'ler, "yalnızca atmosfer" veya "yalnızca okyanus" modelleri gibi, iklim sistemini tek bir yönü ile simüle etmiştir ancak

daha sonra modele atmosferin ve okyanusların katmanlarını dahil ederek üç boyuta çıkarmışlardır. Daha karmaşık olan birleştirilmiş modeller, iklim sisteminin kapsamlı bir temsilini sağlamak için birden fazla modeli birbirine bağlamış ve modellerin farklı yönlerini bir araya getirmiştir. Zamanla, bilim insanları yavaş yavaş iklim sisteminin diğer yönlerini GCM'lere eklemiş ve böylece su döngüsü, deniz buzu ve kara buzu gibi iklim elemanları da modellerde simüle edilmiştir. GCM'lerin en yeni alt kümesi yer sistemi modelleri (ESM), tüm iklimin insan kaynaklı sera gazı emisyonlarına nasıl tepki verdiğini etkileyen karbon döngüsünü, nitrojen döngüsünü, atmosferik kimyayı, okyanus ekolojisini, bitki örtüsünü ve arazi kullanımındaki değişikliklerini simüle edebilmiştir. GCM'lere benzer olan, ancak belirli bölgeler için bölgesel iklim modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller daha küçük bir alanı kapsadıkları için, genellikle GCM'lerden daha hızlı ve daha yüksek çözünürlükte çalışmaktadırlar. Yüksek çözünürlüğe[4] sahip bir model, daha küçük ızgara hücrelerine[5] sahiptir ve bu nedenle, belirli bir alan için daha ayrıntılı iklim bilgisi üretmektedir.

Şimdiye kadar ifade edilen iklim modelleri iklim değişikliği için oldukça önemli olmasına rağmen sadece doğal bilimlerin bileşenlerini dikkate almıştır. Sosyal ve ekonomik bileşenleri dikkate almadığı için bu etkileri modele dahil eden IAM'ler geliştirilmiştir (Yang vd., 2018). Bunlar, ekonomik büyümenin ve demografik yapının iklimi nasıl etkilediğini göstermekte ve iklimin sosyoekonomik etkilerini simüle ederek, basit bir iklim modeline toplumun özelliklerini eklemektedir. Bu modeller, tez çalışmasının ana konusunu oluşturduğu için aşağıda daha detaylı incelenmiştir.

2.2. Entegre Değerlendirme Modelleri

Entegre değerlendirme modelleri (IAM) enerji denge modelleri temel alınarak geliştirilmiştir. İlk olarak enerji modellerine bir emisyon modeli dahil edilerek başlanmış, daha sonra karbon döngüsü modeli ve küçük bir iklim modeli eklenerek geliştirilmiştir.

---

[4] Bir modeldeki ızgara hücrelerinin boyutu, onun "uzamsal çözünürlüğü" olarak bilinmektedir. Yüksek çözünürlüklü bir modelde daha çok ızgara olacaktır. Modelde çözünürlük ne kadar yüksek olursa, model belirli bir bölge için o kadar spesifik iklim bilgisi üretebilmektedir.

[5] İklim sisteminin karmaşıklığı ve hesaplama gücünün sınırlı olması nedeniyle, bir modelin iklim sisteminin her bir metreküpü için tüm bu süreçleri hesaplanması mümkün olmamaktadır. Bunun için iklim modelleri Dünya'yı ızgara olarak adlandırılan küçük hücrelere bölmektedir.

Enerji sistemleri ile ekonomik büyüme modellerini ilk kez birlikte kullanan Manne modeli IAM'ler için bir dönüm noktası olmuştur (Manne, 1976). IAM'ler, enerji denge modelleri üzerine kurulmuş ve enerji sistemi modeline toplumun çeşitli yönleri eklenmiştir. Tek bir modelleme çerçevesinde, toplumun ve ekonominin temel özelliklerini iklim sistemleri ile ilişkilendirmeye çalışmaktadır.

IAM'ler son derece karmaşık fiziksel ve sosyal sistemleri temsil etmek için basitleştirilmiş sayısal yaklaşımlardır. Fiziksel iklim sistemine ek olarak sera gazı emisyonunu etkileyen demografik, ekonomik ve politik değişkenleri dikkate alan sosyoekonomik sistemleri de içermektedir. Diğer bir ifade ile, IAM'ler doğal sistemleri yönlendiren fiziki yasaları ve aynı zamanda insan toplumunu yönlendiren sosyal normları kapsamaktadır. Küresel iklim sistemi ve ekonomik sistem iç içe geçen sistemler olduğu için IAM'ler, parçaları bir araya getirerek bu karmaşık sistemlerin anlaşılmasında kilit bir rol oynamaktadır (Stanton vd., 2009). IAM'ler ilk olarak sera gazı emisyonlarına ve iklim değişikliği arasındaki ilişkiye odaklanmasına rağmen artık arazi kullanımı, biyojeokimya, su döngüsü, demografi ve sağlık konularını da içermektedir. Bunun amacı, iklim sisteminin daha fazla elemanını modelleme çerçevesine dahil etmektir. Dolayısıyla son derece karmaşık hale gelme riski taşımaktadırlar. Bu karmaşıklık ihtimaline karşı birçok IAM'de, nispeten basit denklemler kullanılmaktadır (Van Vuuren vd., 2011). IAM'lerin çıktıları, verilere, varsayımlara ve senaryo tasarımlarına dayanan sayısal simülasyon sonuçlarıdır (Yang vd., 2018).

IAM'ler insani gelişim ve toplumsal seçimlerin iklim değişikliği de dahil olmak üzere doğal dünyayı ve birbirlerini nasıl etkilediğinin, geleceğin belirli koşullar altında nasıl ilerleyeceğinin ve sistemin dış faktörlerin etkisi altında nasıl değişeceğinin anlaşılmasını sağlamaktadır. Örneğin, bir IAM modelinde araştırmacılar sosyoekonomik veya politikadaki değişikliklerin enerji, su ve toprak üzerindeki etkilerini inceleyebilmektedir. Ayrıca, bir bölgede meydana gelen değişikliklerin, diğer bölgelerdeki etkilerini araştırmak için IAM'ler kullanabilmektedir (Calvin vd., 2019; Wise vd., 2014). IAM'ler, iklim sistemi ile sosyoekonomik sistemleri tek bir çerçeveye entegre ederek, iklim değişikliği politikası geliştirmek ve değerlendirmek için de kullanılmaktadır (Calel ve Stainforth, 2017; Kelly ve Kolstad, 1999). Bu modeller tarafından ele alınan politika konuları, gelecekteki sera gazı emisyonlarını azaltmanın maliyet ve faydalarını belirlemeyi, belirli iklim hedeflerine ulaşmak için uygun maliyetli emisyon azaltma yollarını bulmayı, alınacak azaltma önlemlerinin türünü araştırmayı ve

emisyonların ekonomik etkilerini tanımlamayı içermektedir (Van Vuuren vd., 2011). İyi iklim politikası, iklim değişikliğinin insan yaşamını ve geçim kaynaklarını nasıl etkileyeceğini en iyi şekilde anlamayı gerektirmektedir. Özellikle son birkaç yıldır, IAM'ler iklim politikası tartışmalarına bilgi sağlama konusunda giderek daha etkili hale gelmiştir. Bilimsel literatürün bulgularını özetleyen değerlendirme raporlarının yanı sıra politika etkilerinin değerlendirilmesinde ve devlet kurumlarının çevresel mevzuat analiz raporlarında kullanılmaya başlanmıştır. Buna ek olarak, birçok ülke 2015'te Paris'te düzenlenen COP21 iklim müzarekesinde sunmak için hazırladığı Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkıları (NDCs)'nda, uygulayacakları politikalarını bildirmek için ulusal düzeyde IAM kullanmışlardır (EPA, 2010; NDCs, 2015).

IAM'ler, mevcut ekonomik faaliyetleri, iklimin gelecekteki ekonomik faaliyetler ve çevre üzerindeki etkileri arasındaki ilişkinin anlaşılmasında büyük faydaları olmasına rağmen çok fazla eleştiri almıştır. Eleştirilerin çoğu, model sonuçlarını neyin yönlendirdiği konusundaki şeffaflığın eksik olması, iklim değişikliğinin doğasından kaynaklanan belirsizlik, modellerin güncellenmeyen varsayımları, modeldeki teknoloji, davranışsal ve ekonomik sistemlerinin yetersiz temsili, modelin çok sayıda yargı, tartışmalı kararlar ve ölçülemez hipotezler içermesi gibi konular üzerine olmuştur. Araştırmacıların bazıları modellerin ortadan kaldırılmasını önerirken bazıları bu modellerin farklı model ve analitik tekniklerle desteklenmesi ile çok faydalı olacağını ifade etmiştir. Düşük karbonlu senaryolar üretmek için faydalı ve yüksek talep gören araçlar olduğu için IAM'lerin ortadan kaldırılması gerçekçi olmayacaktır. Fakat çevre, sosyal ve ekonomi gibi farklı disiplinlerden uzmanlar ile artan işbirliği sayesinde, farklı teknikler ve modeller ile desteklenmeleri halinde bu modeller iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik oldukça önemli adımların atılmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda, IAM geliştiren araştırmacılar kendilerine yöneltilen eleştirilerin çoğunu dikkate alarak modellerini geliştirmek için çeşitli çabalar sarf etmiş ve etmeye devam etmektedir (Gambhir vd., 2019). İyi bir IAM yeterince şeffaf olmakla birlikte, iklimin ve ekonominin en önemli özelliklerini elde edecek kadar da sofistike olmalıdır.

IAM'ler doğrusal olmadığından ve çeşitli kısıtlamalara tabi olduklarından, bu modelleri analitik olarak çözmek mümkün değildir. Bu nedenden modelleri sayısal olarak çözmek için doğrusal olmayan programlama yöntemleri kullanılmaktadır (Hwang, 2017). Bu modellerde parametre değerleri tam olarak bilinmemektedir ve birçok işlemin fonksiyonel ifadesinin şekli konusunda belirsizlik vardır. Bu nedenle sayısal çözümlerin

sonuçları dikkatle izlenmeli ve gerekliyse ek analizler yapılmalıdır. Doğrusal modellerde, parametrelerdeki küçük değişikliklerin sonuçları da küçük değişikliklere neden olmaktadır. Doğrusal olmayan modeller için bu böyle olmamakta, çoğu zaman çözümlerin parametrelerdeki küçük değişikliklere karşı oldukça hassas olduğu görülmektedir (Kellett vd., 2019).

IAM'ler araştırmacılar tarafından farklı açılardan çeşitli sınıflara ayrılmıştır (Bahn vd., 2006; Goodess vd., 2010; Stanton vd., 2009; Van Vuuren vd., 2006; Van Vuuren vd., 2011). Temel olarak politika optimizasyon modelleri ve politika değerlendirme modelleri olarak iki genel sınıf altında toplanmaktadır (Weyant vd., 1996). Politika optimizasyon modelleri, genel olarak normatif niteliktedir ve tipik olarak iklim değişikliğini bir ekonomistin bakış açısından analiz etmektedir, dolayısıyla bir politikanın verimliliğine ve rasyonelliğine odaklanmaktadırlar. İklim değişikliğine uyum maliyetlerinin karşılaştırılması ve olası alternatif politikaların değerlendirilmesi için emisyonların azaltılması gibi iklim değişikliğinin ekonomik sonuçlarını önemsemektedirler. Bu modeller maksimize edilmiş bir amaç fonksiyonuna veya refah fonksiyonuna sahiptir. Ayrıca modelin karmaşıklık seviyesi, optimizasyon algoritmasını izlenebilir tutma ihtiyacıyla sınırlıdır ve bu nedenle bu modeller boyut olarak nispeten küçüktür (Tol ve Fankhauser, 1998). Politika değerlendirme modelleri ise doğa bilimlerine ağırlık veren modellerdir. Önemli değişkenler için gelecek yolları oluşturan fakat ekonomik veya çevresel bir sonucu optimize etmeyen özyinelemeli veya denge modelleridir. Özyinelemeli modellerin, çözüm hesaplamaları genellikle politika optimizasyon modellerinden daha basittir (Nordhaus, 2013). Bu modellerin amacı, farklı politikaları değerlendirmek, varsayımlarda bulunmak ve gelecekte olabilecek en iyi yolu aramaktır. Avantajı, iklim değişikliğinin yüksek mekansal çözünürlük üzerindeki etkisini analiz etmektir. Dezavantajı ise ekonomik modülün nispeten zayıf olmasıdır. Bu modeller, ekonomik ilişkileri ilgili mekansal çözüm üzerinde kuramamaktadır. Bu iki yaklaşım birbirinden çok farklı değildir. Politika optimizasyon modelleri politika dışı modda çalıştırılabilirken politika değerlendirme modelleri farklı politikaları karşılaştırabilir. Ayrıca politika optimizasyon modelleri emisyon azaltma ve optimal politikanın fayda-maliyet analizine odaklanırken, politika değerlendirme modelleri, belirli bir politika ve azatma hedefine ulaşmanın maliyetinin etkinliğine bakmaktadır (Farmer vd., 2015). Bu iki model de doğrusal değildir ve yapılarındaki ekonomik ve doğal

sistemi ifade etmek için birçok dışsal değişkene ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, çözüm algoritmalarında genellikle farklılıklar vardır (Tol ve Fankhauser, 1998).

Temel olarak iki sınıfa ayrılan IAM'ler ayrıntılı olarak ise beş geniş kategoriye ayrılmaktadır. Bu kategoriler; refah optimizasyonu, genel denge, kısmi denge, simülasyon ve maliyet minimizasyonu modelleridir. Altıncı kategori olarak, makroekonomik modeller bu listeye eklenebilir, ancak iklim analizi için kullanılan saf makroekonomik modelin tek örneği Oxford Global Makroekonomik ve Enerji Modelidir (Cooper vd., 1999). Bu model için halka açık belgeler özel bir danışmanlık firması tarafından geliştirildiği için, sınırlı ve kısıtlıdır. Bu kategroilere ait çok fazla IAM vardır. Farklı güçlü ve zayıf yönleriyle kendine özgü modellerdir. Her biri iklim ve kalkınma politikasının belirlenmesi için gerekli kararlar hakkında farklı bir bakış açısı sağlamaktadır. Özünde, her model yapısı farklı bir soru sormakta ve bu soru ürettiği sonuçların bağlamını belirlemektedir. Bu bir model türünün diğer model türünden iyi olduğu anlamına gelmemektedir (Stanton vd., 2009; Wang vd., 2017).

Refah optimizasyon modelleri oldukça basit olma eğiliminde oldukları için yüksek şeffaflığa sahiptirler. Modeller, iklim değişikliği azaltma maliyetlerinin, ekonomik çıktıyı azalttığı her bir zaman diliminde ne kadar emisyon azaltılacağını seçerek, tüm zaman dönemlerinde indirgenmiş refah değerini en üst düzeye çıkarmaktadır. Bu modellerde, tüketimin refah düzeyine geri dönüşü her zaman olumlu olmakla birlikte, daha da zenginleştikçe azalmaktadır. Dinamik optimizasyon modelleri sanki kararlar mükemmel öngörü ile verilebilirmiş gibi tüm zaman dilimleri için aynı anda çözülmektedir. DICE-2007 (Nordhaus, 2007), ENTICE-BR (Popp, 2006), DEMETER (Gerlagh, 2006) ve MIND (Edenhofer vd., 2006) küresel refah optimizasyonu modellerinin en bilinen örnekleri iken, RICE-2004 (Yang ve Nordhaus, 2006), FUND (Tol, 1999), MERGE (Manne ve Richels, 2005) bölgesel refah optimizasyon modellerinin en bilinen örnekleridir.

Genel denge modelleri, ekonomiyi bağlantılı ekonomik sektörler (emek, sermaye, enerji vb. piyasaları) olarak temsil etmektedir. Bu modeller, tüm piyasalar için "denkleştirme etkisi" [6] olan bir dizi fiyat bularak çözülmektedir. Genel denge modelleri

[6] Her sektördeki talebi ve arzı aynı anda eşitleme durumudur.

özyinelemeli dinamikleri kullanma eğilimindedir. Diğer bir ifade ile, fiyatları tüm zaman diliminde belirledikten sonra bu çözümü bir sonraki dönemin başlangıç noktası olarak kullanmaktadır. Genel denge modellerine JAM (Gerlagh, 2008), AIM (Kainuma vd., 1999), IMACLIM-R (Hourcade vd., 2010) ve WIAGEM (Kemfert, 2002) örnek olarak verilmektedir. Genel denge teorisinin dinamik versiyonlarında, çoklu denge her zaman göz ardı edilememektedir (Ackerman vd., 2009) . Çoklu denge mevcut olduğunda, genel denge modelleri tahmin prosedürünün detaylarına bağlı olabilecek belirsiz sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, üretim fonksiyonlarına sürekli olarak sabit veya azalan getiriler varsayımı eklenmektedir. Bu, tek bir optimal sonuç sağladığı bilinen keyfi bir teorik kısıtlamadır (Köhler vd., 2006). Ölçeğe göre artan getiri, endojen teknolojik değişimin doğru modellenmesi için önemli olduğundan, genel denge modellerinin enerji sektörünü temsil etmelerinin aşırı basitleştirilmesi ile istikrarsız model sonuçlarına izin verilmesi arasında bir etkiye sahip olması gerekmektedir. Genel denge modelleri ayrıntılı iklim modelleri ve karmaşık ekonomi modellerini birleştirerek daha ayrıntılı ve karmaşık hale gelmektedir. Bu özelliklerine rağmen, ekonomi modelinde azalan getiriyi kullanmaları, onlar için, içsel teknolojik değişimin modellenmesindeki yararlılıkları açısından ciddi bir sınırlamadır.

MiniCAM (Clarke, 2007) ve GIM (Mendelsohn ve Williams, 2004) gibi kısmi denge modelleri diğer sektörlerdeki fiyatları sabit tutarak, daha az sayıda ekonomik sektöre odaklanan genel denge modelinin bir alt kümesini kullanmaktadır. Bu prosedür aynı zamanda ölçeğe göre artan getiriler ile ilgili problemleri önlemeye yardımcı olabilmektedir. Kısmi denge modelleri, genelliğin kaybı pahasına artan getiri sorununu dikkate almamaktadır.

Simülasyon modelleri, gelecekteki emisyonlar ve iklim koşulları hakkında çevrimdışı tahminlere dayanmaktadır. İklim sonuçları üretim, tüketim, yatırım, hasar ve azaltım maliyetlerinin ekonomik bir modeli tarafından belirlenmektedir. Zamana göre önceden belirlenmiş bir dizi emisyon, üretimde kullanılabilecek karbon miktarını belirlemektedir ve model çıktısı, azaltma ve hasar maliyetlerini içermektedir. Simülasyon modelleri, sosyal refahı en üst düzeye çıkarmak veya sosyal maliyetleri en aza indirmek için politika yapıcılara tek başlarına yanıt verememektedir. GIM (Mendelsohn ve Williams, 2004), E3MG (Barker vd., 2006) ve PAGE2002 (Hope, 2006) simülasyon modellerine birkaç örnektir. Bu modeller gelecekteki olası çeşitli emisyon yollarının maliyetlerini tahmin etmektedir. Simülasyon modelleri, belirsiz parametreleri temsil

etmek ve gelecekteki emisyon senaryolarına dayalı IAM sonuçları geliştirmek için çok uygundur, ancak politika yararlılıkları, ekonomik zararlarından ve azaltma maliyetlerinden emisyonlara geri bildirim eksikliği ile sınırlıdır.

Maliyet minimizasyonu modelleri, belirli bir hedefle uyumlu en uygun maliyetli çözümü tanımlamak için tasarlanmıştır. Bazı maliyet minimizasyon modelleri açıkça bir iklim modülü içerirken, diğerleri iklim değişikliğini ve zararlarını değil, sadece emisyonları temsil etmektedir. Maliyet minimizasyon modellerinden bazıları şunlardır: GET-LFL (Hedenus vd., 2006), MIND (Edenhofer vd., 2006b) ve MESSAGE-MACRO (Rao vd., 2006). Maliyet minimizasyon modelleri, insan refahının parasal olarak hesaplanmasını gerektirmeden politika konularını ele almaktadır.

Model yapılarının farklı türleri, iklim ve kalkınma politikasını çok farklı şekillerde bilgi veren sonuçlar sağlamaktadır. Bu modellerin birbirlerine karşı üstünlük ve zayıflıkları mevcuttur. Bugün en az on yıllık bir geçmişe sahip birçok IAM vardır. Modeller küçük kapsamlı olanlardan, yarım milyon değişkene sahip olabilecek kadar büyük kapsamlı olanlara kadar değişmektedir. Küçük kapsamlı modeller tam bir fayda-maliyet analizi sağlarken, bölgesel ve sektörel detaylar açısından zayıf olabilmektedir. Daha büyük modeller ayrıntılı bilgi sağlarken, etki ve zararları tam anlamıyla izleyememektedir. Bundan dolayı IAM'ler arasında en iyi ve en doğru model diye bir şey yoktur. Hangi IAM'lerin kullanılacağını karar vermek, iklim ile hangi sistemlerin birleşimine odaklanıldığına ve çalışma hipotezlerine bağlıdır. Çünkü her bir IAM iklim değişikliği sorununa farklı şekilde yaklaşmak için tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında uzun vadeli insan refahını en üst düzeye çıkaran optimal iklim politikasını bulmak amaçlandığı için güvenilir bir iklim ve ekonomi modeli temel alınmıştır. Bu model bugün hala IAM sınıfının amiral gemisi kabul edilen DICE/RICE modelleridir. IAM'ler, birçok ekonomik ve iklim modelinin birbirine bağlı olmasından dolayı çok karmaşık olsa da, kullanışlı ve başarılı oldukları kabul edilmektedir. DICE'in başarısı büyük olasılıkla şeffaflığı ve göreceli sadeliğinden kaynaklanmaktadır (Rivera vd., 2018).

2.2.1. DICE/RICE Model

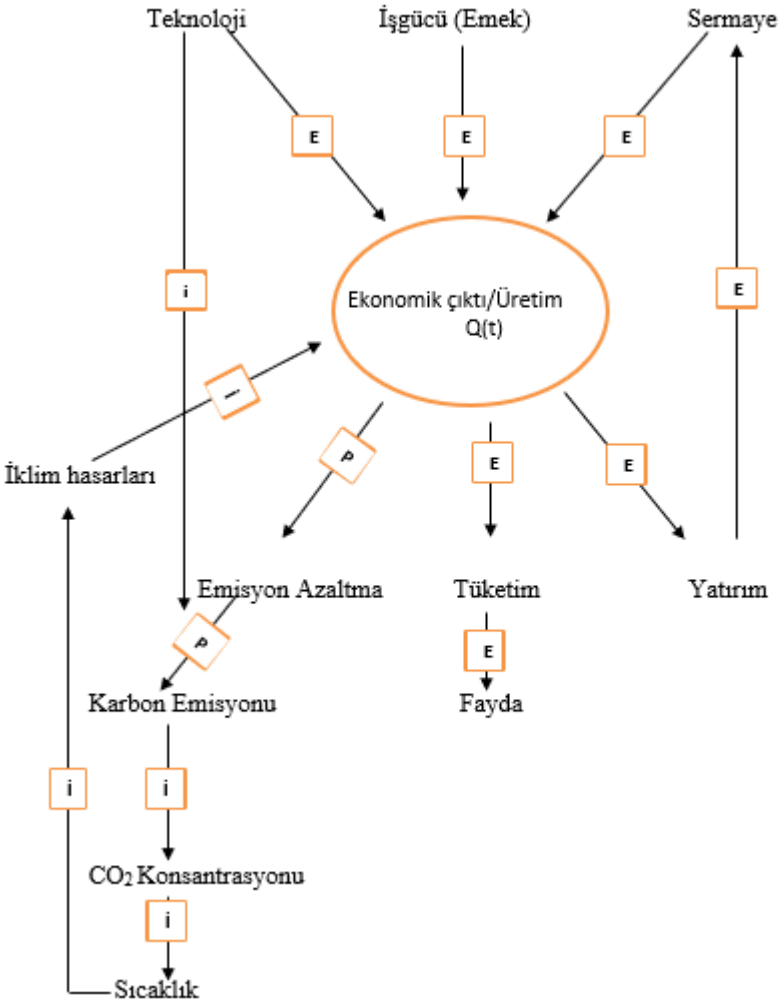
William Nordhaus liderliğinde bazı iklim ekonomistleri tarafından geliştirilen iklim ve ekonominin dinamik entegre modeli (DICE), ekonomik bir büyüme modeli, basit bir karbon döngüsü ve iklim dinamikleri modelinin birleşimi ile oluşturulan bir entegre

değerlendirme modelidir (Nordhaus ve Boyer, 2000). Model, küresel ekonomi modelini, sera gazı emisyonlarını, CO_2 konsantrasyonunu, sıcaklığı, iklim değişikliğinin etkisini ve optimal politikaları içermektedir. DICE, iklim değişikliğinin ekonomi üzerindeki kantitatif etkisine, dünya ekonomisindeki fayda-maliyet analizine ve emisyon azaltma için hangi iklim politikasının uygulanacağına odaklanmaktadır. DICE, iklim sistemi ve sosyoekonomik sistem olmak üzere iki sistemden oluşmaktadır. İklim sistemi iki model, sosyoekonomik sistem ise tek model tarafından karakterize edilmektedir. Bunlar; küresel iklimi temsil eden iklim dinamikleri modeli, farklı enerji ve emisyon senaryoları tasarlayan küresel karbon döngüsü modeli, iklim zararlarını ve azaltma maliyetlerini hesaba katan ekonomik modeldir.

İklim dinamikleri modelleri basit, orta ve ileri seviye olmak üzere oluşturulabilir. Basit seviye model, emisyonları doğrudan sıcaklık artışına bağlayan istatistiksel veya ampirik denklemlerdir. Orta seviye model, basit iklim modelleridir (basit enerji denge modelleri). İleri seviye model, iklim modelleri ise karmaşık iklim sistemi, toprak sistemi modelleri gibi modellerdir. DICE modelindeki iklim sistemi, diğer IAM'lere kıyasla nispeten daha basittir. Kullanılan iklim dinamikleri modeli, basit iklim modellerinden Harvey ve Schneider (1984)'in Box Advection-Diffusion modelidir. İklim dinamikleri modeli (sıcaklık) Dünya'nın jeofiziki durumunun basitleştirilmiş şeklidir. Bu model artan karbon konsantrasyonunun neden olduğu okyanus asitlenmesi gibi bazı fiziksel olayları yakalayamaz. Bu durum modellerin en çok eleştiri aldığı konulardan birisidir. Fakat iklim değişikliği ekonomisinin analiz edilebilmesi ve izlenebilir kalması için basitleştirilmiş olması gerekmektedir (Faulwasser vd., 2018). Küresel iklim modeli atmosfer sıcaklığı, okyanus sıcaklığı ve radyal zorlamayı modellemektedir. İklim sisteminin bileşenlerinden küresel karbon döngüsü ise; "three box" denilen üç rezervuardaki (atmosfer, üst okyanus, derin okyanus) karbon stoklarını ve karbon akışını izlemektedir. Diğer bir ifade ile, atmosferdeki karbon konsantrasyonunu, üst okyanustaki karbon konsantrasyonunu ve derin okyanustaki karbon konsantrasyonunu modellemektedir. Atmosferdeki karbon yoğunluğunun arkasındaki itici güç ekonomik üretimden kaynaklı CO_2 emisyonlarıdır (Faulwassler vd.,2018). İlk olarak emisyonlar, doğrusal olmayan ve zamanla değişen bir fonksiyon aracılığıyla endüstriyel emisyonlar ile arazi kullanımından kaynaklı emisyonların toplamı olarak ifade edilmektedir. Modelin ekonomik büyüme bileşeni, neoklasik büyüme modeli olan Ramsey-Cass-Koopmans optimal büyüme modelinden oluşmaktadır. Bu modelde toplum gelecekteki tüketimini arttırmak için bugünkü

tüketimini azaltarak sermaye mallarına yatırım yapmaktadır. Tüm zaman diliminde en önemli karar; ne kadar tüketileceği ve tasarruf edileceğidir. DICE modelinde ekonomi modülünün temel denklemi küresel ekonomik sermaye denklemidir. Bu denklemde sermaye amortismana tabi tutulmakta ve yatırımla yenilenmektedir. Yatırım yapılan tutar, brüt ekonomik çıktıdan türetilen, net ekonomik çıktının bir kısmıdır. İklim değişikliğini modele dahil etmek için; ekonomik üretimin sermaye ve emekten ayrı olarak enerji gerektirdiği varsayılmıştır (Wiener, 2018). Refah maksimizasyonu olarak bilinen bu modelde iklim değişikliğinin ekonomik etkileri hasar fonksiyonu üzerinden analiz edilmektedir (Michaelis ve Wirths, 2020). Modelde farklı politika senaryolarının ekonomik ve çevresel sonuçlarını simüle etmek için neoklasik bir büyüme modeli, enerji kullanımı, karbon emisyonları ve iklim değişikliği etkileri ile ilgili bir dizi varsayım ve denklem ile birleştirilmiştir.

DICE modeli ortaya çıktığından bu yana gelişim halinde olduğu için sürekli güncellenmektedir. Modelin 99-2010-2013-2016R-2016R2 olmak üzere 5 farklı sürümü vardır. En son geliştirilen hali DICE2016R2'dir. DICE modelinin son sürümü, 2010 yılından başlamakta ve 2305'e kadar olan zaman dilimini kapsayan 60 dönem için 5 yıllık adımlar ile çalışmaktadır. DICE modeli küresel düzeyde inşa edilmiştir. Ülkeler ve bölgeler ayırt edilmemekte, dünya bir bütün olarak ele alınmaktadır. Fakat son sürümü DICE2016R2' de iklim politikasının etkilerinin yalnızca küresel düzeyde değil, bölgesel düzeyde de analiz edilmesini sağlayan bölgesel bir modelleme çerçevesi vardır (Nordhaus, 2018). Şekil 2.1'de DICE'ın şematik olarak gösterimi verilmiştir.



Kaynak : Wiemers (2018)

Şekil 2.1. DICE Şematik Gösterimi

Şekil 2.1, DICE'ın basitleştirilmiş yapısını göstermektedir. Şematik gösterimde "E" yazılı kutucukların olduğu oklar, modelin tamamen ekonomik bileşenine karşılık gelmektedir. "İ" yazılı kutucukların olduğu oklar ekonominin ve iklimin karşılıklı olarak birbirlerini nasıl etkilediğini göstermektedir. "P" yazılı kutucukların olduğu oklar ise iklim politikalarının etkisini göstermektedir.

DICE'ın çalışma döngüsü şekil 2.1'den görüldüğü üzere şu şekildedir (Nordhaus, 2013a; Pindyck, 2013; Stern, 2007; Wiemers, 2018).

DICE modelinin merkezinde bir ekonomik büyüme modeli vardır. Ekonomik üretim, emek ve sermaye mevcut olduğunda meydana gelmektedir. Ekonomik üretimin bir kısmı bir sonraki üretime sermaye yaratmak için kullanılırken geri kalan kısmı tüketilmektedir. Toplumun faydasının, doğrusal olarak yalnızca tüketime bağlı olduğu

varsayılmaktadır. “Ne kadar tüketirsek refahımız o kadar artar” anlayışı hakimdir. Ekonomik üretimi sağlamak için enerjiye ihtiyaç vardır. Ancak enerji kullanımı yeşil enerji olmadığı sürece CO_2 emisyonuna neden olmaktadır.

CO_2 emisyonlarının çok küçük bir kısmı biyosferde veya okyanusun içinde bozunurken geri kalan kısmı atmosferde birikmekte ve stoklanmaktadır.

Sera gazlarının ısı tutan yapıları vardır. CO_2 emisyonu stoku artıkça, atmosferde tutulan ısı artmaktadır. Bundan dolayı küresel ısınma meydana gelmektedir.

Küresel ısınma iklim değişikliğine neden olarak, toplumsal ve çevresel faktörler üzerinde çeşitli etkiler yaratmaktadır. Bu etkiler iklim hasarlarına yol açmakta ve hasarlar ekonomik çıktının azalmasına sebep olmaktadır. İklim hasarları, modelde hasar fonksiyonu ile temsil edilmektedir.

İklim değişikliğinden kaynaklı etkilerin azaltılmasının ekonomiye bir maliyeti olmaktadır. Bu durum modelde azaltma maliyet fonksiyonu ile temsil edilmektedir.

Hasarların ve maliyetlerin ekonomiye getirdiği yük ile beraber ekonomik çıktı azalmaktadır.

Bu aşamadan sonra modelde, dünya nüfusunun alması gereken karar tasarruf oranının belirlenmesidir. Tasarruf oranı, gelecek dönemde yapılacak yatırım için gerekli ekonomik üretimin oranıdır. Çok fazla yatırım yapılırsa tüketilecek kısım azalacağı için mevcut fayda azalmış olacaktır. Çok az yatırım yapılırsa gelecek döneme tüketilecek çok az şey kalacaktır. Ayrıca emisyonları azaltabilmek için ekonomik üretimde yeşil enerji kullanılabilir. Üretimin bir kısmı bu enerjiye ayrılabilir. Fakat bu durum ya tüketimin ya da yatırımın azalmasına sebep olacaktır. Ancak gelecekteki iklim hasarlarını da azaltacaktır. Bu nedenle modelin amacı şimdi ve gelecekte maksimum fayda sağlamak için en uygun yolu bulmaktır. Diğer bir ifade ile, iklim değişikliğini önlemek amacıyla karbon emisyonlarının azaltılması aynı zamanda gereksiz maliyetlerin önlenmesi amaçlanmaktadır. Bundan dolayı iki kontrol değişkeni dikkatle seçilmelidir. Bunlar emisyon azaltma oranı ve tasarruf oranıdır.

Sona adım ise optimal iklim politikasına karar verilmesidir. Bu doğrultuda uygulanacak politikalar ile iklim değişikliğinin yavaşlatılması sağlanmaya çalışılmaktadır.

Özetlemek gerekirse, DICE model, birkaç yüzyıllık bir planlama ile sera gazı azaltımı için optimize edilmiş tasarruf ve emisyon azaltma yolu oluşturmaktadır. Maksimize edilen amaç fonksiyonu, tüketimden kaynaklı gelecekteki faydanın iskonto

edilmiş toplamıdır. Optimal politika; amaç fonksiyonunu maksimize eden emisyon azaltımı ve bu azaltımı sağlayacak karbon vergisidir. DICE, aynı zamanda sera gazı emisyonlarının kontrol değişkeni, küresel ortalama yüzey sıcaklık değişkeninin durum değişkeni olduğu optimal kontrol modeli olarak düşünülebilir. DICE, sosyal refah fonksiyonu ile farklı tüketim yollarından optimal olanı seçmeyi amaçlamaktadır. Böylece gelecekteki tüketimi arttırabilmek için günümüz tüketimini azaltmaya çalışmaktadır. Burada tüketim olarak bahsedilen yalnızca yiyecek ve barınma gibi geleneksel piyasa malları ve hizmetleri değil, aynı zamanda boş zaman, sağlık durumu, çevre hizmetleri gibi piyasa dışı kalemleri içeren genel tüketimdir.

DICE modelin eleştirildiği en önemli noktalardan biri belirsizliktir. Belirsizliğin işlenmesinde DICE, parametrelerin belirsizliği ile ilgilenen ve farklı iklim duyarlılığını benimseyen rassal bir dağılım yolu olan Monte Carlo'yu kullanmaktadır.

Bölgesel entegre iklim ve ekonomi modeli (RICE) Nordhaus ve Yang (1996) tarafından modellenmiştir. RICE, DICE'ın bölgeselleştirilmiş versiyonudur. Temelde aynı iklim ve ekonomi yapısına sahiptir fakat RICE ayrıca bölgesel detaylar içermektedir RICE modelinin 6 bölgeli,10 bölgeli ve 12 bölgeli versiyonları vardır. RICE-2010 modeli dünyayı 12 bölgeye ayırmaktadır. Bunlar; ABD, AB, Japonya, Ortadoğu, Rusya, Avrasya, Çin, Hindistan, Sahra altı Afrika, Latin Amerika, iğerd yüksek gelirli ülkeler ve diğer gelişmekte olan ülkelerdir. Bazı bölgeler Çin, ABD gibi büyük ölçekli ülkeler, diğerleri ise AB veya Latin Amerika gibi çok ülkeli bölgelerdir. DICE , dünyayı bir bütün olarak görmektedir, dolayısıyla farklı ulusal emisyon modelleri ile emisyon azaltma politikaları arasında ayrım yapamamaktadır. Fakat RICE, bölgesel ayrım yapabilmektedir.

RICE, üç geniş uluslararası politika yaklaşımının sonuçlarını analiz etmek için kullanılmıştır. Bunlar, hiçbir müdahalenin yapılmadığı durum, küresel ortak bir çözümün olduğu durum ve her ulusun kendisi için en iyi politikayı seçtiği ulusal çözümün olduğu durumdur.

Temel işleyiş olarak RICE ve DICE aynıdır. RICE'ın DICE'dan temel farkı, ulusal (bölgesel) ekonomik davranışlar ve iklim değişikliğini modele dahil ederken, her bölgenin tüm değişkenleri için kendi seviyelerinin ve eğilimlerinin kullanılmasıdır. Başka bir deyişle, RICE'da, bölgeler bağımsız ekonomik davranışlara sahiptir ve iklim değişikliği bölgeler üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır, ancak küresel iklim sisteminde meydana gelen değişimler bölgeler tarafından paylaşılmaktadır. Amaç fonksiyonu

DICE'dan farklıdır. RICE'da her bölgenin sosyal refah fonksiyonuna sahip olduğu varsayılmaktadır. RICE'ın genel amaç fonksiyonu; Bergson-Samuelson sosyal refah fonksiyonudur. Model, Negishi yaklaşımı[7] ile bölgelerin bütçe kısıtlamalarına tabi olarak, bölgeye özgü ağırlıklar kullanmaktadır. Uygulama da RICE her bölgenin tüketimi ve nüfusunu eşit kabul etmektedir. Negishi algoritması, ağırlıkları, tüketimin marjinal faydasının her bölgede ve her dönemde eşit olacağı şekilde ayarlamaktadır. Her bölge için parametreler, modeldeki reel faiz oranlarının, belirli bölgedeki gerçek dünya piyasalarındaki ortalama reel faiz oranına ve ortalama reel sermaye getirisine yakın olmasına sağlamak için kalibre edilmiştir.

Küresel ısınmanın günümüzde iyice hissedilir hale geldiği, doğa ve toplumlar üzerinde etkilerinin ortaya çıkmaya başladığı bilinmesine rağmen daha yaygın ve yıkıcı sonuçları gelecekte meydana gelecektir. İklim değişikliğinin gelecekteki etkileri belirsiz olmasına rağmen tamamen bilinmez değildir. Bu nedenle iklim değişikliğinin etkilerinin neler olabileceği tahmin edilmeli ve iklim değişikliğini azaltmaya yönelik hedeflere gidecek yolların nasıl olması gerektiği belirlenmelidir. Bu doğrultuda iklim değişikliğine dair senaryolar geliştirilmiştir. Senaryolar, farklı gelecekleri ve seçimleri karşılaştırmak için daha çok çiftler halinde veya büyük setler halinde kullanılmaktadır. Örneğin, senaryo güdümlü iklim politikası analizi, politika müdahalesi olmayan bir projeksiyonu (tipik olarak temel senaryo olarak adlandırılır) istenen bir hedefe (2°C hedefi gibi) giden bir yolla karşılaştırmaya dayanmaktadır. Dolayısıyla senaryolar temel olarak bağlama bağlıdır. Tek bir senaryoyu anlamak, içine yerleştirildiği senaryolar kümesini anlamayı gerektirir (Moss vd., 2010).

İklim değişikliğine neden olan emisyonların gelecekte nasıl değişebileceğini anlamak, müdahale stratejilerini belirlemek ve iklim politikası oluşturmaya temel sağlamak için DICE gibi IAM'lerin çoğu senaryolar üretmektedir. Bu senaryolar iklim değişikliğinin geleceğini tahmin etmekle ilgili olmayıp, belirli hedeflere nasıl ulaşılacağına dair yollar ile ilgilidir. Bilim insanları bu senaryoları IAM'ler aracılığıyla çalıştırarak, dünya çapında iklim ve enerji politikaları oluşturacak bilgiler elde etmektedir. Emisyon azaltma senaryoları, iklim etki senaryoları, sosyoekonomik

[7] Negishi yaklaşımı ekonomi politikasındaki veya diğer ekonomik değişkenlerdeki değişikliklerin, genel çıktı düzeyi veya gelir dağılımı gibi belirli bir sonuç üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılan matematiksel bir tekniktir.

senaryolar, uyum senaryoları gibi farklı türde senaryolar vardır. Tez kapsamında, iklim sistemini ve sosyoekonomik yapıyı birleştiren senaryolar dikkate alınmıştır. Şu an da birçok IAM'de kullanılan IPCC'nin 6. Değerlendirme raporunda kullandığı (AR6) en güncel senaryolar Temsili konsantrasyon yollarını (RCP) temel alan ortak (paylaşılan) sosyoekonomik yollardır (SSP).

2.3. Senaryolar

Uzun vadeli iklim ve sosyoekonomik süreçlere ilişkin anlayışımız son yıllarda önemli ölçüde iyileşmiş olsa da, bir asır veya daha uzun süredir tahminler herhangi bir güvene izin vermemektedir. Bu nedenle, bunun yerine senaryolar oluşturulmaktadır. Senaryolar tahmin değildir. Senaryolar mantıksız değil, geleceğin nasıl ortaya çıkacağına dair içsel olarak tutarlı tasvirlerdir (Van Vuuren vd., 2011).

Senaryolar, sera gazı emisyonlarını etkileyen sosyoekonomik faktörlerden, atmosferik ve iklim süreçlerine olan etkilerine kadar uzanan doğrusal bir nedensellik zincirinde geliştirilmiştir. Bu sıralı süreç, farklı sosyoekonomik geleceklere dayalı emisyon senaryoları geliştirmeyi, emisyonlardan kaynaklanan konsantrasyonları, ışınımsal zorlamayı ve bunlardan kaynaklanan sıcaklık artışını tahmin etmeyi, en son olarak küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliğinden kaynaklı etkilerin araştırmasını ve değerlendirilmesini ve oluşturulan senaryoların iklim politikalarında kullanılması adımlarını içermektedir.

Gelecekteki sera gazı kirliliği, arazi kullanımı ve diğer itici güçler için farklı varsayımlarda bulunan birçok senaryo vardır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından hazırlanan birinci değerlendirme raporunda (FAR) yüksek ekonomik büyüme ve yüksek emisyonlu fosil yakıt kullanımından düşük emisyonlu hızlandırılmış bir politika senaryosuna kadar değişen varsayımlarla dört olası geleceği açıklayan ilk IPCC senaryosu olan SA90 yayınlanmıştır. Daha sonra IPCC, Montreal Protokolü'ndeki Londra değişiklikleri, yeni nüfus senaryoları ve yeni gelişmeleri yansıtan altı yeni senaryodan oluşan IS92'yi yayınlamıştır. Senaryolar iklim politikasının yokluğunda veya var olan iklim politikalarının dışında yeni politikaların uygulanmaması halinde gelecekteki iklim değişikliğinin nasıl olacağına dair çeşitli varsayımları içermektedir. IPCC'nin üçüncü değerlendirme raporuna (TAR) ve dördüncü değerlendirme raporuna (AR4) temel oluşturan, birden çok entegre değerlendirme modeli kullanılarak açık bir süreçle geliştirilen emisyon senaryolarına ilişkin özel raporu (SRES) 2000 yılında

onaylamıştır. SRES, iklim politikalarının yokluğunda sera gazı emisyonlarının aralığını keşfetmek için niteliksel anlatılar ve niceliksel tahminler kullanan birleşik bir yaklaşıma dayanmaktadır. SRES senaryoları, demografiden, teknolojik ve ekonomik gelişmelere kadar, gelecekteki emisyonların ana itici güçlerinin geniş bir yelpazesini kapsamaktadır. Bu senaryolarda gelecekteki nüfus artışı, teknolojik gelişme, küreselleşme ve toplumsal değerler hakkında çeşitli varsayımlarda bulunulmuştur (SRES,2000). Şimdiye kadar anlatılan senaryolar sıralı bir süreci takip etmiştir. Fakat emisyon senaryolarının geliştirilmesi, bunların iklim modellemesinde kullanımı ve sonuçta ortaya çıkan iklim senaryolarının etki araştırması ve değerlendirmesi için kullanılabilirliği arasındaki gecikmeler nedeniyle süreç, tutarsızlığa yol açmıştır. Bundan dolayı sıralı bir süreç yerine eş zamanlı çalışan bir süreç izleyen senaryolar geliştirilmiştir. 2007'de bir IPCC toplantısında yapılan tartışmalar temelinde iklim modelleri için gerekli emisyon, konsantrasyon ve arazi kullanımı/örtüsü girdilerini sağlamak üzere Temsili konsantrasyon yolları (RCP) oluşturulmuştur. RCP'ler RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 olmak üzere dört farklı senaryoyu içermektedir. Bunlar ne tahmin ne de politika önerileridir, ancak çok çeşitli iklim sonuçlarının haritasını çıkarmak için belirlenmiştir. RCP'lerin kendi içlerinde karşılaştırması yapılamaz. Örneğin, RCP8.5'in sosyoekonomik, teknolojik ve biyofiziksel varsayımları diğer RCP'lerinkinden farklı olduğundan, RCP8.5, diğer RCP'ler için bir referans senaryosu olarak kullanılamaz. İklim değişikliğinin sosyoekonomik gelişmeye bağımlı olması nedeniyle, iklim değişikliğine yönelik projeksiyonları, sonuçları ve çözümleri keşfetmek için olası sosyoekonomik senaryolarına ihtiyaç vardır. İklim modelleyicileri RCP'lerle simülasyonlar hazırlarken, entegre değerlendirme modelleyicileri RCP'ler için önemli bir tamamlayıcı olan ortak sosyoekonomik yollar geliştirmiştir. İklim değişikliği araştırmalarında mevcut nesil sosyoekonomik senaryolar, giderek artan bir şekilde Paylaşılan Sosyoekonomik Yollara (SSP) ve Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP) olmak üzere iki temel unsura dayanmaktadır (Moss vd., 2010). RCP'ler sadece sera gazı emisyonlarının projeksiyonlarına odaklanırken, SSP'ler sosyoekonomik faktörleri de dikkate almaktadır. Ayrıca SSP'ler iklim değişikliğinin azaltılması ve adaptasyon zorluklarının belirlenmesiyle ilgilenmektedir (O'Neill vd., 2014). SSP'ler, bir veya daha fazla RCP'ye yol açabilen sera gazı emisyonları üretmektedir. Bu da bir senaryo matrisi ile sonuçlanmaktadır. Senaryo matrisindeki her hücre ve sosyoekonomik gelişme yollarıyla

uyumlu makul bir emisyon ve konsantrasyon yolunu göstermektedir (Kok, 2016 ; Van Vuuren vd, 2014).

SSP'lerin her biri, demografik, ekonomik ve emisyon yörüngeleri dahil olmak üzere olası bir geleceğin tasvirini ve nicelikselleştirmelerini içermektedir. SSP'ler, iklim değişikliğini azaltmak ve iklim değişikliğine adaptasyon sağlamak için toplumsal, teknik, kültürel ve ekonomik gelişmeler hakkında farklı varsayımlar ile olası sosyoekonomik geleceklerin sistematik bir araştırmasını sunmaktadır.

SSP'ler, iklim değişikliğinin veya iklim politikalarının yokluğu varsayımı altında toplumun ve ekosistemlerin gelişimindeki olası alternatif eğilimleri tanımlayan referans yollar olarak tanımlanmaktadır (O'Neil vd.,2014). SSP'ler, iklim değişikliği araştırma ve değerlendirmesinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır ve iklim değişikliğini azaltmak için yapılacak mevcut müdahale seçeneklerinin uzun vadeli sonuçlarını araştırmak için kullanılan önemli bir araçtır. Yakın vadeli kararların uzun vadeli sonuçlarını anlamamıza yardımcı olmakta ve araştırmacıların gelecekteki belirsizlikler bağlamında farklı olası gelecekleri keşfetmelerini sağlamaktadırlar (Van Vuuren vd., 2013, Frame,2018). SSP'lerin amacı hem iklim değişikliğinden hem de iklim politikasından etkilenen sosyoekonomik ve çevresel koşulları içeren entegre senaryolar üretmektir. İklim değişikliğinin toplum üzerindeki etkilerini ve alternatif politika yaklaşımlarının sonuçlarını değerlendirmek senaryo çerçevesinin kilit hedefleridir (Van Vuuren vd., 2013).

SSP'ler toplumsal seçimlerin sera gazı emisyonlarını nasıl etkileyeceğini ve dolayısıyla Paris Anlaşmasının iklim hedeflerinin nasıl karşılanabileceğini keşfetmek için iklim modellerinde girdi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca SSP'ler, ülkeler tarafından benimsenmenin ötesinde herhangi bir uluslararası çaba gösterilmemesi durumunda oluşabilecek farklı temel dünyaları da tanımlamaktadır.

SSP'ler, iklim değişikliğini azaltma ve adaptasyon zorluklarının düşük ile çok yüksek arasında değiştiği dünyaları yansıtacak şekilde tasarlanmıştır ve gelecekteki toplumu şekillendirebilecek sosyoekonomik eğilimleri tanımlayan beş yola dayanmaktadır . Bunlar; sürdürülebilirlik odaklı bir büyüme ve eşitlik dünyası (SSP1), eğilimlerin, tarihsel desenleri büyük ölçüde takip ettiği yolun ortasında bir dünya (SSP2), parçalanmış ve yeniden dirilen milliyetçi bir dünya (SSP3), sürekli artan bir eşitsizliğin olduğu dünya (SSP4), ekonomik çıktı ve enerji kullanımında hızlı ve sınırsız büyümenin olduğu bir dünyadır (SSP5). Bunlar, gelecekteki toplumlar için alternatif

yollar tanımlamaktadır. İklim politikasının yokluğunda dünyanın nasıl görüneceğine dair temel çizgileri sunmakta ve araştırmacıların gelecekteki iklim azaltma ve adaptasyon hedefleri için zorlukları ve fırsatları incelemelerini sağlamaktadır (O'Neill vd., 2014).

SSP1'e göre; dünya, yavaş yavaş fakat her tarafa yayılan bir şekilde çevresel sınırlara saygılı ve daha kapsayıcı bir sürdürülebilir gelişme gösteren yola doğru ilerlemektedir. Küresel boyutta halkın yönetimi giderek iyileştirilmekte, ekonomik büyümeye verilen önem, daha büyük bir boyutta insan refahı üzerine kaymaktadır. Kalkınma hedeflerine ulaşma konusundaki artan çaba sayesinde ülkeler arasında ve ülke içinde eşitsizlikler azalmaktadır. Tüketim eğilimi, düşük enerji yoğunluğuna ve düşük kaynak tüketimine yönelmektedir.

SSP2'ye göre; dünya, ekonomik, sosyal ve teknolojik eğilimlerin tarihsel kalıpları takip eden bir yol izlemektedir. Eşit olmayan bir şekilde dağılan gelir artışı ve kalkınma nedeniyle bazı ülkeler nispeten iyi ilerleme kaydetmekte, bazıları ise beklentilerin gerisinde kalmaktadır. Uluslararası ve ulusal kurumlar sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma konusunda çaba sarf etmekte fakat yavaş ilerleme kaydetmektedir. Yapılan iyileştirmeler sayesinde kaynak ve enerji kullanımının yoğunluğu azalsa da çevresel sistemler bozulmaya maruz kalmaktadır. Küresel nüfus artışı orta seviyede seyretmekte ve 2050 yılından sonra azalmaktadır. Gelir eşitsizliği devam etmekte veya yavaş bir şekilde artış eğilimi göstermektedir.

SSP3'te yeniden canlanan milliyetçilik, rekabet gücü ve güvenlikle ilgili endişeler ve bölgesel çatışmalar, ülkeleri giderek daha fazla bölgesel meselelere odaklanmaya zorlamaktadır. Zaman içinde politikalar ulusal ve bölgesel düzeyde güvenlik sorunlarına daha fazla yönelmektedir. Daha kapsamlı kalkınmadan vazgeçme pahasına ülkeler, kendi bölgelerinde enerji ve gıda güvenliği hedeflerine ulaşmaya çalışmaktadır. Eğitim ve teknolojik ilerleme için yapılan yatırımlar düşmektedir. Yavaş ilerleyen bir ekonomik büyüme, hammadde yoğun bir tüketim ve devam eden ve hatta artan bir eşitsizlik söz konusudur. Gelişmiş ülkelerde nüfus artışı düşerken, gelişmekte olan ülkelerde yükselmektedir. Ekolojik endişelerin uluslararası önceliği düşük olduğundan, bazı bölgelerde şiddetli ekolojik bozulmalar görülmektedir.

SSP4'te, ekonomik sermaye ve siyasi iktidardaki artan eşitsizliklerle birlikte, beşeri sermayeye yapılan orantısız yatırımlar, ülkelerin kendi içlerinde ve birbirlerinin arasında artan eşitsizliğe ve tabakalaşmaya yol açmaktadır. Zamanla bilgi ve sermaye yoğun sektörlerine katkıda bulunan ülkeler ile emek yoğun ve düşük teknolojili

ekonomilerden oluşan düşük gelirli ülkeler arasındaki uçurum büyümektedir. Toplumlardaki sosyal uyum bozulmakta, çatışma ve huzursuzluk giderek artmaktadır. Teknolojiye yapılan yatırımlar artmakta hem karbon yoğun yakıtlara hem de düşük karbonlu enerji kaynaklarına yatırım yapılmaktadır. Çevresel politikalar orta ve yüksek gelirli bölgelerdeki yerel konulara odaklanmaktadır.

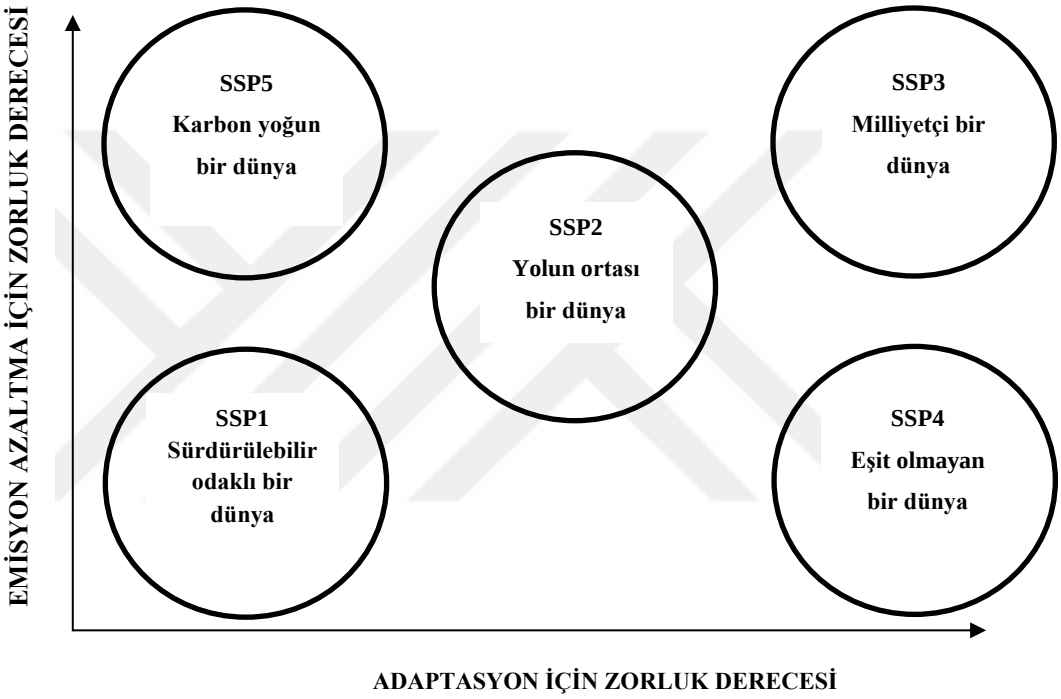
SSP5'te sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için, hızla büyüyen bir teknolojiye, beşeri sermayenin geliştirilmesini destekleyecek rekabetçi pazarlara, inovasyona ve katılımcı demokrosilere artan bir inanç söz konudur. Küresel pazarlarda işbirliği giderek artmaktadır. Beşeri ve sosyal sermayenin artması için eğitim ve sağlık alanlarında güçlü yatırımlar yapılmaktadır. Aynı zamanda, ekonomik ve sosyal kalkınma için sarf edilen çabalar, bol miktarda fosil yakıt kaynaklarının kullanılması ve enerji yoğun yaşam tarzlarının benimsenmesi ile birleştirilmiştir. Bu yolda küresel ekonomi hızlı bir şekilde büyürken, 21. yüzyılda küresel nüfus doruğa ulaşmakta ve daha sonra azalmaya başlamaktadır. Yerel sosyal ve çevre sorunları etkin bir şekilde yönetilmekte, bunun nedeni olarak teknolojik gelişim görülmektedir.

Nüfus seviyeleri SSP1 ve SSP5'te en düşüktür ve 2050 ile 2060 yılları arasında 8,5 milyar ile doruğa ulaşmakta, 2100 yılı itibariyle bugünün 7 milyar seviyesine düşmektedir. Bu, Birleşmiş Milletlerin (UN) düşük doğurganlık senaryosuyla geniş ölçüde tutarlılık göstermektedir. SSP2 ve SSP4, nüfus 2070 ile 2080 yılları arasında, 9,5 milyar civarındadır, ancak 11,5 milyar olan UN'un orta doğurganlık senaryosundan daha düşüktür. Son olarak, SSP3'te, küresel nüfus artışının yüzyılın sonuna kadar artarak 2100 yılında 12,6 milyarı bulacağı varsayılmıştır. SSP3, UN orta düzey doğurganlık senaryosundan daha yüksek, ancak hala UN'un yüksek doğurganlık senaryosunun altındadır.

Tüm SSP'ler , küresel ekonomide 2100'de küresel GSYİH'nın 2010 yılından 4 ila 10 kat daha fazla olmasıyla çarpıcı bir büyüme öngörmektedir. SSP'lerde yıllık ortalama küresel GSYİH büyümesi % 1,8 ile % 3,4 oranı arasında değişmektedir. Yollar, gelecekte farklı düzeylerde büyüme öngörseler de, ekonomik büyüme, gelecekteki CO_2 emisyonlarının başlıca nedenlerinden biri olacağı varsayılmaktadır.

Şekil 2.2'de SSP'lerin iklim değişikliğini azaltma ve iklim değişikiğine adaptasyon konusundaki zorluklarına göre konumlandırılması gösterilmiştir. SSP1'de iklim değişikliğini azaltma ve iklim değişikliğine adaptasyon için düşük derece zorlukların olduğu varsayılmaktadır. SSP2'de iklim değişikliğini azaltma ve iklim

değişikliğine adaptasyon için orta derecede zorlukların olduğu varsayılmaktadır. SSP3'te iklim değişikliğini azaltma ve iklim değişikliğine adaptasyon için yüksek derecede zorlukların olduğu varsayılmaktadır. SSP4'te iklim değişikliğini azaltmak için düşük derecede zorlukların, iklim değişikliğine adaptasyon için yüksek derece zorlukların olduğu varsayılmaktadır. SSP5'te iklim değişikliğini azaltmak için yüksek derecede zorlukların, iklim değişikliğine adaptasyon için düşük derecede zorlukların olduğu varsayılmaktadır.



Kaynak:O'Neill vd. (2014)

Şekil 2.2. SSP'lerin İklim Değişikliği Azaltma ve Adaptasyon Zorluklarına Göre Konumlanması

Özetlemek gerekirse; bu yollar genel olarak geleceğin nasıl gelişebileceğine dair makul temsiller sağlamaktadır. SSP1'de sürdürülebilir uygulamalara doğru bir yönelim varken, SSP5'te karbon yoğun bir enerji kullanımı söz konusudur. SSP2, dünyanın 21. yüzyıl boyunca tarihsel gelişim sürecine benzer şekilde devam edeceğini öngörmektedir. SSP3 ve SSP4'te gelecekteki ekonomik ve sosyal gelişmeler açısından dünyaya kötümser bir bakış açısıyla yaklaşmaktadır. SSP1 ve SSP5 yollarında sağlık, eğitim gibi alanlar için önemli yatırımlar yapılırken, SSP3 ve SSP4 yollarında eğitim, sağlık gibi alanlarda

yapılan yatırımlar yetersiz kalmaktadır. SSP1 ve SSP5 senaryoları sosyal ve ekonomik gelişim konusunda iyimser tablo çizerken, SSP3 ve SSP4, gelecekteki sosyal ve ekonomik gelişimler konusunda daha karamsardır. SSP2 ise 21. yüzyıl boyunca tarihi gelişim kalıplarını devam ettirdiği için daha ortadır.

Sonuç olarak; SSP'ler kendileri makul senaryolar değil, geleceğin entegre senaryolarını geliştirmek için başlangıç noktası işlevi gören varsayımsal gelişim yolları olarak görülmelidir (O'Neill vd., 2014).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
E7 ÜLKELERİ İÇİN ENTEGRE DEĞERLENDİRME MODELİNİN KURULMASI

Bu bölümde E7 ülkeleri için politika seçimlerine ışık tutmak amacıyla iklim değişikliği sorununun hem doğa hem de ekonomi tarafını birleştiren bir entegre değerlendirme modeli kurulmuştur. Model, Matlab2022b programında oluşturulmuştur. Bölüm veri seti, modelleme aşamaları, model analizi ve analiz sonuçları ile devam etmiştir.

3.1. Veri Seti

Veri seti, IMF tarafından Dünya Ekonomik Görünüm veri tabanında belirtilen ülke sınıflamasında gelişmekte olan piyasa ekonomileri sınıfındaki en yüksek ekonomik performansa sahip olan 7 ülkeden oluşmaktadır (IMF, 2020). Bunlar Brezilya, Çin, Hindistan, Endonezya, Meksika, Rusya ve Türkiye'dir. Bu tez çalışmasında E7 ülkelerine odaklanılmasının birkaç nedeni bulunmaktadır. İlk olarak, PwC'nin tahminlerine göre; 2050 yılına kadar E7 ülkelerinin % 3,5'luk yıllık ortalama ekonomik büyüme oranı, dünyanın en büyük ekonomileri olan ABD, İngiltere, Kanada, Fransa, İtalya, Almanya ve Japonya'nın (%1,6) iki katından fazla olacaktır (PwC, 2019). Diğer ülkelerde olduğu gibi E7 ülkelerinde de ekonomik büyümenin çekirdeğini enerji tüketimi oluşturmaktadır. 2010 yılından bu yana bu ülkelerin hızlı bir şekilde ekonomik olarak büyümesi karbon yoğun enerji tüketiminin artmasına ve dolayısıyla CO_2 emisyonlarının hızlı bir şekilde büyümesine neden olmaktadır. Bu durum E7 ülkelerinin gelecekteki küresel CO_2 emisyonlarının arkasındaki ana itici güç haline gelmesine neden olacaktır (Anwar vd., 2022). E7 ülkeleri 2021 yılında en fazla CO_2 emisyonu üreten ilk 15 ülke arasındadır (Global Carbon Atlas, 2022). Gelecekteki iklim değişikliğinin en büyük nedenlerinden olacağı düşünülen bu ülkelerin aynı zamanda iklim değişikliğinin etkilerine en fazla maruz kalacak ülkeler arasında olması beklenmektedir. Bu nedenden iklim değişikliğinin sosyoekonomik etkilerinin E7 ülkeleri için ele alınması olduça önemlidir. Ayrıca E7 ülkelerinde iklim değişikliğinin azaltılmasına ve etkilerine yönelik çalışmalar konusunda

oldukça büyük eksik vardır. Bu nedenle iklim değişikliğinin etkilerinin doğru bir şekilde incelenmesi ve azaltılması için gerekli politikaların belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Veri seti başlangıç dönemi, her bir değişken için farklılık göstermekle beraber, ortak olan dönem 1960'dan 2019 yılına kadar olan yıllık gözlemleri içeren dönemdir. Modelde kalibre edilen parametreler için iki ana strateji benimsenmiştir. İlk olarak parametre değerleri literatürdeki standart değerler veya yakın tarihli ampirik tahminler kullanılarak tanımlanmıştır. İkinci olarak veri tabanlarındaki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm model parametrelerinin kalibre edilmiş değerleri ve veri kaynakları ilgili bölümde listelenmiştir. Modelde kullanılan ana değişkenler aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Çıktı (GSYİH): Çıktı, satın alma gücü paritesine (SAGP) göre reel gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) olarak ölçülmüş olup, Penn World Table 10.01 veri tabanından alınmıştır. Bu veri seti 1960'dan başlayarak 2019'a kadar yıllık bazda gözlemleri içermektedir. Veriler, 2017 uluslararası doları cinsindendir (PWT 10.01, 2023).

Nüfus: Nüfus verisinin, 1960-2019 yıllık tahminleri ve 2020-2100 projeksiyonları Birleşmiş Milletler'in Ekonomik ve Soyal İşler Bakanlığının Nüfus Bölümü'nden alınmıştır. Nüfus verileri milyon insan cinsindendir (United Nations, 2023).

İşgücü: İşgücü verisi Penn World Table 10.01 veri tabanından alınmış ve nihai mal üretiminde kullanılan işgücü ve araştırma sektöründe kullanılan işgücü olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Veri seti 1960'dan başlayarak 2019'a kadar yıllık bazda gözlemler sağlamaktadır (PWT 10.01, 2023).

Enerji: Enerji değişkeni, birincil enerji kullanımını göstermektedir. 1965'den 2019'a kadar yıllık bazda olup, exajoule (EJ) cinsinden ölçülmüştür (BP, 2023). Fakat analizlerde tutarlılık olması adına milyon ton eşdeğer petrol (mil toe) cinsine dönüştürülmüştür. Ayrıca ekonomik büyüme modelinin verilerinin başlangıç yılı 1960 olduğu için geriye yönelik 5 yılın verileri enterpolasyon yoluyla tahmin edilmiştir.

CO_2 Emisyonu: CO_2 emisyonu, milyon ton karbon (MtC=megaton karbon) cinsinden ölçülmüştür. Karbon döngüsü modeli için küresel karbon emisyonu 1750 yılından 2019 yılına kadar, ekonomik büyüme modeli için E7 ülkelerinin emisyon verileri 1960 yılından 2022 yılına kadar alınmıştır (Friedlingstein vd., 2022).

CO_2 Konsantrasyonu: 1850 yılından 2022 yılına kadar Atmosferik CO_2 konsantrasyonu "Our World in Data" veri tabanından alınmış olup, milyonda bir anlamına gelen kütlesel yoğunluk birimi (ppm) cinsinden ölçülmüştür (Ritchie vd., 2020).

Sıcaklık: Ortalama küresel yüzey sıcaklığı verileri Met Office Hadley Merkezi ve İklim Araştırma Birimi tarafından oluşturulan HadCRUT5 ve HadSST4 veri setlerinden alınmıştır. HadCRUT5 veri seti, küresel yüzey sıcaklığı veri kümesidir ve dünya genelinde sıcaklık anomalilerinin ölçümlerinden oluşmaktadır. HadSST4 veri seti ise gemilerden ve şamandıralardan okyanus üzerinde yapılan okyanus yüzeyi sıcaklığı (SST) ölçümlerinden elde edilmiştir. Veri seti 1850'den 2022'ye kadar 1961–1990 dönemine göre küresel ortalama sıcaklık (atmosfer, okyanus) anomalilerinden oluşmaktadır (Kennedy vd., 2019; Osborn vd., 2021).

3.2. Model Oluşturma

Entegre değerlendirme modeli üç modelin birleşiminden oluşmaktadır. Bunlar iklim dinamiği modeli, karbon döngüsü modeli ve ekonomik büyüme modelidir. Bu modelin amacı iklim değişikliğinden kaynaklanan hasarları içeren bir üretim fonksiyonunu kullanarak tüketicinin iskontolu faydasının bugünkü değerini maksimize etmektir. Model, temel olarak basitleştirilmiş bir DICE modeline benzemektedir (Nordhaus, 1992). Karbon döngüsü modelinin girdisi yıllık olarak ölçülen CO_2 emisyonları, çıktısı ise atmosferik CO_2 konsantrasyonudur. İklim dinamikleri modelinin girdisi, karbon döngüsü modelinin çıktısı olan atmosferik CO_2 konsantrasyonu, çıktısı ise ortalama yıllık sıcaklık artışıdır. Ekonomik büyüme modeli ise E7 ülkelerinin ekonomik faaliyetlerini tanımlamaktadır. Sera gazı emisyonları bu faaliyetler temelinde belirlenmektedir. CO_2 emisyonları, iklim dinamikleri modelinde sıcaklık değişimine neden olmakta ve sıcaklıktaki artış ekonomik sistemi etkileyerek çıktının azalmasına yol açmaktadır.

3.2.1. Karbon Döngüsü Modeli

Karbon döngüsünü modelleyen çok fazla model bulunmaktadır. Kutu modelleri karbon döngüsünün anlaşılması en kolay ve basit olan modelleridir. Bu modellerde karbon döngüsü, belirli oranlarda belirli miktarlarda karbon değiştiren çeşitli rezervuarlarla basitleştirilmiş bir şekilde temsil edilmektedir. Kutu modellerinde her bir

kutu bir rezervuarı temsil etmektedir (Tomizuka, 2009). Her rezervuara giren ve çıkan gazlar arasında doğal bir denge olduğunda, sistemin sabit (denge) durumda olduğu söylenmektedir. Bu, herhangi bir rezervuar için giriş akısının çıkış akısına eşit olduğu (genellikle yıllık gigaton veya Gt/yıl olarak ifade edilir) ve rezervuar boyutunun sabit kaldığı anlamına gelmektedir (Geden vd., 2023).

Bu tez çalışmasında karbon döngüsü modeli olarak Maier-Reimer ve Hasselmann, (1987) *tarafından geliştirilen beş rezervuarı içeren beş kutu modeli* kullanılmıştır. Modele göre karbon, biyosferde (canlı ve ölü organizmalardaki organik moleküller olarak), atmosferde (CO_2 gazı olarak), toprakta (organik madde olarak), litosferde (fosil yakıtlar ve kireçtaşı, dolomit ve tebeşir gibi tortul kaya yatakları olarak) ve okyanuslarda (çözünmüş CO_2 ve deniz organizmalarında kalsiyum karbonat kabukları olarak) olmak üzere 5 ana rezervuarda depolanmaktadır. Herhangi bir zamandaki toplam atmosferik CO_2 konsantrasyonu, beş kutuda bulunan CO_2 miktarının toplamıdır. Zamanla, CO_2 tüm bu kutulardan farklı oranlarda dışarı çıkmaktadır. Bu model okyanustaki CO_2'in depolanmasını ve okyanus ile atmosfer arasındaki CO_2 değişimini açıklamaktadır.

Karbon döngüsü modeli, 1750'den başlayıp 2100'e kadar yıllık zaman adımlarında çalışmaktadır. Ortaya çıkan atmosferik CO_2 konsantrasyonu, karmaşık iklim modelinin temsili ve oldukça basitleştirilmiş formu ile yaklaşık olarak denklem 3.1'den hesaplanmaktadır:

$$C_{i,t} = (1-\xi_i)\, C_{i,t-1} + \tau_i\, \kappa\, M^*_{t-1}, \qquad i = 1,2,3,4,5 \tag{3.1}$$

Burada $C_{i,t}$, t döneminde i. kutudaki CO_2 konsantrasyonudur, ξ_i parametresi, bir sonraki zaman dilimine kadar atmosferde kalan i. kutudaki CO_2'in payıdır. Dolayısıyla 1-ξ_i de her yıl i. kutudan kaybolan CO_2'in payıdır. τ_i, i. kutuya giren emisyonların payıdır. Modeldeki CO_2 emisyonları MtC cinsinden ölçülmekte, ancak atmosferik CO_2 konsantrasyonları ppm olarak ölçülmektedir; κ, MtC biriminden ppm'ye dönüştürme faktörüdür. M^*_{t-1}, MtC cinsinden ölçülen t dönemindeki küresel CO_2 emisyonlarıdır. Burada egzojen (dışsal) olarak belirlenen $\kappa = 0,000471$ 'dir. Tablo 3.1.'de verilen ξ_i ve

τ_i için Tol (2006) tarafından geliştirilen FUND[8] entegre değerlendirme modelinin değerleri kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Karbon Döngüsü Parametre Değerleri

$\xi_1 = 0$	$\xi_2 = 1 - e^{-\frac{1}{363}}$	$\xi_3 = 1 - e^{-\frac{1}{74}}$	$\xi_4 = 1 - e^{-\frac{1}{17}}$	$\xi_5 = 1 - e^{-\frac{1}{2}}$	Tol,2006
$\tau_1 = 0{,}13$	$\tau_2 = 0{,}20$	$\tau_3 = 0{,}32$	$\tau_4 = 0{,}25$	$\tau_5 = 0{,}10$	

Denklem 3.1, rezervuarların CO_2 emisyonlarını emmek ve depolamak için farklı kapasitelere sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu kapasiteler, farklı CO_2 ömürlerine sahip beş kutuya ayrılmıştır. Burada son dört kutudaki CO_2 ömürleri sırasıyla 362,9 , 73,6, 17,3 ve 1,9 yıldır. Ayrıca atmosfere her yıl antropojenik CO_2 emisyonları eklenmektedir. Beş kutulu modelde, yıllık CO_2 akışları %13'ü ilk kutuya, %20'si ikinci kutuya, %32'si üçüncü kutuya, %25'i dördüncü kutuya ve kalan %10 beşinci kutuya olmak üzere sabit oranlar ile beş kutuya dağıtılmaktadır. Sonuç olarak, beş kutuyu temsil eden beş değişken vardır ve bu değişkenlerin her biri her yıl farklı bir değer almaktadır.

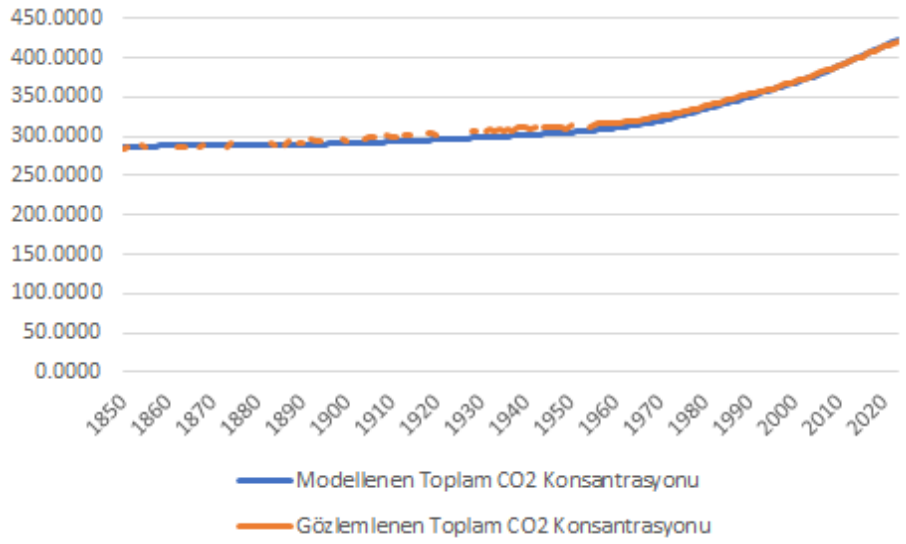
Denklem 3.1, fark denklemi olduğu için başlangıç değeri (t=1750) için denklem kullanılamaz. Bu nedenden; birinci kutu için başlangıç emisyon değeri $C_{1,1750} = 287\text{ppm}$ (Prentice vd., 2001), diğer kutular için ise $C_{i,1750} = 0$, i=2,3,4,5 'dır. Karbon döngüsü modelindeki son adım, atmosferik CO_2 konsantrasyonlarının hesaplanmasıdır:

$$C_t = \sum_{i=1}^{5} C_{i,t} = C_{1,t} + C_{2,t} + C_{3,t} + C_{4,t} + C_{5,t} \qquad 3.2$$

C_t, t. dönemdeki toplam atmosferik CO_2 konsantrasyonudur ve beş kutunun toplamıdır. Karbon döngüsü modelinin girdisi yıllık CO_2 emisyonları, çıktısı, atmosferik CO_2 konsantrasyonlarıdır.

1850'den 2022'ye kadar modellenen atmosferik CO_2 konsantrasyonları ile gözlemlenen atmosferik CO_2 konsantrasyonları değerleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

[8] The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution



Şekil 3.1. Gözlememlenen ve Modellenen Atmosferik CO_2 Konsantrasyonları

3.2.2. İklim Dinamikleri Modeli

Tez çalışmasında kullanılan iklim dinamikleri modeli, Schneider ve Thomspon (1981) *tarafından geliştirilen iklim süreçlerinin modellendiği büyük ölçekli küresel iklim modellerinin (genel dolaşım modelleri vs.) oldukça basitleştirilmiş halidir*.

İklim dinamikleri modeli yıllık CO_2 emisyonlarını ortalama küresel yüzey sıcaklığındaki değişime dönüştüren modeldir. Karbon döngüsü modeli ile iklim dinamikleri modeli atmosferik CO_2 konsantrasyonu ile birleştirilmektedir. Böylece karbon döngüsü modelinin çıktısı, iklim dinamikleri modelinin girdisi olmaktadır.

İklim dinamikleri sistemi, artan CO_2 konsantrasyonundan kaynaklanan atmosferdeki ekstra enerjiyi gösteren ışınımsal zorlama denklemi ile uzun dönem sıcaklık etkisini ve yıllık sıcaklık artışını hesaplayan sıcaklık denkleminden oluşmaktadır. Işınımsal zorlama denklemi; sera gazı birikiminin Dünya'nın radyasyon dengesi üzerindeki etkisini hesaplamaktadır. Sıcaklık denklemleri ise, her bir zaman dilimi için ortalama küresel yüzey sıcaklığını ve ortalama küresel okyanus sıcaklığını hesaplamaktadır. Sera gazı birikmesinden kaynaklı ekstra enerji miktarı olan ışınımsal zorlama dünya üzerinde ısınmaya yol açmaktadır. Sera gazı birikimleri, ışınımsal zorlama ve sıcaklıklar arasındaki ilişki iklim dinamikleri modellerinden elde edilmektedir.

İklim dinamikleri modeli, 1850'de başlayıp 2100'e kadar yıllık zaman adımlarında çalışmaktadır ve denklemleri 3.3 – 3.5 arasında verilmiştir.

$$F_t = 5,35(\mathrm{In}\frac{C_t}{C_{pre}}) \quad 3.3$$

Burada F_t, t zamanındaki CO_2 gibi antropojenik kaynaklı sera gazlarının neden olduğu ekstra enerji miktarını göstermektedir ve Wm^{-2} (metre kare başına watt) cinsinden ölçülmektedir. C_t, t zamanındaki toplam atmosferik CO_2 konsantrasyonudur. C_{pre}, atmosferik CO_2 konsantrasyonlarının sanayi öncesi dönem seviyesidir. Bu seviye için *287 ppm* kullanılmıştır. IPCC (2001) raporu'nda bu seviyenin 280 ± 10 ppm olduğu ifade edilmiştir (Prentice vd., 2001).

Sıcaklık denklemlerinden ortalama küresel yüzey sıcaklığının denklemi;

$$T_{AT_t} = T_{AT_{t-1}} + \lambda_1(\lambda_2 F_t - T_{AT_{t-1}}) + \lambda_3(T_{OK_{t-1}} - T_{AT_{t-1}}) \quad 3.4$$

şeklindedir. Denklem 3.4'de; T_{AT_t}, t zamanındaki ortalama küresel yüzey sıcaklığıdır. $T_{OK_{t-1}}$, t-1 zamanındaki ortalama okyanus sıcaklığıdır. λ_1, atmosferin gerçek sıcaklık ile denge sıcaklığı arasındaki sapmaya ne kadar hızlı tepki vereceğini belirleyen bir parametredir.

$$\Delta T = \lambda_2 5,35\mathrm{In}(\frac{C_t}{C_{pre}}) \quad 3.5$$

Denklem 3.5, atmosferik CO_2 konsantrasyonundaki veya ışınımsal zorlamadaki bir değişikliğe yanıt olarak yıllık ortalama küresel yüzey sıcaklığındaki değişikliği ifade etmektedir. Atmosferik CO_2 konsantrasyonunun iki katına çıkması durumunda meydana gelen yıllık ortalama küresel yüzey sıcaklığındaki değişiklik ise denge iklim duyarlılığı olarak ifade edilmektedir (IPCC, 2018). İklim duyarlılığı, iklimin ışınımsal zorlamaya nasıl tepki verdiğini tahmin etmek için kullanılan önemli bir niceliktir. Literatürde denge iklim duyarlılığının değer aralığı yüksek olasılıkla 2°C (yüksek güven düzeyinde) ve 5°C (orta güven düzeyinde) arasındadır. IPCC'nin altıncı değerlendirme raporunda (AR6), iklim duyarlılığının yüksek güven düzeyi ile 2,5°C- 4°C aralığında olduğu ve en iyi tahmininin 3°C olduğu ifade edilmiştir. Bu tahmin beşinci değerlendirme raporunda

(AR5), 1,5°C ila 4,5°C arasında idi (IPCC, 2022). λ_2 parametresi denklem 3.5'den hesaplanmaktadır. λ_3, atmosferin, atmosfer ile okyanus sıcaklığı arasındaki sapmaya ne kadar hızlı tepki vereceğini belirleyen bir parametredir.

Ortalama küresel okyanus sıcaklığının denklemi;

$$T_{OK_t} = T_{OK_{t-1}} + \lambda_4 (T_{AT_{t-1}} - T_{OK_{t-1}}) \quad 3.6$$

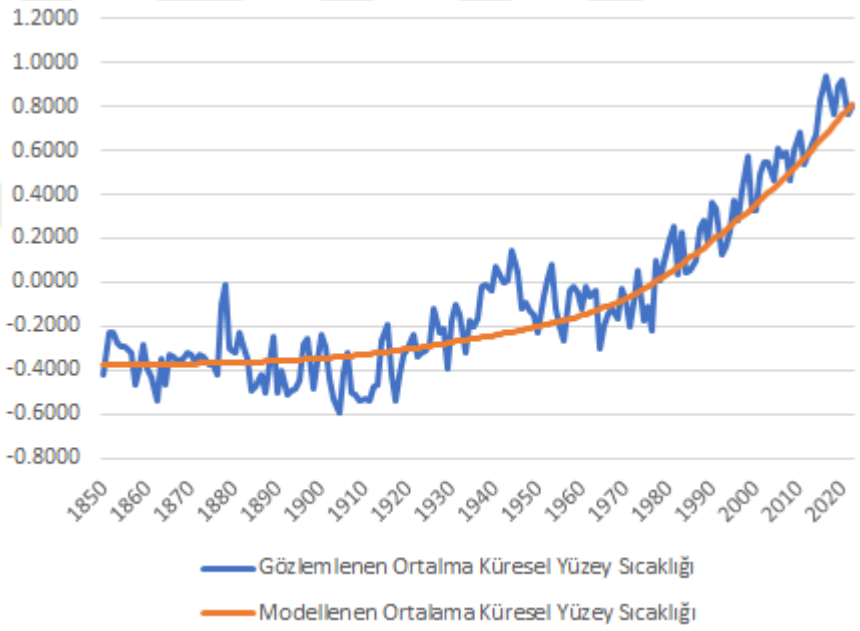
şeklindedir. Bu denklemde T_{OK_t}, t zamanındaki ortalama küresel okyanus sıcaklığıdır. λ_4, okyanusun, atmosfer ve okyanus sıcaklığı arasındaki sapmaya ne kadar hızlı tepki vereceğini belirleyen bir parametredir (Tol,2019).

Ortalama küresel yüzeyin ve okyanusun sıcaklıkları, birleştirilmiş fark denklemleri sistemi tarafından yönetilmektedir. Ortalama küresel yüzey sıcaklığı, kendi bir dönem gecikmeli değeri ile ortalama küresel okyanus sıcaklığının bir dönem gecikmeli değerine bağlıdır. Ortalama küresel okyanus sıcaklığı da aynı şekilde, kendi bir dönem gecikmeli değeri ile ortalama küresel okyanus sıcaklığının bir dönem gecikmeli değerine bağlıdır. Bu nedenle, modelde sıcaklıkların 1850 yılı başlangıç değeri $T_{AT_t} = T_{OK_t} = 0$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak model, sıcaklık anomalisini, diğer bir ifade ile, sanayi öncesi döneme göre ısınmayı vermektedir. Tablo 3.2'de sıcaklık denklemlerine ait parametre değerleri verilmiştir. Bu parametrelerin başlangıç değerleri olarak (Tol, 2019b)'un $\lambda_1 = 0,0256$, $\lambda_2 = 1,1489$, $\lambda_3 = 0,0073$, $\lambda_4 = 0,0056$ parametre değerleri kullanılmıştır. İklim duyarlılığı denklem 3.5'den elde edilmiştir. İklim duyarlılığı, modelin yıllık ortalama küresel yüzey sıcaklığını tahmin etmek için modelin kalibre edilmesinde kullanılan ana parametredir. Tahminlerin doğruluğunun kalibrasyon için hangi sıcaklık serisinin kullanıldığına bağlı olması bu yaklaşımın bir kısıtıdır (Estrada vd., 2022).

Tablo 3.2. İklim Dinamikleri Model Parametre Değerleri

Sembol	Değer	Kaynak
λ_1	0.0725	Kalibre edilmiştir
λ_2	0,8694	Kalibre edilmiştir.
λ_3	0,0495	Kalibre edilmiştir
λ_4	0,0396	Kalibre edilmiştir
F_t	5,35	(Tol, 2019b)

1850'den 2022'ye kadar modellenen yıllık ortalama küresel yüzey sıcaklığı ile yıllık gözlemenen ortalama küresel yüzey sıcaklığı değerleri şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Gözlememlenen ve Modellenen Yıllık Ortalama Yüzey Sıcaklığı

3.2.3. Ekonomik Büyüme Modeli

İklim değişikliği literatüründe ekonomik büyüme sistematik olarak incelenmemekle beraber bu konudaki en önemli adım entegre değerlendirme modelleri ile olmuştur. Fakat bu modellerde dahi dünyanın fiziksel sistemlerinin doğru bir şekilde

temsil edilmesine odaklanıldığından temel alınan ekonomik büyüme modelleri basit kalmış, ekonomik teorinin hızlı gelişimini yansıtamamıştır (Bonen vd., 2014).

Ekonomik büyüme teorilerinde, büyüme modeline ekonomik büyümenin temel itici gücü olarak teknolojik gelişimi dahil eden ilk çalışma, Solow (1956)'un çalışması olmuştur. Solow bu çalışmasında teknolojiyi egzojen bir faktör olarak tanımlamış ve uzun vadede ekonomik büyümenin temel kaynağının teknolojik gelişme olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmadan sonra uzunca bir süre ekonomik büyüme literatüründeki geleneksel görüş, teknolojik gelişimin modelde egzojen olarak değerlendirilmesi olmuştur. Daha sonra literatürde teknolojik gelişim konusundaki bakış açısında bir değişim başlamıştır. 1960'lardan sonra Arrow (1962) "yaparak öğrenme" yaklaşımı ile, Uzawa (1965) araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) yapılan yatırımlar aracılığı ile ve daha birçok araştırmacı farklı yollarla teknolojiyi endojen hale getirmeye çalışsalar da bunun nasıl gerçekleşeceğini net bir şekilde açıklayamamışlardır. Romer (1990), fikir ve teknoloji keşiflerinin ekonomik büyümenin merkezinde yer aldığı endojen büyüme teorisini geliştirmiştir. Romer modeli, teknolojiye yapılan yatırımın yeni bilgi ve teknolojilerin yaratılmasına yol açtığını ve bunun da teknolojik ilerleme hızını artırarak ekonomik büyümeyi yönlendirdiğini göstermektedir. Romer modelinin literatüre en önemli katkısı fikirleri ve teknoloji stoğunu rakip olmayan üretim faktörü olarak modele dahil etmesi olmuştur. Fikirler bu yönleri ile diğer tüm üretim faktörlerinden farklı olmaktadır. Klasik iktisatta üretim faktörleri rakiptir. Kullanıldıkça kıt hale gelmektedir (Yeldan, 2010). Fakat fikirler ve teknoloji stoğu rakip olmayan karakterlerinden dolayı kullanıldıkça azalmamakta ve sınırsız bir şekilde biriktirilebilmektedir. Fikirler ve teknoloji stoğu rakip olmayan üretim faktörleri olduğu için kişi başına çıktı (ekonomik büyüme), kişi başına teknoloji stoğu yerine toplam teknoloji stoğuna bağlıdır. Yeni teknoloji stoğu, mevcut teknoloji stoğunun miktarı ve araştırmacı sayısı ile orantılıdır. Diğer bir ifade ile, teknolojik gelişim için ayrılan kaynakların miktarı (araştırmacı sayısı gibi) iki katına çıkarılırsa, kişi başına çıktının büyüme oranı da en azından durağan durumda iki katına çıkmakta, eğer sabit kalırsa kişi başına çıktının büyüme oranı da sabit kalmaktadır. Dolayısıyla teknoloji üretimi ölçeğe göre sabit getiri altında genişlemektedir. Endojen büyüme modellerinin neredeyse hepsinde bu ölçek etkisi öngörülmüştür. Fakat modellerin neredeyse tamamı ampirik kanıtlarla çelişmektedir. Örneğin Jones (1995b) yapmış olduğu çalışmada gelişmiş ülkelerde Ar-Ge' de çalışan

bilim insanlarının sayısı, nüfus ve Ar-Ge yoğunluğunun artması ile önemli ölçüde artmasına rağmen ekonomik büyüme oranları ya sabit kalmış ya da düşmüştür. Teknolojiye ayrılan kaynaklar üstel büyüme eğilimi gösterirken, ekonomik büyüme oranındaki artış zaman içinde nispeten sabit kalmıştır. Bu kapsamda Jones, (1995a), Romer büyüme modelinin teknoloji stoğu denkleminde yer alan, ekonominin büyüme hızının teknolojik gelişime ayrılan kaynak miktarıyla orantılı olduğu varsayımının kusurlu olduğunu iddia etmiştir. Fakat modelin temel yapısının muazzam olduğunu düşündüğü için temel yapıyı korurken sahip olduğu ölçek etkisini ortadan kaldıran bir model geliştirmiştir. Jones modelinde ekonomik büyüme, büyümeyi sağlayan teknoloji stoğu, karı maksimize eden aktörler tarafından üstlenilen teknolojiden kaynaklanması anlamında endojendir. Uzun vadeli büyüme ise egzojen olarak belirlenen nüfus artış oranı ile teknoloji stoğu parametrelerinin büyüme oranına bağlı olmasından kaynaklı endojen değildir. "Yarı endojen büyüme teorisi" adı buradan gelmektedir.

Özetlemek gerekirse Jones (1995a) modelinde durağan durumdaki büyüme oranı, Romer (1990)'in büyüme modelindeki gibi işgücü miktarından ziyade işgücünün büyüme oranına bağlıdır. Jones'in geliştirdiği yarı endojen büyüme modeli, Romer'in endojen büyüme modelindeki güçlü ölçek etkisini ortadan kaldırmaktadır (Young, 1998).

İklim değişikliğinin sosyoekonomik etkilerini incelerken teknolojik gelişimin oynayabileceği rolü dikkate almak da önemlidir. Fakat yakın zamana kadar çoğu iklim politikası modeli, politikayı, teknolojik gelişmelerle açıkça ilişkilendirmemiştir. Bununla beraber iklim değişikliği ile ilgili çoğu ekonomik modelde teknoloji stoğu egzojen olarak ele alınmıştır. İklim değişikliğiyle mücadele için benimsenen politikaların teknolojik gelişimin hızı ve yönü üzerinde büyük bir etkisi olması muhtemel olduğundan, bu modellerin politika ve teknoloji stoğu arasındaki önemli bağlantıyı gözden kaçırabileceği düşünülmektedir (Popp, 2003). Literatürde entegre değerlendirme modelinin ekonomik büyüme kısmında teknoloji stoğunu endojen hale getirmeye yönelik çabalar da olmuştur. Bu konuda DEMETER modeli (Palmer vd., 2004), WITCH modeli (Bosetti vd., 2006), GCAM (Calvin vd., 2019), ENTICE modeli (Popp, 2003) iyi bilinen örneklerdendir. DEMETER, GCAM ve WITCH modelleri teknolojik gelişimi enerji sektörünü temel alarak "yaparak öğrenme" yolu ile endojen hale getirmişlerdir. Teknoloji açısından zengin enerji sistemi modellerine sahip daha karmaşık hibrit IAM'ler bu faktörleri

içermektedir ancak bunların karmaşıklığı, daha geniş bir anlayışı ve temel öngörülerinin etkisini sınırlamaktadır (Grubb ve Wieners, 2020)

Bu tez çalışmasında ekonomik büyüme modeli olarak Jones büyüme modeli (1995a) kullanılmış ve bu kapsamında Jones büyüme modeli ilk defa bir entegre değerlendirme modeline dahil edilmiştir. Modelde belirli bir zamandaki çıktı üretim fonksiyonu olan Cobb-Douglas üretim fonksiyonu tarafından belirlenmektedir. Bu fonksiyon, sermaye stoğunu (fabrikalar, makineler vb.), işgücü miktarını ve teknoloji stoğunu içermektedir. Ekonomik büyüme modelindeki denklemler 3.7 - 3.16 arasında açıklanmıştır:

$$Y_t = A_t^{\sigma} K_t^{\alpha} L_{Y_t}^{1-\alpha} \qquad t=1960,...,2019 \tag{3.7}$$

Denklem(3.7)'de Y_t, t zamanındaki ekonomik büyümeyi gösteren brüt çıktı, A_t, t zamanındaki teknoloji stoğu, K_t, t zamanındaki sermaye stoğu, L_{Y_t}, t zamanındaki nihai mal üretiminde kullanılan işgücü miktarıdır. α, sermaye stoğunun payı, $1-\alpha$ işgücünün payı, σ, ölçeğe göre artan getiriler ile fikirlerin rakip olmama durumunu yansıtmaktadır.

Yeni teknoloji stoğu, mevcut teknoloji stoğunun miktarına ve araştırma sektöründe kullanılan işgücü payına bağlıdır.

$$\dot{A}_t = \gamma L_{A_t}^{\eta_L} A_t^{\eta_A} \qquad 0 < \eta_L < 1, \ \eta_A < 1 \tag{3.8}$$

Denklem 3.8'de $\dot{A}_t$, t zamanda teknoloji stoğunda meydana gelen değişimi göstermektedir. η_L ve η_A, teknoloji üretim esnekliklerdir. η_L, araştırmacı sayısına bağlı olarak yeni teknoloji üretme esnekliğidir. Bu parametre araştırmacıların sayısı arttıkça marjinal teknoloji stoğunun ne ölçüde değiştiğini açıklamaktadır. η_L araştırmadaki tekrar olasılığını yakalamak için kullanılmaktadır. Eğer $\eta_L = 1$ ise belirli bir teknoloji stoğu için belirli bir noktada araştırmacıların sayısının iki katına çıkarılmasının, yeni teknoloji üretimini ikiye katlayacağını ifade etmektedir. Eğer $\eta_L < 1$ ise araştırmacıların sayısı ikiye katlansa dahi benzersiz araştırmaların sayısının iki katından az alabilceğini

göstermektedir. η_A, mevcut teknoloji stoğunun, yeni teknoloji stoğu oluşumunu etkileme şeklini ölçmektedir. $\eta_A < 1$ olduğu varsayılmaktadır. Bu da mevcut teknolojinin, yeni teknolojilerin üretilmesine destek olmasına $(\eta_A > 0)$ ya da mevcut teknolojilerin, yeni teknoloji üretilmesini zorlaştırmasına $(\eta_A < 0)$ izin vermektedir. $\eta_A = 0$ ise sabit sayıda teknoloji üretilmesi durumudur. γ, egzojen teknoloji stoğu parametresidir. Teknoloji stoğunda egzojen olarak meydana gelen değişimi göstermektedir. Bu modelde işgücü nihai malları üretmek ve bilim laboratuvararında araştırma yapmak için tahsis edilecektir.

$$L_{Y_t} = s_y L_t, \quad 0 < s_y < 1 \tag{3.9}$$

$$L_{A_t} = s_A L_t, \quad 0 < s_A < 1 \tag{3.10}$$

$$L_{A_t} + L_{Y_t} = L_t \tag{3.11}$$

$$L_t = l_0\, e^{nt}, \quad l_0 > 0,\ n > 0 \tag{3.12}$$

Burada L_t, t zamanda ekonomik büyümenin elde edilmesinde kullanılan toplam işgücüdür, L_{Y_t}, t zamanda nihai mal üretiminde kullanılan işgücüdür. s_Y, toplam işgücünde nihai mal üretimi için kullanılan işgücünün payıdır. L_{A_t}, t zamanda teknoloji üretiminde kullanılan işgücüdür. s_A, toplam işgücünde teknoloji üretimi için kullanılan işgücünün payıdır. İşgücü üzerindeki kaynak kısıtı denklem 3.11'deki gibidir. Burada $s_Y + s_A = 1$'dir. Denklem 3.12'de mal ve teknoloji üretiminde kullanılan toplam işgücü egzojen olarak belirlenen nüfus artışı ile orantılıdır.

$$\dot{K}_t = I_t - \delta K_t, \quad 0<\delta<1 \tag{3.13}$$

$$I_t = s_{K_t} Y_t \tag{3.14}$$

Denklem 3.13, sermaye stoğu için standart sermaye birikim denklemidir. $\dot{K}_t$, zaman içinde sermaye stoğundaki değişimi göstermektedir. K_t, t zamanda üretilen yeni sermaye stoğudur. Denklem 3.14'te I_t, t zamandaki yatırım miktarıdır. δ, amortisman

oranıdır ve egzojendir. s_{K_t}, tasarruf oranıdır. Denklem 3.13' e göre mevcut sermaye stoğu δ oranında yıpranmakta ve bu yıpranma yeni yatırımlarla ile telafi edilmektedir.

Bu modelin dengeli büyüme yolu olarak da adlandırılan durağan durum büyüme oranı denklem 3.15'te gösterilmiştir.

$$\frac{\dot{A}}{A} = g_A = \frac{\eta_L}{\eta_A} n \qquad 3.15$$

$$g_A = g_y = g_k = g_c \qquad 3.16$$

Durağan durumda modeldeki tüm değişkenlerin büyüme oranları eşittir. Dengeli büyüme yolu boyunca tüm ekonomik değişkenler sabit hale geleceği ve bozulmadığı sürece, değişen koşullara uygun olarak kendini sürekli yeniden üreteceği düşünülmektedir. Bu modelde de durağan durumda, teknoloji stoğundaki büyüme oranın (g_A), kişi başına düşen gelirin (y), kişi başına düşen sermaye stoğunun (k) ve kişi başına düşen tüketimin (c) büyüme oranına eşittir (Jones, 1995a). Durağan durumda ekonomik büyüme oranı, Romer (1990)'da olduğu gibi ekonominin büyüklüğüne değil, nüfus artışına bağlıdır. Nüfus artıyorsa, yarı endojen büyüme yaklaşımı uzun vadeyi karakterize etmekte, nüfus sabitse veya küçülürse, sonunda tamamen endojen bir yaklaşım baskın hale gelmektedir.

Şu ana kadar modelde ekonomik büyüme, brüt çıktı (Y_t) olarak adlandırılmıştır, çünkü iklim değişikliğinin etkileri hesaba katılmamıştır. Brüt çıktının (Y_t), net çıktıya (Q_t) dönüşümü ekonomik büyüme modeli ve iklim sistemi arasındaki arayüzü tanımlamaktadır (Traeger, 2013). Başka bir ifade ile, brüt çıktıdan iklim değişikliğinin neden olduğu hasarlar (D_t) ve emisyonların azaltma maliyeti (Λ_t) çıkartıldığında net çıktı elde edilmektedir. Ekonomik faaliyetlerin sebep olduğu emisyonları azaltmak, net çıktının azalmasına sebep olan azaltma maliyetine yol açmaktadır. Aynı zamanda emisyonların azaltılması net çıktının azalmasına sebep olan iklim değişikliği hasarlarının azalmasını sağlamaktadır (Michaelis ve Wirths, 2019). Net çıktının hesaplanma denklemi, denklem 3.17'de verilmiştir.

$$Q_t = Y_t(1 - D_t - \Lambda_t) \qquad 3.17$$

Emisyonlardaki eğilimleri anlamak ve azaltımının nasıl sağlanacağını görebilmek için Kaya özdeşliği[9] yararlı bir araçtır. Kaya özdeşliği denklem 3.18'de verilmiştir.

$$M_t^* = L_t \frac{Y_t}{L_t} \frac{E_t}{Y_t} \frac{M_t^*}{E_t} \qquad 3.18$$

Burada M_t^*, t zamanındaki ekonomik faaliyetlerden kaynaklı CO_2 emisyonu, E_t, t zamanındaki birincil enerji kullanımını göstermektedir. Ayrıca $\frac{Y_t}{L_t}$, kişi başına düşen ekonomik üretimi, $\frac{E_t}{Y_t}$, ekonomik üretimin enerji yoğunluğunu diğer bir ifade ile, ekonomik faaliyet birimi başına enerji kullanımını, $\frac{M_t^*}{E_t}$ enerji kullanımının emisyon yoğunluğunu diğer bir ifade ile birim enerji kullanımı başına düşen emisyonları göstermektedir. Bu özdeşlik karbon emisyonlarının ayrıştırılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle emisyon senaryolarını düzenlemek için kullanışlı olmaktadır. Emisyon azaltımını sağlamak için, nüfusa, çağın tüketim ve tasarruf kararlarına dolayısıyla ekonomik büyümesine, işgücü verimliliğine, enerji kullanımına odaklanılmalıdır.

Denklem 3.18'de eşitliğin iki tarafının da logaritması ve zamana göre kısmi türevi alınırak emisyonların büyüme oranı hesaplanmıştır. Buna göre emisyonların büyüme oranı, nüfusun büyüme oranı, kişi başına düşen gelirin büyüme oranı, enerji yoğunluğunun büyüme oranı ve karbon yoğunluğunun büyüme oranının toplamına eşittir.

$$\frac{\partial \mathrm{In} M_t^*}{\partial t} = \frac{\partial \mathrm{In} L_t}{\partial t} + \frac{\partial \mathrm{In} \frac{Y_t}{L_t}}{\partial t} + \frac{\partial \mathrm{In} \frac{E_t}{Y_t}}{\partial t} + \frac{\partial \mathrm{In} \frac{M_t^*}{E_t}}{\partial t} \qquad 3.19$$

[9] Yoichi Kaya, Kaya Özdeşliğini 1993 yılında Küresel Çevre, Enerji ve Ekonomik Kalkınma Konferansı'nda yaptığı bir konuşma sırasında önermiştir.

Kaya özdeşliğinde sera gazı emisyonu azaltma seçeneği bulunmamaktadır. Emisyon miktarında belirli bir hedefe ulaşabilmek için yılda azatılması gereken karbon emisyon miktarının hesaplanması gerekmektedir. Bunu modelleyebilmek için emisyon azaltma oranı ($\mathfrak{M}_t$) kullanılır. Bu emisyon azaltma oranı her yıl için bir değere sahip ve başlangıçta kontrol oranı %0 (iklim politikasının olmadığı durum) olacak şekilde ayarlanmıştır. Emisyonlar için nihai denklem 3.20'de sunulmuştur.

$$M_t = (1-\mathfrak{M}_t)M_t^* \qquad 3.20$$

Projeksiyon dönemi (2020-2100) boyunca modelde emisyon azaltmanın maliyetli olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla emisyon azaltma oranının %0'dan büyük herhangi bir seçimi ekonomi üzerinde bir yük oluşturacaktır. Göreli emisyon azaltma maliyeti olarak adlandırılan bu yük denklem 3.21'de gösterilen fonksiyonla hesaplanmaktadır ve emisyonu azaltma çabaları için harcanan çıktı payını göstermektedir.

$$\Lambda_t = \beta_1 \mathfrak{M}_t^{\beta_2} \qquad 3.21$$

Denklem 3.21'de Λ_t, t zamanındaki göreli emisyon azaltma maliyetidir. $\mathfrak{M}_t$, t zamandaki emisyon azaltma oranıdır. Azaltılmış kirlilik için ne kadar tüketimden vazgeçildiğinin göstergesidir (Bonen vd., 2014). β_1 ve β_2 emisyon azaltma maliyet parametreleridir. Diğer bir ifade ile, β_1 ve β_2 emisyon azaltma maliyet fonksiyonunun şeklini belirleyen parametrelerdir.

Ekonomik faaliyetlerin sebep olduğu emisyonların birikimi atmosferik sera gazı konsantrasyonuna yol açmaktadır. Bu durum ışınımsal zorlamanın artmasını neden olmaktadır. Artan ışınımsal zorlama yüksek bir sıcaklık seviyesini tetiklemektedir. Bu sıcaklık artışının ekonomik büyümeye etkisi hasar fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Hasar fonksiyonunun küresel ısınmanın ekonomik büyümeye etkisini yeterince yakalayabilen, analitik olarak incelenebilir bir formda olması istenmektedir. Fakat mevcut literatür, bir hasar fonksiyonunun şu ya da bu biçiminin neden tercih edilmesi gerektiğine dair yeterli teorik rehberliğe sahip değildir (Weitzman, 2010). Bunun nedeni

denenmesinin mümkün olmaması ve artan iklim olaylarının farklı yerel etkilere sebep olacağı bir uygulamada modellemenin doğal zorluğundan kaynaklanmasıdır. Dolayısıyla hasar fonksiyonu iklim ekonomisinde en tartışmalı unsurdan biri olup, farklı araştırmacılar tarafından farklı hasar fonksiyonu ve seviyesi önerilmiştir (Bonen vd., 2014). Tez çalışmasında kullanılacak hasar fonksiyonu DICE2013R modelindeki hasar fonksiyonudur ve denklem 3.22' de verilmiştir (Nordhaus, 2013).

$$D_t = \psi_1 T_{AT_t} + \psi_2 T_{AT_t}^2 \qquad 3.22$$

T_{AT_t}, iklim dinamikleri modelinde bahsedildiği gibi sanayi öncesi dönem ile kıyaslandığında t zamanındaki ortalama küresel yüzey sıcaklık artışıdır. ψ_1, ψ_2, hasar parametreleridir. Diğer bir ifade ile, ψ_1, ψ_2 hasar fonksiyonunun şeklini belirleyen parametrelerdir.

Denklem 3.22'de verilen hasar fonksiyonunda; belirli bir sıcaklık artışının, gelir seviyesinden bağımsız olarak aynı etkiye neden olduğu varsayılmıştır. Diğer bir ifade ile, her ülke veya bölge için iklim değişikliğine karşı savunmasızlığın sabit olduğu kabul edilmiştir. Fakat literatürde gelişmekte olan veya gelişmemiş ülkelerin, gelişmiş ülkelere göre iklim değişikliğine karşı daha savunmasız olduğu varsayılmaktadır (Mendelsohn vd., 2006). Bu nedenden Denklem 3.22'deki hasar fonksiyonuna iklim değişikliğinin etkisinin gelir esnekliğini haseba katan ek bir parametre eklenmiştir. υ parametresi iklim hasarının dağılımı ile gelir dağılımı arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.

$$D_t = \psi_1 T_{AT_t} + \psi_2 T_{AT_t}^2 \left(\frac{y_t}{y_{1960}}\right)^{\upsilon} \qquad 3.23$$

Burada $\upsilon = 1$ olması iklim hasarlarının gelirle orantılı olarak dağıtıldığını, $\upsilon = 0$ olduğunda hasarların eşit olarak dağıtıldığını, $\upsilon = -1$ iklim hasarlarının gelirle ters orantılı olarak dağıtıldığını ifade etmektedir (Dennig vd., 2015).

Brüt çıktıdan iklim değişikliğinin neden olduğu hasarlar (D_t) ve emisyonların azaltma maliyeti (Λ_t) çıkartılıp net çıktı elde edildikten sonra, E7 ülkeleri için sosyal

refah fonksiyonunu maksimize etmek için fayda fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Fayda fonksiyonu izoelastik fayda fonksiyonusdur. Faydanın tek kaynağı riskten kaçınma oranı ile kişi başına düşen tüketim miktarıdır. Tüketim miktarı, brüt çıktıdan, sermaye stoğuna yapılan yatırım miktarının çıkarılmasıyla denklem 3.24'ten elde edilmiştir. Denklem 3.25'de de kişi başına tüketim miktarı; toplam tüketim miktarının, nüfusa bölünmesiyle hesaplanmıştır.

$$Q_t = I_t + C_t \tag{3.24}$$

$$c_t = \frac{C_t}{L_t} \tag{3.25}$$

Burada I_t, t zamandaki yatırım miktarını, C_t, t zamandaki tüketim miktarını, c_t de t zamanda kişi başına düşen tüketim miktarını göstermektedir. Bu denklemlerden hareketle modelin t zamandaki tüketiminin fonksiyonu olan fayda fonksiyonu, izoelastik formda denklem 3.26'da verilmiştir.

$$U(c_t) = \frac{c_t^{1-\eta} - 1}{1-\eta}, \quad \eta>0 \tag{3.26}$$

$$U_t[c_t, L_t] = L_t \frac{c^{1-\eta} - 1}{1-\eta} \tag{3.27}$$

Burada U_t, t zamandaki faydayı, göstermektedir. Riskten kaçınma oranı η, marjinal faydanın tüketime göre esnekliği şeklinde tanımlanmaktadır. İnsanların kendileri ile gelecek nesillerin iklim değişikliğinden maruz kalma durumları arasındaki farkı azaltmak amacıyla ne kadar fedakarlık yapmaya istekli olduklarının bir ölçüsüdür. Daha spesifik olarak, η, tüketim arttıkça marjinal fayda değerinin ne kadar azaldığını yansıtmaktadır,diğer bir ifade ile, tüketimde %1'lik bir artış, bir doların marjinal fayda değerinde %η'lik bir düşüşe karşılık gelmektedir (Rennert vd., 2022). Eğer η sıfıra yakınsa diğer bir ifade ile küçük değerlere sahip ise, insanların tüketimdeki değişikliklere daha az duyarlı olduklarını ve gelecek nesiller için iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla bugünkü tüketimlerinde değişiklikler yapma ihtimallerinin düşük olabileceğini göstermektedir. η değeri yüksek ise bu durum, insanların tüketimdeki değişikliklere çok

duyarlı olduklarını, gelecek nesiller için iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla bugünkü tüketimlerinde değişiklikler yapmaya istekli olduklarını göstermektedir. Fayda fonksiyonunun $\eta \to 1$'de limiti alınırsa fayda kişi başına düşen tüketiminin logaritmik bir fonksiyonu olmakta ve $\lim_{\upsilon \to 1} U(c_t) = In(c_t)$ şeklinde elde edilmektedir.

Bu tez çalışmasında kurulan model *sosyal refah maksimizasyon problemini* ele alan bir model olduğu için fayda fonksiyonun belirlendikten sonra , E7 ülkeleri için sosyal refah fonksiyonunu maksimize etmek gerekmetedir. Modelin amacı sosyal refah fonksiyonunu maksimize edecek optimal iklim politikasını belirlemektir. Sosyal Refah fonksiyonu W_t denklem 3.28'de verilmiştir. Bu fonksiyon zamanla değişen tüketime bağlı faydanın iskontolu toplamı olarak tanımlanmaktadır. Denklem 3.7 - 3.27 arasındaki denklemler sosyal refah fonksiyonunun kısıtlarını oluşturmaktadır. Ek 1 'de modelin tüm denklemleri bir bütün olarak sunulmuştur.

$$W_t = \max \sum_{t}^{T} U[c_t, L_t]\, R_t \qquad 3.28$$

$$R_t = \frac{1}{(1+\rho_t)^{t-t_{2019}}} \left(\frac{c_t}{c_{2019}}\right)^{-\eta} \qquad 3.29$$

Burada R_t, t zamandaki marjinal iklim hasarlarını iskonto etmek için kullanılan stokastik bir iskonto faktörüdür. İskonto faktörü, iklim politikası için önemli bir konudur; iskonto faktörü, iklim değişikliğini hem hafifletmek hem de iklim değişikliğine uyum sağlamak için eylemlerin aciliyetini belirlemeye yardımcı olmaktadır (Godard, 2009; Stern,2015). İlk yıldaki iskonto faktörü birdir.

İklim ekonomisi literatürü iskonto için genel olarak Ramsey tipi bir yaklaşım kullanırken, ABD Kurumlararası Çalışma Grubu (US IWG) sabit, deterministik bir iskonto oranı kullanarak iskonto ve gelecekteki ekonomik büyümeyi birbirinden ayrı tutmuştur (Gundlach ve Paul, 2022). Bu yaklaşım dolaylı olarak $\eta = 0$ olduğunu varsaymaktadır. Bu durum tüketim artışı ile iskonto arasında hiçbir bağlantının olmadığının yanısıra sıfır riskten kaçınmaya karşılık gelmektedir. Bu tez çalışmasında *stokastik iskonto oranı* kullanılarak ekonomik büyüme ve iskonto oranları arasında ilişki kurulmuştur.

Sosyal refah fonksiyonunu maksimize eden optimal iklim politikası belirlendikten sonra günümüzde ilave bir ton CO_2 veya eşdeğer bir sera gazının neden olduğu toplam etkinin parasal değerini temsil eden karbonun sosyal maliyeti hesaplanmıştır. Bu değeri hesaplamak için modelde 2023 yılından itibaren atmosfere 1 ton ek CO_2 eklenmiştir. Modelde mevcut durum iklim değişikliği politikasının olmaması yani herhangi bir azaltma maliyeti uygulanmaması durumudur. Modele eklenen fazladan 1 ton CO_2, gelecekte mevcut durumdan daha fazla ısınmaya neden olacak ve bu da iklim değişikliğinden kaynaklı hasarın artmasına neden olacaktır. Denklem 3.30'de gösterildiği gibi mevcut durum ile modele eklenmiş fazaladan 1 ton CO_2 'li durum arasındaki fark marjinal hasarı vermektedir. Marjinal hasar, bugün salınan fazladan bir ton CO_2'in ekonomik büyümeye verdiği ek hasarları temsil etmektedir ve iskonto oranı kullanılarak mevcut parasal eşdeğerlerine dönüştürülmektedir (Rennert vd., 2022). Marjinal hasarların iskonto edilmiş net bugünkü değerinin toplamı , denklem 3.31'de gösterilen karbonun sosyal maliyetine karşılık gelmektedir.

$$MH_t = D_t - D_{t_{ekbirton}} \tag{3.30}$$

$$SCC = \sum_{t=2023}^{2100} R_t MH_t \tag{3.31}$$

Tüm bu bilgiler ışığında, tez kapsamında kullanılan ekonomik büyüme modelindeki parametrelerin değerleri Tablo 3.3'de listelenmiştir. Modelde kullanılan sermayenin amortisman oranı (Denklem 3.13), toplam yatırım (Denklem 3.14) ve sermaye stoğunun payı (Denklem 3.7) Penn Table World 10.01 (PWT 10.01, 2023) tarafından sağlanan veriler kullanılarak hesaplanmıştır. İşlem kolaylığı olması adına $\sigma = 1 - \alpha$ şeklinde alınmıştır. Denklem 3.15'de gösterildiği gibi ekonomi büyüme oranını belirleyen η_A ve η_L parametreleri, kalibrasyon parametreleri olarak seçilmiştir.

Tablo 3.3. Ekonomik Büyüme Model Parametre Değerleri

Gösterimi	Tanımı	Değeri	Kaynak
α	Sermaye stoğunun payı	0,3829	Penn World Table 10.01
δ	Amortisman oranı	0,04	Penn World Table 10.01
γ	Teknoloji stoğu parametresi	0,10	Kalibrasyon
s_Y	Toplam işgücünde nihai mal üretimi için kullanılan işgücü payı	0.999	Penn World Table 10.01
s_A	Toplam işgücünde araştırma için kullanılan işgücü payı	0.001	Penn World Table 10.01
s_{K_t}	Tasarruf oranı	0,2370	Penn World Table 10.01
β_1	Emisyon azaltım maliyet parametresi	0,10	Tol,2014
β_2	Emisyon azaltım maliyet parametresi	2	Tol,2014
ψ_1	Hasar fonksiyonu parametresi	3,57	Tol,2014
ψ_2	Hasar fonksiyonu parametresi	-1,70	Tol,2014
ρ	Saf zaman tercih oranı	0,002	Rennert vd.,2021
η	Tüketimin marjinal faydasının esnekliği (Riskten/eşitsizlikten kaçınma oranı)	1,24	Rennert vd.,2021

3.3. Entegre Değerlendirme Modelinin Çözümü

E7 ülkeleri için geliştirilen entegre değerlendirme modelinin çözüm aşamaları aşağıda verilmiş olup daha sonra ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Birinci adım: İklim dinamikleri ve karbon döngüsü modelleri 1960-2022 yıllarında gözlemlenen verilere göre kalibre edilmiştir.

İkinci Adım: Ekonomik büyüme modelinin değişkenleri olan K, A, L değişkenleri belirlenmiştir. Brüt çıktı hesaplanmış, ardından tüketim ve tasarruf belirlenmiştir.

Üçüncü Adım: Ekonomik büyümeyi sağlayan üretim, CO_2 ürettiği için, bu bağlantıyı göstermek adına, karbon döngüsü modeli ile ekonomik büyüme modeli Kaya ödeşliği ile birbirine bağlanmıştır. CO_2 stoğu, ortalama küresel yüzey sıcaklığını etkilediği için iklim döngüsü modeli belirlenmiştir. 2020'den 2100'e kadar iklim dinamikleri modeli, karbon döngüsü modeli projeksiyonları üretilmiştir.

Dördüncü Adım: İklim değişikliğinin verdiği hasarlar ve CO_2 emisyon azaltma maliyetleri belirlenmiştir. Brüt çıktıdan bu etkiler çıkartılarak modelin net çıktısı oluşturulmuştur.

Beşinci Adım: Sosyal refah fonksiyonu maksimize edilmiş ve E7 ülkeleri için optimal iklim politikası belirlenmiştir.

Altıncı Adım: En son olarak 2023 yılından itibaren fazladan 1 ton CO_2 emisyonunun E7 ülkelerine olan maliyeti diğer bir ifade ile karbonun sosyal maliyeti hesaplanmıştır.

Birinci adımda bahsedildiği gibi iklim dinamikleri model parametreleri kullanılarak 1850'den 2019'a kadar yıllık ortalama küresel yüzey sıcaklığı değerleri hesaplanmıştır. Karbon döngüsü model parametreleri kullanılarak atmosferik CO_2 konsantrasyonları hesaplanmıştır.

İkinci adımda, E7 ülkeleri için ekonomik büyüme modelini tahmin etmek amacıyla ilk olarak Jones ekonomik büyüme modelinin ana belirleyicisi olan η_A ve η_L parametreleri kalibrasyon parametresi olarak seçilmiştir. η_A ve η_L parametrelerinin çok değişkenli normal dağılımdan geldiği varsayılarak monte carlo simülasyonu ile veri üretilmiş ve bu dağılımdan rassal olarak 1000 değerin olduğu örneklem seçilmiştir. Seçilen parametre değerleri ile model simüle edilmiştir. Gözlemlenen brüt çıktı değerleri ile simüle edilen brüt çıktı değerleri arasındaki hatayı minumum yapan parametre değerleri ve bu parametrelerin güven aralıkları varyans-kovaryans matrisi kullanılarak belirlenmiştir.

η_A ve η_L varyans-kovaryans matrisini tahmin etmek için log-olabilirlik fonksiyonunun Hessian matrisi kullanılmıştır. Log-olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmesi, toplam hatanın minimize edilmesi ile eşdeğerdir (Zhang vd., 2006). Gözlemlenen brüt çıktının, Jones ekonomik büyüme modeli tarafından açıklanan uzun dönemli bir trend ile özdeş, bağımsız ve normal dağılan bir hata terimini olan ε_i 'nin bir

bileşimi olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla brüt çıktı μ ortalama ve σ^2 varyansı ile denklem 3.32'de görüldüğü gibi normal dağılıma sahiptir.

$$y_i \sim N(\mu_i, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\varepsilon_i^2}{2\sigma^2}} \qquad 3.32$$

Burada hata terimi, gözlemlenen ve simüle edilen çıktı arasındaki farktır ve matematiksel olarak $\varepsilon_i = y_i - \mu_i$ şeklinde ifade edilmektedir. σ^2 aynı zamanda ε_i'nin de varyansıdır.

$$L = \prod_{i=1}^{1000} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\varepsilon_i^2}{2\sigma^2}} \qquad 3.33$$

Denklem 3.33'de i indis değeri yapılan simülasyon tahminlerinin sayısını göstermektedir. Denklem 3.33'den log-olabilirlik fonksiyonu denklem 3.34'deki şekilde elde edilmiştir.

$$InL = -\frac{N}{2} In(2\pi) - \frac{N}{2} In(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2}(\varepsilon'\varepsilon) \qquad 3.34$$

Denklem 3.35'deki P vektörüne göre denklem 3.35'in türevi alınmıştır. Kalibrasyon parametreleri η_A ve η_L'ye göre türevler aynı olduğu için basitleştirmek adına iki parametre, eşitlik 3.35'de η ile ifade edilmiştir.

$$P = \begin{bmatrix} \eta \\ \sigma^2 \end{bmatrix} \qquad 3.35$$

Hata teriminin beklenen değeri sıfır olduğu için, kalibrasyon parametrelerine göre birinci türevinin beklenen değeri de sıfırdır. Bu nedenle, η_A ve η_L parametreleri σ^2 ile korelasyonlu değildir. Bilindiği gibi, log-olabilirlik fonksiyonunun ikinci türevi Hessian

matrisini vermektedir. P'nin aralık tahminini bulmak için log-olabilirlik fonksiyonunun Hessian matrisi hesaplanmıştır. Hessisan matirisi denklem 3.36'deki gibidir.

$$H = \frac{\partial^2 InL}{\partial P \partial P'} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 InL}{\partial \eta \partial \eta'} & \frac{\partial^2 InL}{\partial \eta \partial \sigma^2} \\ \frac{\partial^2 InL}{\partial \sigma^2 \partial \eta'} & \frac{\partial^2 InL}{\partial \sigma^2 \partial \sigma^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2\sigma^2}\frac{\partial^2(\varepsilon'\varepsilon)}{\partial \eta \partial \eta'} & \frac{1}{2\sigma^4}\frac{\partial^2(\varepsilon'\varepsilon)}{\partial \eta} \\ \frac{1}{2\sigma^4}\frac{\partial^2(\varepsilon'\varepsilon)}{\partial \eta'} & \frac{N}{2\sigma^4} - \frac{\partial^2(\varepsilon'\varepsilon)}{\sigma^6} \end{bmatrix} \quad 3.36$$

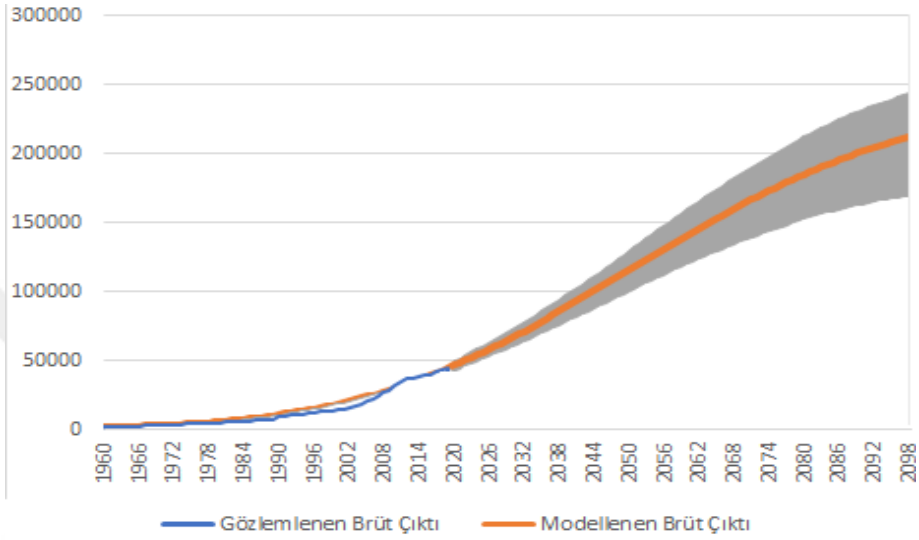
P'nin kovaryans matrisi denklem 3.37'de verildiği üzere Hessian matrisinin beklenen değerinin negatifinin tersidir.

$$Kov = [-E\,[H]\,]^{-1} \quad 3.37$$

Sonuç olarak burada varyans-kovaryans matrisini en aza indiren, yani gözlemlenen ve simüle edilen brüt çıktılar arasındaki hatayı minimize eden parametreler η_A ve η_L değerleri %95 güven aralığında tahmin edilmiştir. Güven aralığındaki tüm değerler kullanılarak Jones ekonomik büyüme modeli en küçük kareler yaklaşımına dayanan ama ona göre daha sağlam, sayısal bir yöntem olan Trimborn vd. (2008)'in gevşetme algoritması kullanılarak çözülmüş ve gelir projeksiyonu elde edilmiştir. Bu tahminler ekonomik büyümenin %95 güven aralığında %2,5'luk en yüksek ve en düşük tahminler hariç tüm tahminlerini temsil etmektedir ve şekil 3.3'de gösterilmiştir. η_A ve η_L değerleri Tablo 3.4' da verilmiştir.

Tablo 3.4. Ekonomik Büyüme Modelinin Kalibrasyon Parametrelerinin Varyans-Kovaryans Değerleri

η_A	$var(\eta_A)$	η_L	$var(\eta_L)$	Kov
0,458	0,0122	0,583	0,0092	0.0078



Şekil 3.3. E7 Ülkeleri için Gelir Projeksiyonu

Trimborn vd. (2008)'in gevşetme algoritması aşağıdaki adımlar dikkate alınarak uygulanmıştır.

Ekonomik büyüme modeli tamamen teknoloji stoğu, sermaye stoğu ve hanehalkı tüketimini tanımlayan üç diferansiyel denklem sistemi tarafından belirlenmiştir.

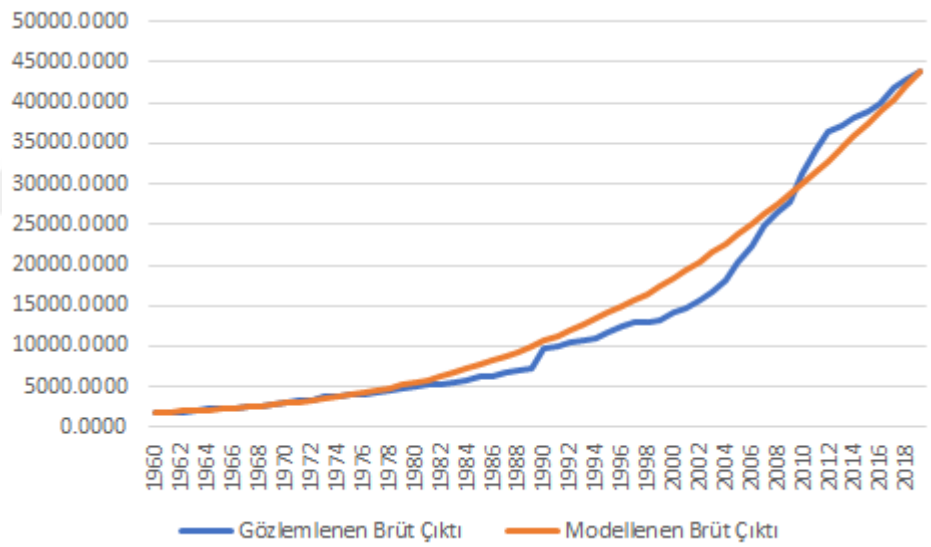
Bu üç eşzamanlı diferansiyel denklem sistemini çözmek için teknoloji stoğunun, sermaye stoğunun ve hanehalkı tüketiminin büyüme oranları sıfır olan durağan değişkenlere dönüştürülmüştür.

Teknoloji stoğunun başlangıç değeri kalibrasyon yoluyla belirlenmiştir. 1960 başlangıç yılı için modellenen çıktı gözlemlenen çıktıya eşit olana kadar devam edilmiş ve $A_{1960} = 1,0559$ olarak bulunmuştur.

Sermaye stoğunun başlangıç değerini hesaplamak için denklem 3.13 kullanılamadığı için sermaye stoğunun durağan durum denklemi 3.39 kullanılmıştır. Buradan $K_{1960} = 9981,2415$ olarak bulunmuştur.

$$
\begin{aligned}
K &= (1-\delta)K + s_K A K^{\alpha} L_Y^{1-\alpha} \\
\delta K &= s_K A K^{\alpha} L_Y^{1-\alpha} \\
\delta K^{1-\alpha} &= s_K A L_Y^{1-\alpha} \\
K &= \left(\frac{s_K A}{\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} L_Y
\end{aligned}
\qquad 3.39
$$

1960'den 2019'a kadar gözlemlenen brüt çıktı ile modellenen brüt çıktı değerleri şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Gözlemlenen ve Modellenen Brüt Çıktı

Üçüncü adımda belirtildiği gibi ekonomik büyümeyi sağlayan üretim, CO_2 emisyonunu arttırdığı için, E7 ülkelerinin CO_2 emisyonları denlem 3.18'deki Kaya özdeşliği kullanılarak hesaplanmış ve bu emisyonlar 2020 yılından itibaren karbon döngüsü modelinin girdisi olarak kullanılımıştır. Karbon döngüsü modelinin çıktısı olan CO_2 konsantrasyonları, ortalama küresel yüzey sıcaklığını etkilediği için 2020-2100 döneminde iklim döngüsü modelinin girdisi olmuştur. Ülkeler, Paris İklim Anlaşması'nın hedeflerine ulaşabilmek adına sera gazı emisyonlarını azaltmak için ulusal olarak belirli

oranları dikkate almıştır. Belirli bir iklim politikası doğrultusunda bir yılda azaltılması gereken CO_2 emisyon miktarı, emisyon azaltma oranı (%5,%10,%20,…) ile belirlenmektedir. Dördüncü adımda, farklı iklim politikalarının etkilerini görebilmek için farklı emisyon azaltma oranları kullanılarak göreli emisyon azaltma maliyeti Λ_t, Denklem 3.21'den hesaplanmıştır. Modele iklim değişikliğinin etkilerini dahil edebilmek için deklem 3.23 kullanılarak hasar fonksiyonu hesaplanmıştır. Emisyon azaltma maliyetleri ve iklim değişikliğinin hasarları brüt çıktıdan çıkarılarak net çıktı hesaplanmıştır. Net çıktıdan sermaye stoğuna yapılan yatırımlar da çıkarıldıktan sonra geriye kalan her şey tüketilebilirdir, dolayısıyla tüketime eşittir. Tüketim denklem 3.24 kullanılarak hesaplanmıştır. Beşinci adımda, E7 ülkeleri için denklem 3.7 - 3.27 kısıtlayıcı koşulları altında, denklem 3.28'de verilen amaç fonksiyonu olan sosyal refah fonksiyonunu maksimize eden en iyi (optimum) iklim politikalarının belirlenmesi amacıyla çözücü temelli doğrusal olmayan optimizasyon tekniklerinden Matlab programındaki *fminsearch* çözücüsü kullanılmıştır. Bu çözücü fonksiyonun minumumunu bulmak için kullanıldığından sosyal refah fonksiyonunun negatifi alınarak maksimum değer bulunmuştur. Doğrusal olmayan fonksiyonları çözmek için sürekli kullanılan, sağlamlığı ve uygulama kolaylığı ile iyi bilinen bir çözücüdür (Rios ve Sahinidis, 2013). Bu çözücü Nelder-Mead tek yönlü algoritmasına dayanmaktadır. Bu algoritma minimize edilen fonksiyonun gradyanı hakkında bilgi gerektirmeyen sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır (Lagarias vd., 1998). 2020-2100 yıllları için sosyal refah fonksiyonunu maksimum yapan optimal iklim politikasını belirleyebilmek için emisyon azaltma oranınının değerinin bulunması gerekmektedir. Bu sebepten sayısal optimizasyonda karar değişkenimiz emisyon azaltma oranıdır. En yüksek sosyal refahı veren emisyon azlatım oranı hesaplanmıştır. Altıncı adımda, karbonun sosyal maliyeti üç adımlı bir hesaplama süreci ile tahmin edilmiştir. İlk adımda, model, mevcut durumu ve 2023 yılında fazladan 1 ton CO_2 emisyonu eklenmiş durumu olmak üzere iki ayrı durum için 2100 yılına kadar çalıştırılmıştır. İkinci adımda, bu iki durum arasındaki ton başına meydana gelen hasarlardaki fark olarak t zamanındaki marjinal iklim hasarı hesaplanmıştır. Marjinal hasarların net bugünkü değeri, karbonun sosyal maliyetine karşılık gelmektedir. Marjinal hasarlar ise denklem 3.23'den hesapladığımız hasar fonksiyonundan modele eklenen fazaladan 1 ton CO_2 ile tekrar hesapladığımız hasar fonksiyonu arasındaki farktır ve denklem 3.30'da verilmiştir. Bu, 2023 yılında salınan bir

ton ek CO_2'in neden olduğu ek hasarların zaman serisidir. Daha sonra her yıl için Denklem 3.29'daki stokastik iskonto faktörü hesaplanmıştır. Üçüncü ve son adımda, karbonun sosyal maliyeti, stokastik iskonto faktörü ile marjinal hasarlar iskonto edilerek her yıl için denklem 3.31'den hesaplanmıştır. Marjinal hasarların net bugünkü değer tahminlerinin toplamı karbonun sosyal maliyetini vermektedir.

3.4. Entegre Değerlendirme Modeli Analiz Sonuçları

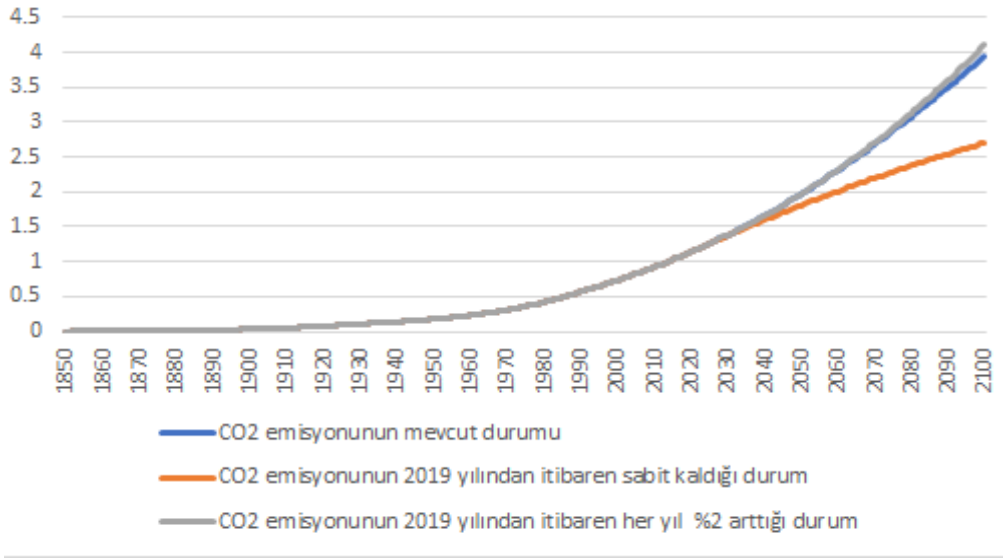
Bölüm 3.3'de yapılan analizler sonucunda aşağıdaki çıkarımlarda bulunulmuştur.

Tablo 3.5'e göre E7 ülkelerinde emisyon azaltımına dair bir müdahalede bulunulmaması, yani herhangi bir emisyon azaltma politikası uygulanmaması durumunda 2030 yılında öngörülen yıllık küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 2019 yılındaki küresel ortalama yüzey sıcaklığından yaklaşık 0,26°C, 2050 yılındaki sıcaklık, 2019 yılındaki küresel ortalama yüzey sıcaklığından yaklaşık 0,85°C, 2100 yılındaki sıcaklık, 2019 yılındaki küresel ortalama yüzey sıcaklığından yaklaşık 2,82°C daha fazla olacaktır. CO_2 emisyonları 2019 yılı seviyesinde sabit tutulursa, 2030 yılında öngörülen yıllık küresel ortalama yüzey sıcaklığı 2019 yılındaki küresel ortalama yüzey sıcaklığından yaklaşık 0,25°C, 2050 yılındaki sıcaklık yaklaşık 0,70°C, 2100 yılındaki sıcaklık ise yaklaşık 1,59°C daha fazla olacaktır. 2019 yılından itibaren her yıl CO_2 emisyonları %2 oranında artarsa 2030 yılında öngörülen yıllık küresel ortalama yüzey sıcaklığı 2019 yılındaki küresel ortalama yüzey sıcaklığından yaklaşık 0,27°C daha fazla, 2050 yılındaki sıcaklık yaklaşık 0,85°C, 2100 yılındaki sıcaklık ise yaklaşık 2,99°C daha fazla olacaktır. Şekil 3.5 incelendiğinde mevcut durumun her yıl yüzde %2'lik artışa yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 3.5. CO_2 Emisyon Oranlarına Göre Ortalama Küresel Yüzey Sıcaklıkları

	CO_2 emisyon oranlarına herhangi bir müdahale olmaması durumunda	**CO_2 emisyon oranlarının 2019 yılından itibaren sabit kalması durumunda**	**CO_2 emisyon oranlarının 2019 yılından itibaren her yıl %2 oranında artması durumunda**
2030	1,382	1,371	1,383
2050	1,963	1,807	1,965
2100	3,939	2,702	4,102

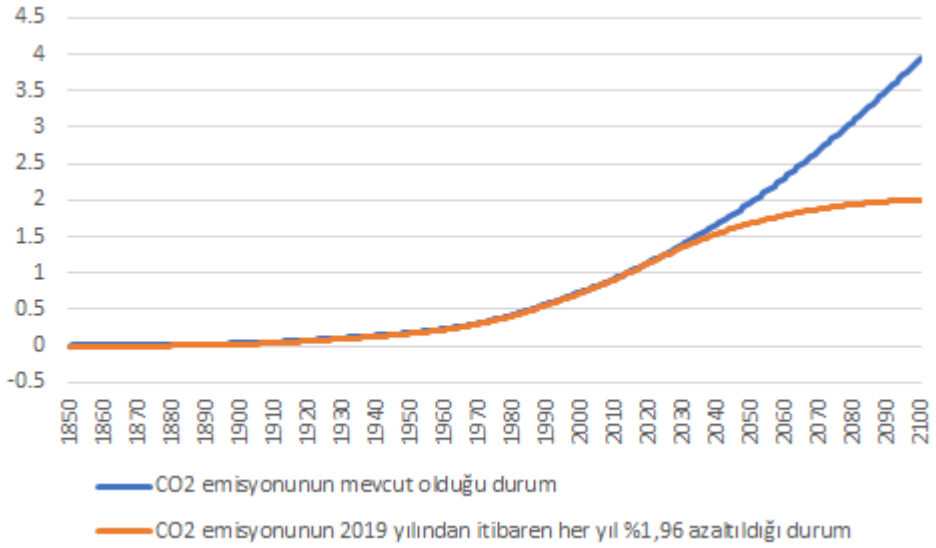
*2019 yılı sıcaklık =1,117 ºC



Şekil 3.5. CO_2 Emisyon Oranlarına Göre Yıllık Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı Değişimi

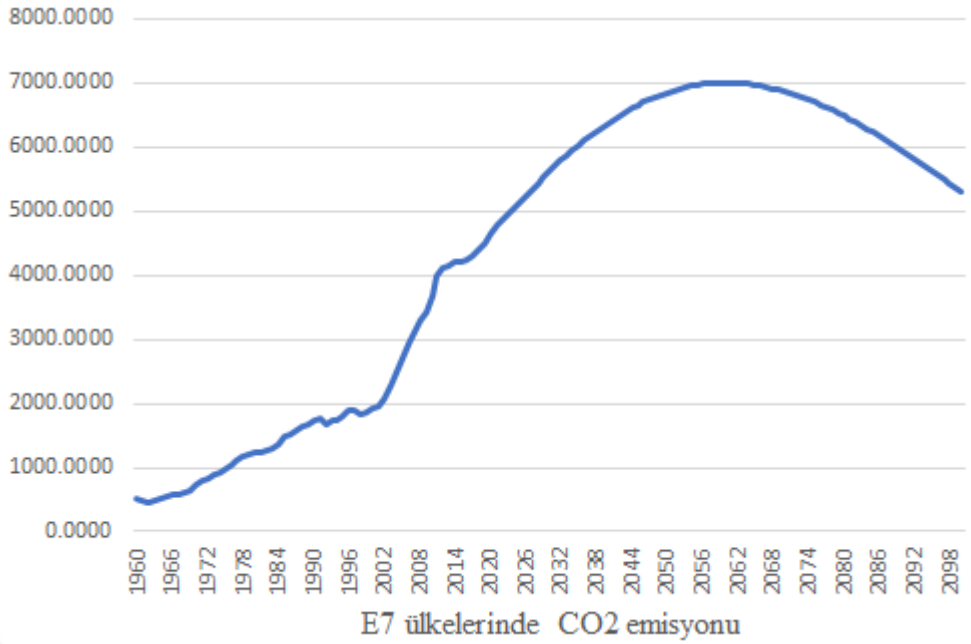
IPCC tarafından yayınlanan AR6 raporu kapsamında hazırlanan ortak sosyoekonomik yollar (SSP) olarak adlandırılan senaryolarda küresel ortalama yüzey sıcaklığı için şu tahmin yapılmıştır (IPCC,2022): "*Yüksek (SSP3-7.0) ve çok yüksek (SSP5-8.5) sera gazı emisyonu senaryoları altında, 1850–1900'e göre 2°C'lik küresel ısınmanın, 21. yüzyılda aşılacağı öngörülmektedir. Orta seviye sera gazı emisyonları senaryosunda (SSP2-4.5) 2°C'lik küresel ısınma büyük olasılıkla aşılacaktır. Çok düşük (SSP1-1.9) ve düşük (SSP1-2.6) sera gazı emisyonu senaryolarında, 2°C'lik küresel ısınmanın aşılması pek olası değildir. Orta vadeli dönemde (2041–2060), 2°C'lik küresel ısınma seviyesinin aşılması, çok yüksek sera gazı emisyonları senaryosu (SSP5-8.5) altında çok muhtemel, yüksek sera gazı emisyonları senaryosu (SSP3-7.0) altında ise muhtemeldir. Orta seviye sera gazı emisyonları senaryosunda (SSP2-4.5) ise aşılma seviyesinin gerçekleşme olasılığı gerçekleşmeme olasılığından daha muhtemeldir.*"

Bu doğrultuda tez çalışmasındaki model kapsamında 2100 yılında küresel ısınmayı 2℃'nin altında tutabilmek için küresel emisyonları 2023 yılından itibaren her yıl %1,96 sabit oranında azaltılması gerekmektedir ve bu durum şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. CO_2 Emisyon Oranlarının Yılda %1.96 Azaltılması ile Ortalama Küresel Yüzey Sıcaklığı Değişimi

Genel olarak, mevcut seviyelerle karşılaştırıldığında ve tez kapsamında enerji ve emisyon yoğunluğuyla ilgili seçimler göz önüne alındığında, karbon emisyonlarının E7 ülkelerinde önümüzdeki yüzyıl ortalarına kadar artacağını, yüzyıl sonunda günümüz emisyonlarına doğru düşüceği görülmüştür. Ayrıca analiz sonuçları E7 ülkelerinde herhangi bir emisyon azaltma oranı uygulamadan gelecekteki karbon emisyonlarını 2100 yılına kadar sabit tutmak için, bu ülkelerin enerji ve emisyon yoğunluklarını yıllık yaklaşık %0,9 oranında azaltması gerektiğini göstermiştir. Şekil 3.7'de enerji ve emisyon yoğunluklarını yıllık yaklaşık %0,9 oranında azaltması ile E7 ülkelerinin CO_2 emisyonlarında meydana gelecek değişimi göstermektedir.



Şekil 3.7. E7 Ülkelerinde CO_2 Emisyon Oranları

2023–2100 döneminde E7 ülkelerinde her yıl sırasıyla %5, %10, %20 emisyon azaltma oranı (iklim politikası) uygulanmıştır ve aşağıda emisyon oranlarına sıcaklığa etkileri ve neden oldukları maliyetler sırasıyla Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Farklı İklim Politikalarının Farklı Yıllarda CO_2 Emisyon Oranlarına Etkisi

	%0	**%5**	**%10**	**%20**
2030	5617,998	5335,575	5050,393	4473,705
2050	6845,025	6501,073	6152,852	5456,584
2100	5299,491	5036,989	4770,140	4226,116

*2023emisyon oranı=4961,821MtC

Tablo 3.6 incelendiğinde; E7 ülkelerinde herhangi bir iklim politikası uygulanmadığı durumda, 2030 yılında CO_2 emisyon oranı, 2023 yılına göre yaklaşık %13,22 oranında, 2050 yılında yaklaşık %37,95 oranında, 2100 yılında ise yaklaşık %6,81 oranında artacaktır. Her yıl düzenli olarak %5 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda 2030 yılında CO_2 emisyon oranı, 2023 yılına göre yaklaşık %7,53 oranında,

2050 yılında yaklaşık %31,02 oranında, 2100 yılında ise yaklaşık %1,51 oranında artacaktır.Her yıl düzenli olarak %10 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda 2030 yılında CO_2 emisyon oranı, 2023 yılına göre yaklaşık %1,79 oranında, 2050 yılında yaklaşık %24 oranında artacak, 2100 yılında ise yaklaşık %3,86 oranında azalma olacaktır. Her yıl düzenli olarak %20 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda 2030 yılında CO_2 emisyon oranı, 2023 yılına göre yaklaşık %9,84 oranında azalacak, 2050 yılında yaklaşık %9,77 oranında artacak, 2100 yılında ise yaklaşık %4,83 oranında tekrar azalacaktır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, CO_2 emisyon oranlarını azaltabilmek için iklim politikasının uygulanması gerektiği, her yıl aynı oranda uygulanması durumunda %5'i geçmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.7. Farklı İklim Politikalarının Farklı Yıllarda Sıcaklık Derecelerine Etkisi

	%0	**%5**	**%10**	**%20**
2030	1,382	1,382	1,381	1,380
2050	1,963	1,958	1,953	1,942
2100	3,939	3,927	3,915	3,890

*2023sıcaklık değeri=1,210℃

Tablo 3.7 incelendiğinde; E7 ülkelerinde herhangi bir iklim politikası uygulanmadığı durumda, 2030 yılında ortalama küresel yüzey sıcaklığı, 2023 yılına göre yaklaşık 0,172℃, 2050 yılında yaklaşık 0,753°C oranında, 2100 yılında ise yaklaşık 2,729 °C artacaktır. Her yıl düzenli olarak %5 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda 2030 yılında atmosferik küresel yüzey sıcaklığı 2023 yılına göre yaklaşık 0,171°C derece, 2050 yılında yaklaşık 0,748°C, 2100 yılında ise yaklaşık 2,717°C artacaktır. Her yıl düzenli olarak %10 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda 2030 yılında atmosferik küresel yüzey sıcaklığı 2023 yılına göre yaklaşık 0,170°C derece, 2050 yılında yaklaşık 0,742° C, 2100 yılında ise yaklaşık 2,704°C artacaktır. Her yıl düzenli olarak %20 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda 2030 yılında atmosferik küresel yüzey sıcaklığı 2023 yılına göre yaklaşık 0,170°C derece, 2050 yılında yaklaşık 0,732°C, 2100 yılında ise yaklaşık 2,679°C artacaktır.

Sonuç olarak; sıcaklık artışı iklim politikası uygulanması durumunda düşüş gösterse dahi tez kapsamında uygulanan tüm politikalarda sıcaklık artışı 2100'e kadar

devam etmektedir. Bunun nedeni olarak tüm ülkelerin modele dahil edilmemesi olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3.8. Farklı İklim Politikalarının Farklı Yıllarda Maliyet Oranlarına Etkisi

	%0	**%5**	**%10**	**%20**
2023	0	105,132	210,265	420,530
2030	0	125,097	264,093	594,210
2050	0	177,558	374,845	843,400
2100	0	426,161	899,674	2024,266

Tablo 3.8 incelendiğinde, her yıl düzenli olarak %5 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda bu azaltımın E7 ülkelerine maliyeti 2023 yılında yaklaşık 105,13 $/tCO$_2$eq, 2030 yılında yaklaşık 125,10 $/tCO$_2$eq, 2050 yılında $/tCO$_2$eq, 2100 yılında yaklaşık 426,16 $/tCO$_2$eq dir. Her yıl düzenli olarak %10 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda bu azaltımın E7 ülkelerine maliyeti 2023 yılında yaklaşık 210,27 $/tCO$_2$eq, 2030 yılında yaklaşık 264,10 $/tCO$_2$eq, 2050 yılında 374,85 $/tCO$_2$eq, 2100 yılında yaklaşık 899,67 $/tCO$_2$eq.'dir. Her yıl düzenli olarak %20 emisyon azaltımı uygulanması sonucunda bu azaltımın E7 ülkelerine maliyeti 2023 yılında yaklaşık 420,53 $/tCO$_2$eq, 2030 yılında yaklaşık 594,21 $/tCO$_2$eq, 2050 yılında 843,40 $/tCO$_2$eq, 2100 yılında yaklaşık 2024,26 $/tCO$_2$eq'dir.

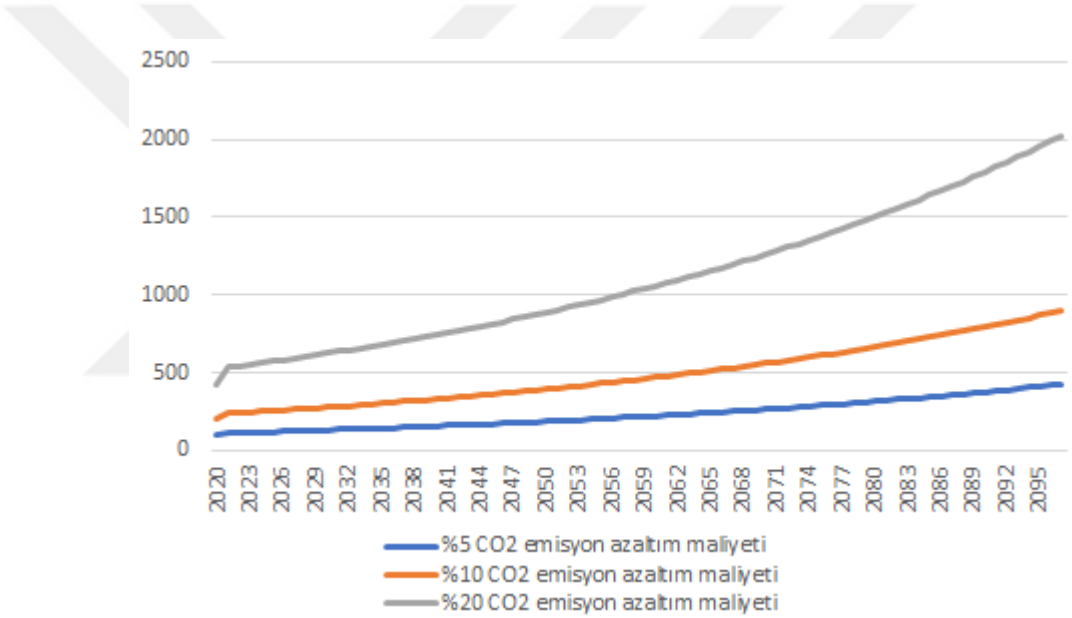
Tablo 3.9. Farklı İklim Politika Uygulamaları Sonucu Kişi Başına Tüketimde Meydana Gelen Değişim

	%0	**%5**	**%10**	**%20**
2030	13180,91	13177,14	13165,77	13120,22
2050	22079,47	22073,70	22051,98	21960,79
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2074	35001.26	35001.76	34974.45	34836.45
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2097	47187.94	47208.29	47188.59	47028.94
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2100	48610,07	48633,95	48616,17	48455,55

C_{2019}=9196,59

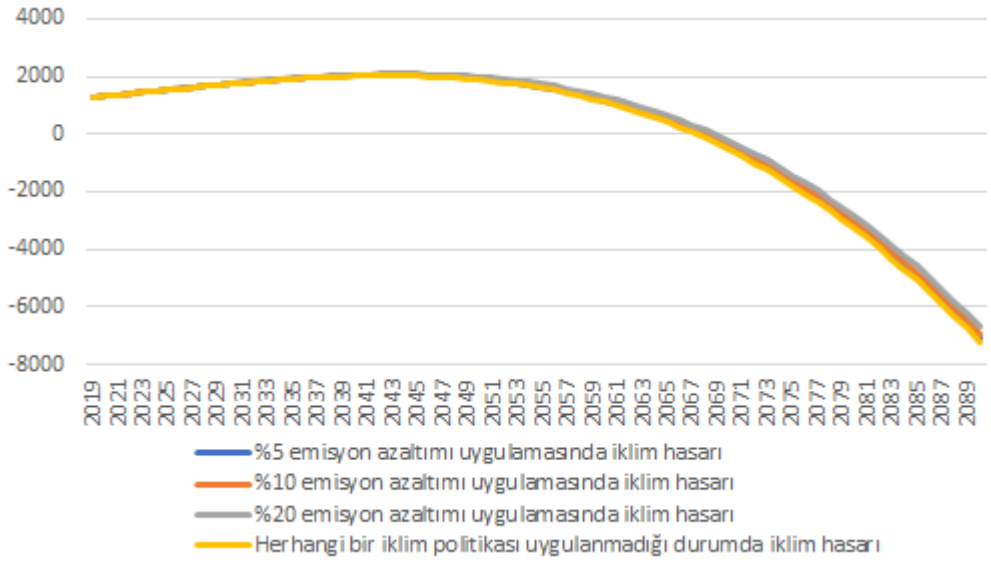
Tablo 3.9'da verilen farklı iklim politika uygulamaları sonucu kişi başına tüketimde meydana gelen değişim incelendiğinde E7 ülkelerinde kişi başına düşen tüketim mevcut(politikasız) durumda 2030 yılında 2019 yılına göre yaklaşık 1,43 kat, 2050 yılında 2,40 kat ve 2100 yılında 5,29 kat fazla olacaktır. Bu insanların gelecekte daha refah içinde olacağını dolayısıyla E7 ülkelerinin iklim değişikliğini yavaşlatma ve uyum sağlama konusunda daha hazırlıklı olabileceğini göstermektedir fakat bu durum ikilem yaratmaktadır. Emisyon politikalarının uygulanmadığı durumda ekonomik büyüme hızlı olacak fakat bu durum iklim değişikliğinin de hızlı olmasına ve ciddi zaralar doğurmasına neden olacaktır. Yavaş bir ekonomik büyüme ise iklim değişikliğine azaltacak fakat toplumu daha fakir bırakacaktır. %5 emisyon azaltma uygulandığı durumda 2030 yılında 2019 yılına göre yaklaşık 1,43 kat, 2050 yılında 2,40 kat ve 2100 yılında 5,29 kat fazla olacaktır. %10 emisyon azaltma uygulandığı durumda 2030 yılında 2019 yılına göre yaklaşık 1,43 kat, 2050 yılında 2,39 kat ve 2100 yılında 5,29 kat fazla olacaktır. %20 emisyon azaltma uygulandığı durumda 2030 yılında 2019 yılına göre yaklaşık 1,42 kat, 2050 yılında 2,38 kat ve 2100 yılında 5,26 kat fazla olacaktır. Ekonomik büyümenin olduğu iklim politikalarının uygulandığı durumda diğer bir deyişle azaltma maliyetleri ve iklim değişikliğinin hasarlarının maddi yükü düşüldükten sonra bile, E7 ülkeleri daha yüksek yaşam standartlarına sahip olacaklardır. Ayrıca, %5 emisyon azaltma oranı uygulanan kişi başına tüketimin, azaltma oranı uygulanmayan durumla karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu ilk yıl 2074 yılıdır. Bugün uygulanacak

%5 emisyon azaltımı 2074 yılında kişilere fayda sağlayacaktır. %10 emisyon azaltım oranı uygulanan kişi başına tüketimin azaltma oranı uygulanmayan durumla karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu ilk yıl 2097 yılıdır. Bugün uygulanacak %10 emisyon azaltımı 2097 yılında kişilere fayda sağlayacaktır. %20 emisyon azaltım oranı uygulanan kişi başına tüketimin azaltma oranı uygulanmayan durumla karşılaştırıldığında 2100 yılına kadar daha yüksek olduğu bir yıl yoktur. Dolayısla bugün uygulanacak %20 emisyon azaltımı 2100 yılına kadar kişilere fayda sağlayamayacak bunun için daha uzun yıllar gerekecektir. Şekil 3.8'de farklı emisyon azaltma oranlarının ekonomiye getirdiği yükler gösterilmiştir. Emisyon azaltım oranı arttıkça ekonomiye olan maliyetininde arttığı görülmektedir.



Şekil 3.8. E7 Ülkelerinde Farklı Emisyon Azaltım Oranlarının Maliyetleri

Şekil 3.9'da farklı emisyon azaltma oranları ile iklim değişikliğinin neden olduğu hasarlar gösterilmiştir. Emisyon azaltım oranları arttırılsa dahi iklim üzerindeki etkisinde meydana gelen değişimlerin küçük olması iklim değişikliğinin etkilerinin yavaş onarılabildiğini göstermektedir.



Şekil 3.9. E7 Ülkelerinde Farklı Emisyon Azaltım Oranlarının İklim Değişikliği Etkileri

Mevcut politika tarafından zorunlu kılınanların ötesinde önemli bir küresel emisyon azaltımı olmaması durumunda, 2100 yılında E7 ülkelerinin kişi başına GSYİH'sında iklim değişikliğinden kaynaklı yaklaşık %3,362'lik bir azalma olacaktır. Bu E7 ülkeleri için 7,2 milyar dolar kayıp demektir. Başka bir ifade ile, yaklaşık 2,7ºC küresel ısınmanın E7 ülkelerinde ortalama bir insanın gelirinin %3,362'sini kaybetmiş gibi hissetmesine neden olacaktır.

Modelde ilk olarak karbonun sosyal maliyeti herhangi bir iklim politkasının uygulanmadığı varsayımı altında hesaplanmış ve karbonun sosyal maliyet tahmini ortalama %3'lük yakın dönem iskonto oranı için 2023'de 123,253 $/tCO$_2$'dir. 2023 yılından itibaren %5 emisyon azaltım politikası uygulanması durumundan CO_2 emisyonlarını fazladan bir ton azaltmak 122,681 $/tCO$_2$ ek hasara neden olacaktır. 2023 yılından itibaren %10 emisyon azaltım politikası uygulanması durumundan CO_2 emisyonlarını fazladan bir ton azaltmak 122,179 $/tCO$_2$ ek hasara neden olacaktır. 2023 yılından itibaren %20 emisyon azaltım politikası uygulanması durumundan CO2 emisyonlarını fazladan bir ton azaltmak 121,385 $/tCO$_2$ ek hasara neden olacaktır. E7 ülkelerinde uygulanacak bir ton karbondioksit başına ortalama 122,082 $/tCO$_2$ dolarlık bir verginin, küresel ısınmayı sanayi öncesi seviyelere göre ortalama 0,03 ºC azaltacağı tahmin edilmiştir. Bu verginin dünya çapında uygulandığı düşünülürse küresel ısınmayı

önemli derecede azaltacağı açıktır. Dolayısıyla bu emisyon azaltmaya para harcamanın ne kadar mantıklı olduğunu göstermektedir.

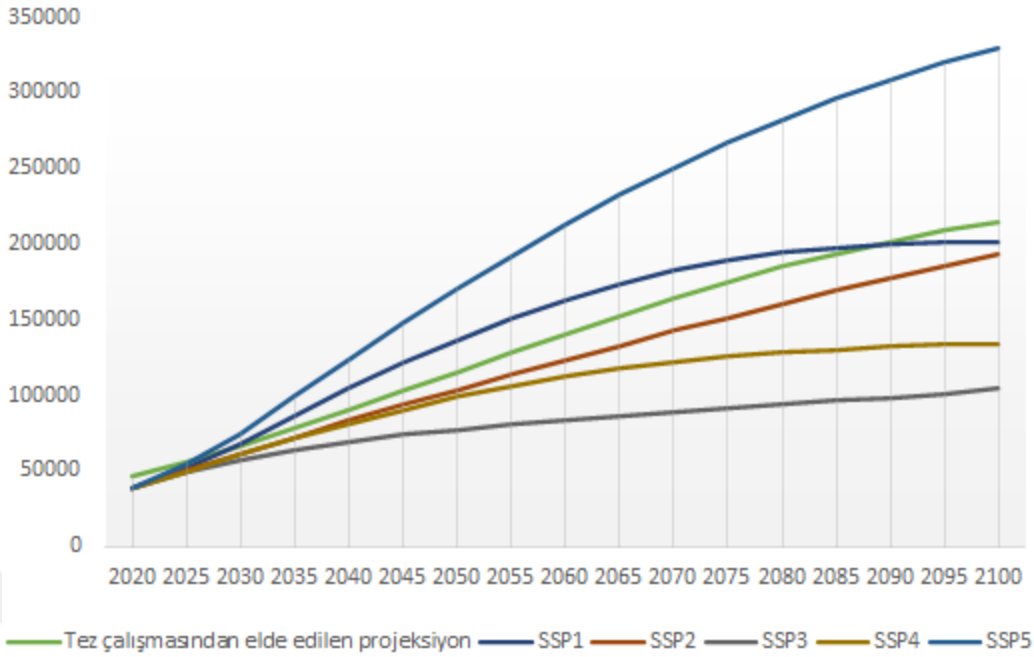
Ayrıca tahmin edilen SCC değeri literatürdeki birçok çalışmadan daha yüksektir. Literatürde son yıllarda yapılan çalışmalar düşük SCC değerlerinin CO_2 emisyonlarından kaynaklanan toplumsal zararları muhtemelen hafife aldığını ifade etmiştir (Hickey, 2022b). Örneğin; US IWG tarafından 2020 yılında ABD'nin SCC'si 51$ olarak belirlenmiştir. Fakat Carleton ve Greenstone (2022), US IWG'nin SCC'yi güncellemesini ve derhal 125$ yükseltilmesi gerektiğini savunmuştur. Moore ve Diaz (2015) modellemede ekonomik büyüme varsayımları üzerindeki sıcaklık etkilerinin uygulanmasının 220$'lık bir SCC ile sonuçlanacağını öne sürmüştür. Ricke vd. (2018), değerin 417 $ olması gerektiğini öne sürmüştür. Bu tez çalışmasında SCC'nin yüksek çıkmasının birkaç sebebi olduğu düşünülmektedir. İlk sebebin, kullanılan ekonomik büyüme modeli olduğu düşünülmektedir.Bir entegre değerlendirme modelinin ekonomik büyüme modeline içsel teknolojik değişimin dahil edilmesi, sistemin veriminin artmasına ve çıktının büyümesinin hızlanmasına neden olmaktadır.Tez çalışmasının literatüre asıl katkısı entegre değerlendirme modelinin ekonomik büyüme kısmında Jones büyüme modelinin kullanılmasıdır. Literartürdeki diğer entegre değerlendirme modellerinde yaygın olarak kullanılan Solow büyüme modeli ve Romer büyüme modeli ile Jones büyüme modeli karşılaştırılmıştır. Diğer tüm koşullar aynı olmak koşuluyla entegre değerlendirme modelinde Solow büyüme modeli kullanıldığında E7 ülkeleri için SCC değeri 75,695$, Romer büyüme modeli kullanıldığında E7 ülkeleri için SCC değeri 112,780$ olarak bulunmuştur. Tez çalışmasında bulunan 123,253$ 'lık değer bu iki modele göre hesaplanan değerlerden büyüktür. Bu sonuçlar şu şekilde yorumlanmıştır: E7 ülkelerinde Jones büyüme modeli kullanıldığında ekonomi daha hızlı büyümüş ve bu durumdan kaynaklı olarak karbonunun sosyal maliyeti daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca Tol (2019a)'un çalışmasının sonuçlarında gösterildiği gibi ülkelerin nüfusunun büyük olması, karbonun sosyal maliyetinin yüksek olmasına neden olmaktadır.

Doğrusal olmayan optimizasyon sonuçlarına göre; E7 ülkelerinin refahını maksimize eden en uygun politika, her yıl farklı emisyon oranları kullanılması ile beraber ortalama %3,54 emisyon azaltma oranıdır. Bu emisyon azaltma oranı ile 2023 yılından itibaren CO_2 emisyonlarını bir ton azaltmanın E7 ülkelerine maliyeti 122.84 $/t$CO_2$ olacaktır.

Literatürde SCC güncel tahminleri genellikle IPCC'nin raporlarında belirlediği politikalardan ve US IWG'nin belirlediği ortalama fiyattan oldukça yüksektir. ABD Ulusal Bilim, Mühendislik ve Tıp Akademileri (NASEM) tarafından hazırlanan (2017) tarihli bir raporda ise, mevcut SCC tahminlerinin artık en son araştırmaları yansıtmadığının altı çizilmiştir (Dolphin, 2022). Mevcut politika önerileri 2021 yılı için karbonun sosyal maliyetinin 51$(IWG US, 2021) ile 184$ (Rennert vd., 2021) arasında değiştiğini göstermiştir. Fakat ekonomistler ve iklim bilimcileri arasında yakın zamanda yapılan bir çalışmada, karbonun sosyal maliyetinin ortalama 171$ -310 $ arasında olması gerektiği ortaya konmuştur (Pindyck, 2019).

Karbonun sosyal maliyetinin tahminlerini iyileştirmek, kapsamlı iklim azaltma ve uyum politikaları tasarlamak için belirsizlik altında maliyet değerinin tahmin edilmesindeki pek çok zorluk devam etmektedir. Çünkü SCC tahmini olasılıklı sosyoekonomik projeksiyonlardan, seçilen iklim modellerinden, hasar fonksiyonlarından ve iskonto yöntemlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir (Hope, 2015; Metcalf ve Stock, 2017; Stern ve Stiglitz, 2021; Wagner, 2021).

IPCC'nin AR5 raporunda verilen Ortak Sosyoekonomik Yollar (SSP) olarak adlandırılan senaryolar ile tez çalışmasından elde edilen ekonomik büyüme projeksiyonu karşılaştırılmıştır. 2100 yılına kadar dünya çapındaki GSYİH projeksiyonları, 5 farklı senaryo için mevcuttur. Bu senaryoların hazırlanmasında IIASA, OECD ve PIK olmak üzere üç modelleme ekibi çalışmıştır. Her ekip, farklı büyüme dinamiklerine sahip modeller kullanarak projeksiyonları elde etmiştir ancak her üç modelde de büyümenin birincil girdilerindeki artışlar, işgücünü artıran verimlilik iyileştirmeleri ve teknoloji stoğu tarafından yönlendirilmesi anlamında karşılaştırılabilirdir (Crespo Cuaresma, 2017; Dellink vd., 2017; Leimbach vd., 2017). Ancak, bu girdilerin ekonomik büyümeyi etkileme derecesi her modelde farklılık göstermektedir. IIASA modeli, beşeri sermaye artışlarının neden olduğu büyümeye daha fazla vurgu yaparken, OECD ve PIK modeli uzun vadeli teknoloji stoğu artış oranına daha fazla ağırlık vermektedir. OECD modelleme ekibinin 5 senaryo kapsamındaki projeksiyonları ile tez çalışmasından elde edilen projeksiyonlar karşılaştırıldığında ortalama E7 ülkelerinin GSYİH projeksiyonlarının SSP2 senaryosundan biraz yüksek olup SSP1 ve SSP2 arasında olduğu şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Kaynak : SSP Veritabanı Versiyon 2.0 ve Tez sonuçları

Şekil 3.10.OECD Tarafından E7 Ülkeleri için Hazırlamış Olduğu SSP'ler ile Tez Çalışmasından Elde Edilen Ekonomik Büyüme Projeksiyonlarının Karşılaştırılması

SONUÇ

Küresel ortalama yüzey sıcaklıklarındaki ve aşırı hava olaylarındaki artış ile kendini göstermeye başlayan iklim değişikliğinin sonuçları tüm ekonomik faaliyetlerin bağlı olduğu ekosistem dengesinde bozulmalara yol açmaktadır. İklim değişikliğinin sosyoekonomik etkilerinin incelenmesi ve tüm boyutlarının birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu nedenle iklim değişikliği meselesi büyük ölçüde makroekonomik bir meseledir. Sera gazı emisyonlarını azaltmak dolayısıyla iklim değişikliğini hafifletmek, tüm ekonomiyi etkileyen enerji üretimi ve tüketimi ile ilgili davranışlarda köklü bir değişiklik anlamına gelmektedir.

1990'ların sonlarından bu yana merkez bankaları tarafından tüm makroekonomik değişkenleri tahmin etmek, mali ve iktisadi politikalar oluşturmak ve değerlendirmek için dinamik stokastik genel denge modellerinin kullanılması gibi entegre değerlendirme modellerinin de iklim değişikliği ile mücadele de benzer rol oynaması amaçlanmaktadır. Diğer bir ifade ile, entegre değerlendirme modelleri, iklim değişikliğinden sorumlu insan faaliyetlerinden kaynaklı CO_2 emisyonlarını azaltmaya yönelik politikalarının oluşturulmasında ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

İklim değişikliği ile daha iyi başa çıkabilmek için, değişen sera gazı konsantrasyonlarının sonuçlarını değerlendirmek önemlidir. E7 gibi gelişmekte olan ülkeler hızla artan enerji tüketim seviyeleri ve bunun sonucunda ortaya çıkan CO_2 emisyonları ile iklim değişikliğine en çok neden olan ve aynı zamanda iklim değişikliğine bağlı risklere daha fazla maruz kalan ülkelerdir. Bu risklerin ortaya çıkmasını engellemek ve sosyoekonomik etkilerini azaltmak için birtakım önlemlerin alınması gerekmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin temsilcisi olarak görülen E7 ülkeleri daha fazla zorlukla karşı karşıyadır E7 ülkelerinin ekonomisi, büyük ölçüde doğal kaynak sermayesinin durumuna bağlı olan enerji, tarım, turizm gibi bir dizi sektörü içermektedir. Bu nedenden bu ekonomiler büyük ölçüde gelecekteki küresel iklime bağımlı hale gelecektir. Dolayısıyla bu ülkeler enerji verimliliğini artırma, çevre kirliliğini azaltma, CO_2 emisyonunu azaltma stratejilerini teşvik etme ve ekonomik büyüme sağlama görevlerine aynı anda sahiptirler. Bu bağlamda iklim değişikliği ile mücadelede ulaşılabilir hedefler belirlemek için iklim değişikliğinin etkilerini tahmin edebilmek ve iktisadi politikaları değerlendirebilmek için araçlara sahip olmak oldukça önemlidir.

Literatürde iklim değişikliğinin sosyoekonomik etkilerinin modellenmesi için birbirinden farklı entegre değerlendirme modelleri yer almaktadır. Bu tez çalışmasında E7 ülkeleri için iklim değişikliğinin sosyoekonomik etkileri hakkında fikir edinebilmek, fayda-maliyet analizini yapabilmek ve optimal bir iklim politikası geliştirebilmek için yarı endojen büyüme modeli olan Jones büyüme modeli kullanılarak entegre değerlendirme modeli yaklaşımı sunulmuştur.

Tez çalışmasının bulguları üç grupta toplanmıştır. İlk olarak oluşturulan entegre değerlendirme modelinde ekonomik büyüme arkasındaki itici gücün teknolojik gelişme olduğunu varsayan Jones büyüme modeli kullanılmıştır. E7 ülkelerinin ekonomik büyümesinin daha iyi bir temsilini bulabilmek için, Jones büyüme modeli 2100 yılına kadar simüle edilmiş ve gelecekteki ekonomik büyüme yörüngesi %95 güven aralığında tahmin edilmiştir. Bu bağlamda gelecekteki ekonomik büyüme yörüngelerinin güven aralıklarını belirlemek için ekonomik büyüme oranını belirleyen η_A ve η_L parametrelerinin çok değişkenli bir normal dağılıma sahip olduğu varsayılarak veri üretilmiştir. Bu dağılımdan, her iki parametre için rassal olarak temsili bir örneklem seçilmiştir. Seçilen her η_A ve η_L kombinasyonu için Jones büyüme modeli çözülmüştür ve karşılık gelen kişi başına gelir projeksiyonu %95 güven aralığı ile elde edilmiştir. Daha sonra güven aralığından beklenen çıktı ile gözlemlenen çıktı arasındaki hatayı minumum yapan parametreler Hessian matrisi ile seçilmiştir.

İkinci bulgu olarak, çalışma kapsamında E7 ülkeleri için optimal iklim politikası belirlenmiştir. Kurulan entegre değerlendirme modeli sosyal refah maksimizasyon problemini ele alan bir model olduğu için fayda fonksiyonu (sosyal refah fonksiyonu) belirlendikten sonra, E7 ülkeleri için bu fonksiyonu maksimize edecek optimal iklim politikası %3,54 olarak belirlenmiştir. Bu politika oranı tüm varsayımlar göz önüne alındığında, muhtemelen en yüksek iskonto edilmiş faydayı sağlayacak orandır ve E7 ülkeleri için optimal karbon vergisi olarak düşünülmektedir.

Tez çalışmasının üçüncü bulgusu ise E7 ülkeleri için karbonun sosyal maliyetinin belirlenmesidir. Bu ülkeler için karbonun sosyal maliyeti herhangi bir iklim politikasının uygulanmadığı durumda $\rho = \%0,2$ ve $\eta = 1,24$ değerleriyle ortalama %3'lük yakın dönem iskonto oranı için 2023'de 123,253 \$/tCO_2 olarak tahmin edilmiştir. Karbonun sosyal maliyeti, iklim değişikliğini azaltmanın potansiyel ekonomik faydalarının bir göstergesi olduğundan, azaltmaya yönelik stratejiler hakkında kararlar almak için

gereklidir. Ne yazık ki, ampirik kanıt ve ekonomik teori eksikliğinden dolayı iklim değişikliğinden kaynaklanan hasarları tahmin etmede önemli bir belirsizlik vardır. SCC, hasar fonksiyonunun uygun biçimini belirleme, hangi iskonto oranının kullanılacağına karar verme, iklim değişikliğinin doğasındaki belirsizlik ve ekonomik çıktı gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. SCC'nin daha kesin olarak tahmin edilebilmesi için daha fazla araştırmanın iklim değişikliğinden kaynaklı hasarları ölçmeye çalışması gerekmektedir. Böylece karbonun fiyatı daha doğru tahmin edilebilecektir. E7 ülkelerinde azaltma politikası uygulanması küresel sıcaklığı 0,03°C düşürmüştür. Bu sonuç, küresel bir işbirliği ile yüzyıl boyunca ortalama küresel yüzey sıcaklığını 2°C olan Kopenhag hedefinin altına düşürmeye yönelik çabaların sonuç verebileceğini göstermektedir.

Ekonomi gibi doğrusal olmayan dinamik bir sisteme ve uzun vadeli sosyoekonomik projeksiyonlar geliştirmeye yönelik tüm yaklaşımlarda hangi tür model kullanılırsa kullanılsın sonuçların tatmin edici ve daha güvenilir olması pek mümkün olmasa da iklim değişikliği sorunuyla yüzleşmek ve sosyal olarak arzu edilen bir politika tasarlamak için gerekli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca nicel sonuçlar, modeldeki mekanizmalar için bir sezgi sağlamakta ve mevcut modeli diğer modellerle karşılaştırmaya izin vermektedir. Bu da gelecek araştırmalar için katkı sağlamaktadır. Fakat iklim değişikliğinin yapısındaki belirsizlikten dolayı entegre değerlendirme modellerinin sonuçlarının sürekli olarak güncellenmeleri ve değişen ekonomik ve bilimsel bulgulara karşı dikkatli olunması gerekmektedir.

PWC raporunda küresel ekonominin ağırlığının E7 ülkelerine kaymaya başladığı ve bu ülkelerin gelecekte dünya çapında etkili ekonomik güç merkezlerine dönüşeceği ifade edilmiştir. E7 ülkeleri, ekonomik büyümelerinden kaynaklı karbon yoğun enerji kullanımı yüzünden gelecekteki küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Bu nedenle bu ülkeler karbon vergisi uygulamanın yanı sıra enerjiyi daha verimli kullanmaları gerekmektedir Bu nedenle, CO_2 emisyonlarını kontrol etmek için enerji tasarruflu ve enerji verimli politikalar izlemelidir.

Özetlemek gerekirse; iklim değişikliği konusunda şu anda yapılması gereken en önemli şey uluslararası eylem çağrılarını göz ardı etmemek ve gerçekçi ve bilimsel kanıtlara dayalı ulusal politikalar belirleyerek emisyon salınımını kontrol altına almaktır. Bu önlemler başlangıçta ceza gibi görünse de erkenden alınmadığı takdirde uzun vadede

daha maliyetli ve zorlayıcı olacaktır. Ayrıca, E7 ülkelerinde emisyonların azaltılabilmesi için karbon yoğun üretimden, temiz üretim süreçlerine geçişin yapılması gerekmektedir. İlk aşamada yapılması gereken enerji üretimini kömürden doğalgaza ve diğer karbon nötr kaynaklara kaydırmaktır. Uzun vadede en umut verici yol ise düşük karbon veya karbon nötr yeni ve gelişmiş teknolojilerin kullanılmasıdır.

KAYNAKLAR

Abram, N. J., Henley, B. J., Gupta, A. Sen, Lippmann, T. J. R., Clarke, H., Dowdy, A. J., Sharples, J. J., Nolan, R. H., Zhang, T., Wooster, M. J., Wurtzel, J. B., Meissner, K. J., Pitman, A. J., Ukkola, A. M., Murphy, B. P., Tapper, N. J., & Boer, M. M. (2021). Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. *Communications Earth and Environment*, *2*. https://doi.org/10.1038/S43247-020-00065-8

Ackerman, F., DeCanio, S. J., Howarth, R. B., & Sheeran, K. (2009). Limitations of integrated assessment models of climate change. *Climatic Change*, *95*(3–4), 297–315. https://doi.org/10.1007/s10584-009-9570-x

Adger, W. N., Huq, S., Brown, K., Conway, D., & Hulme, M. (2003). Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies*, *3*, 179–195. https://doi.org/10.1191/1464993403ps060oa

Akpan, U. F., & Akpan, G. E. (2012). The Contribution of Energy Consumption to Climate Change: A Feasible Policy Direction. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *2*(1), 21–33. www.econjournals.com

AMAP. (2021). *AMAP Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts*.

Anwar, A., Chaudhary, A. R., & Malik, S. (2022). Modeling the macroeconomic determinants of environmental degradation in E-7 countries: The role of technological innovation and institutional quality. *Journal of Public Affairs*. https://doi.org/10.1002/PA.2834

Archer, D. (2010). *The Global Carbon Cycle*. Princeton University Press .

Arnason, R. (2007). Climate change and fisheries: Assessing the economic impact in Iceland and greenland. *Natural Resource Modeling*, *20*(2), 163–197. https://doi.org/10.1111/J.1939-7445.2007.TB00205.X

Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, *9*(SUPPL.), S31–S49. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00017-5

Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. In *Philosophical Magazine and Journal of Science Series* (Vol. 5). http://www.globalwarmingart.com/

Arrow, K. J. (1962). *The Economic Implications of Learning by Doing* (Vol. 29, Issue 3). https://about.jstor.org/terms

Bahn, O., Drouet, L., Edwards, N. R., Haurie, A., Knutti, R., Kypreos, S., Stocker, T. F., & Vial, J. P. (2006). The coupling of optimal economic growth and climate dynamics. *Climatic Change*, *79*(1–2), 103–119. https://doi.org/10.1007/s10584-006-9108-4

Barker, T., Pun, H., Köhler, J., Warren, R., & Winne, S. (2006). Decarbonizing the Global Economy with Induced Technological Change: Scenarios to 2100 using E3MG. *The Energy Journal*, *27*(Special Issue #1), 241–258. https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VOLSI2006-NOSI1-12

Birol, F. (2022). The global energy crisis highlights the need for a massive surge in clean energy investment. In *FINANCE & DEVELOPMENT* (Vol. 5).

Boehm, S., Jeffery, L., Levin, K., Hecke, J., Schumer, C., Fyson, C., Majid, A., Jaeger, J., Nilsson, A., Naimoli, S., Thwaites, J., Cassidy, E., Waite, R., Wilson, R., Castellanos, S., Singh, N., Lee, A., & Geiges, A. (2022). State of Climate Action 2022. *World Resources Institute*. https://doi.org/10.46830/wrirpt.22.00028

Bonen, A., Semmler, W., & Klasen, S. (2014). *Economic Damages from Climate Change: A Review of Modeling Approaches "Economic Damages from Climate Change: A Review of Modeling Approaches*. www.economicpolicyresearch.org

Bosello, F., Nicholls, R. J., Richards, J., Roson, R., Tol, R. S. J., Bosello, F., Nicholls, R. J., Richards, J., Roson, R., & Tol, R. S. J. (2012). Economic impacts of climate

change in Europe: sea-level rise. *Climatic Change*, *112*, 63–81. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0340-1

Bosetti, V., Carraro, C., Galeotti, M., Massetti, E., & Tavoni, M. (2006). WITCH A World Induced Technical Change Hybrid Model. In *Source: The Energy Journal* (Vol. 27).

BP. (2023). *BP Energy economics Statistical Review of World Energy [Dataset]*. https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html

Bretschger, L., & Pattakou, A. (2019). As Bad as it Gets: How Climate Damage Functions Affect Growth and the Social Cost of Carbon. *Environmental and Resource Economics*, *72*(1), 5–26. https://doi.org/10.1007/S10640-018-0219-Y/FIGURES/12

Budolfson, M., Dennig, F., Fleurbaey, M., Scovronick, N., Siebert, A., Spears, D., & Wagner, F. (2019). Optimal Climate Policy and the Future of World Economic Development. *World Bank Economic Review*, *33*(1), 21–40. https://doi.org/10.1093/WBER/LHX016

Burke, M., Craxton, M., Kolstad, C. D., Onda, C., Allcott, H., Baker, E., Barrage, L., Carson, R., Gillingham, K., Graf-Zivin, J., Greenstone, M., Hallegatte, S., Hanemann, W. M., Heal, G., Hsiang, S., Jones, B., Kelly, D. L., Kopp, R., Kotchen, M., … Tol, R. S. J. (2016). Opportunities for advances in climate change economics. *Science*, *352*(6283), 292–293. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAD9634

Burke, M., Davis, W. M., & Diffenbaugh, N. S. (2018). Large potential reduction in economic damages under UN mitigation targets. *Nature 2018 557:7706*, *557*(7706), 549–553. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0071-9

Cai, Y., & Lontzek, T. S. (2019). The Social Cost of Carbon with Economic and Climate Risks. *Https://Doi.Org/10.1086/701890*, *127*(6), 2684–2734. https://doi.org/10.1086/701890

Calel, R., & Stainforth, D. A. (2017). On the physics of three integrated assessment models. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *98*(6), 1199–1216. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0034.1

Callendar, G. S. (1938). *The Artificial Production of CarbonDioxide and its influence on Temperature*.

Calvin, K., & Bond-Lamberty, B. (2018). Integrated human-earth system modeling—state of the science and future directions. *Environmental Research Letters*, *13*(6), 063006. https://doi.org/10.1088/1748-9326/AAC642

Calvin, K., Patel, P., Clarke, L., Asrar, G., Bond-Lamberty, B., Cui, R. Y., Di Vittorio, A., Dorheim, K., Edmonds, J., Hartin, C., Hejazi, M., Horowitz, R., Kyle, P., Kim, S., Link, R., Mcjeon, H., Smith, S. J., Snyder, A., Waldhoff, S., & Wise, M. (2019). GCAM v5.1: representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems. *Geosci. Model Dev*, *12*, 677–698. https://doi.org/10.5194/gmd-12-677-2019

Calvin, K., Patel, P., Clarke, L., Asrar, G., Bond-Lamberty, B., Yiyun Cui, R., Di Vittorio, A., Dorheim, K., Edmonds, J., Hartin, C., Hejazi, M., Horowitz, R., Iyer, G., Kyle, P., Kim, S., Link, R., Mcjeon, H., Smith, S. J., Snyder, A., … Wise, M. (2019). GCAM v5.1: Representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems. *Geoscientific Model Development*, *12*(2), 677–698. https://doi.org/10.5194/gmd-12-677-2019

Carbon Brief. (2018, January 15). *How do climate models work?* https://www.carbonbrief.org/qa-how-do-climate-models-work/

Carleton, T. A., & Hsiang, S. M. (2016). Social and economic impacts of climate. *Science (New York, N.Y.)*, *353*(6304). https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAD9837

Carleton, T., & Greenstone, M. (n.d.). *Updating the United States Government's Social Cost of Carbon*.

Cavicchioli, R., Ripple, W. J., Timmis, K. N., Azam, F., Bakken, L. R., Baylis, M., Behrenfeld, M. J., Boetius, A., Boyd, P. W., Classen, A. T., Crowther, T. W., Danovaro, R., Foreman, C. M., Huisman, J., Hutchins, D. A., Jansson, J. K., Karl, D. M., Koskella, B., Mark Welch, D. B., … Webster, N. S. (2019). Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology 2019 17:9*, *17*(9), 569–586. https://doi.org/10.1038/s41579-019-0222-5

Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D., & Pauly, D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, *16*(1), 24–35. https://doi.org/10.1111/J.1365-2486.2009.01995.X

Clarke, B., Otto, F., Stuart-Smith, R., & Harrington, L. (2022). Extreme weather impacts of climate change: an attribution perspective. *Environmental Research: Climate*, *1*(1), 012001. https://doi.org/10.1088/2752-5295/AC6E7D

Clarke, L. (2007). *Modeling the Oil Transition: A Summary of the Proceedings of the DOE/EPA Workshop on the Economic and Environmental Implications of Global Energy Transitions-Energy Sector Evolutions: a scenario perspective from MiniCAM*. http://www.osti.gov/contact.html

Climate Change 2021: The Physical Science Basis | Climate Change 2021: The Physical Science Basis. (n.d.). Retrieved March 25, 2023, from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Cooper, A., Livermore, S., Rossi, V., Wilson, A., & Walker, J. (1999). The Economic Implications of Reducing Carbon Emissions: A Cross-Country Quantitative Investigation using the Oxford Global Macroeconomic and Energy Model. *Source: The Energy Journal*, *20*, 335–365.

COP15. (2022). *Drought in Numbers*.

Crespo Cuaresma, J. (2017). Income projections for climate change research: A framework based on human capital dynamics. *Global Environmental Change*, *42*, 226–236. https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2015.02.012

Crimmins, A., Balbus, J., Gamble, J. L., Beard, C. B., Bell, J. E., Dodgen, D., Eisen, R. J., Fann, N., Hawkins, M. D., Herring, S. C., Jantarasami, L., Mills, D. M., Saha, S., Sarofim, M. C., Trtanj, J., & Ziska, L. (2016). *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. https://doi.org/10.7930/J0R49NQX

Dechezleprêtre, A., Fabre, A., Kruse, T., Planterose, B., Sanchez Chico, A., Stantcheva, S., & Fabre ETH Zurich Zuerichberstrasse, A. (2022). Fighting Climate Change: International Attitudes Toward Climate Policies. *NBER Working Paper*. http://www.nber.org/data-appendix/w30265

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, *4*(3), 66–95. https://doi.org/10.1257/MAC.4.3.66

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2014). What Do We Learn from the Weather? The New Climate–Economy Literature. *Journal of Economic Literature*, *52*(3), 740–798. https://www.jstor.org/stable/24434109

Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., & Magné, B. (2017). Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, *42*, 200–214. https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2015.06.004

Demir, A. (2009). Küresel İklim Değişikliğinin Biyolojik Çeşitlilik ve Ekosistem Kaynakları Üzerine Etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, *1*(2), 37–54.

Dennig, F., Budolfson, M. B., Fleurbaey, M., Siebert, A., & Socolow, R. H. (2015). Inequality, climate impacts on the future poor, and carbon prices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*(52), 15827–15832.https://doi.org/10.1073/1513967112

Dietz, S., Hepburn, C., & Stern, N. (2009). Economics, Ethics and Climate Change. In K. Basu & R. Kanbur (Eds.), *Arguments for a better world Essays in Honor of Amartya Sen Volume II: Society, Institutions, and Development*.

Dietz, S., & Matei, N. A. (2016). Spaces for Agreement. *Source: Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, *3*(1), 85–130. https://doi.org/10.2307/26544407

Disrupting health, driving disease transmission and worsening non-communicable diseases: we can act now to curb the impact of climate change on people's health. (n.d.). Retrieved March 26, 2023, from https://blogs.worldbank.org/health/disrupting-health-driving-disease-transmission-and-worsening-non-communicable-diseases-we-can-act

Dolphin, G. (2022). *Carbon prices in time and space*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1673365/v1

Duan, Y., Xiong, J., Cheng, W., Li, Y., Wang, N., Shen, G., & Yang, J. (2022). Increasing Global Flood Risk in 2005–2020 from a Multi-Scale Perspective. *Remote Sensing 2022, Vol. 14, Page 5551*, *14*(21), 5551. https://doi.org/10.3390/RS14215551

Dullinger, S., Gattringer, A., Thuiller, W., Moser, D., Zimmermann, N. E., Guisan, A., Willner, W., Plutzar, C., Leitner, M., Mang, T., Caccianiga, M., Dirnböck, T., Ertl, S., Fischer, A., Lenoir, J., Svenning, J. C., Psomas, A., Schmatz, D. R., Silc, U., … Hülber, K. (2012). Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first-century climate change. *Nature Climate Change 2012 2:8*, *2*(8), 619–622. https://doi.org/10.1038/nclimate1514

ECMWF. (2022). *Global Climate Highlights 2022 | Copernicus*. https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2022

Edenhofer, O., Lessmann, K., & Bauer, N. (2006a). Mitigation Strategies and Costs of Climate Protection: The Effects of ETC in the Hybrid Model MIND. *Source: The Energy Journal*, *27*, 207–222.

Edenhofer, O., Lessmann, K., & Bauer, N. (2006b). Mitigation Strategies and Costs of Climate Protection: The Effects of ETC in the Hybrid Model MIND. *Source: The Energy Journal*, *27*, 207–222.

Elmacıoğlu, L. (2023, March 17). *Sel sonrası can kaybı artıyor… "İklim değişikliği devlet kurumlarından çok daha hızlı ilerliyor" | Independent Türkçe*. INDEPENDENT . https://www.indyturk.com/node/617231/haber/sel

EPA. (2010). *EPA Analysis of the American Power Act*. www.epa.gov/climatechange/economics/economicanalyses

EPA. (2016). *SOCIAL COST OF CARBON* . http://sites.nationalacademies.org/DBASSE/BECS/CurrentProjects/DBASSE_167526

Estrada, F., Calderón-Bustamante, O., Botzen, W., Velasco, J. A., & Tol, R. S. J. (2022). AIRCC-Clim: A user-friendly tool for generating regional probabilistic climate change scenarios and risk measures. *Environmental Modelling & Software*, *157*, 105528. https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2022.105528

Farmer, J. D., Hepburn, C., Mealy, P., & Teytelboym, A. (2015a). A Third Wave in the Economics of Climate Change. *Environmental and Resource Economics 2015 62:2*, *62*(2), 329–357. https://doi.org/10.1007/S10640-015-9965-2

Farmer, J. D., Hepburn, C., Mealy, P., & Teytelboym, A. (2015b). A Third Wave in the Economics of Climate Change. *Environmental and Resource Economics 2015 62:2*, *62*(2), 329–357. https://doi.org/10.1007/S10640-015-9965-2

Faulwasser, T., Kellett, C. M., & Weller, S. R. (2018). MPC-DICE: An open-source Matlab implementation of receding horizon solutions to DICE. *IFAC-PapersOnLine*, *51*(5), 120–125. https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2018.06.221

Foote, E. N. (1856). Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays. *American Journal of Science and Arts*, *XXII*, 382–383.

Ford, J. D., Zavaleta-Cortijo, C., Ainembabazi, T., Anza-Ramirez, C., Arotoma-Rojas, I., Bezerra, J., Chicmana-Zapata, V., Galappaththi, E. K., Hangula, M., Kazaana, C., Lwasa, S., Namanya, D., Nkwinti, N., Nuwagira, R., Okware, S., Osipova, M., Pickering, K., Singh, C., Berrang-Ford, L., … Wright, C. (2022). Interactions between climate and COVID-19. *The Lancet Planetary Health*, *6*(10), e825–e833. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00174-7/ATTACHMENT/63CEA873-C335-4938-B21A-05485269B02A/MMC1.PDF

Friedlingstein, P., O'sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Gregor, L., Hauck, J., le Quéré, C., Luijkx, I. T., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Alkama, R., … Zheng, B. (2022). Global Carbon Budget 2022. *Earth System Science Data [Dataset]*, *14*(11), 4811–4900. https://doi.org/10.5194/ESSD-14-4811-2022

Gambhir, A., Butnar, I., Li, P. H., Smith, P., & Strachan, N. (2019). A Review of Criticisms of Integrated Assessment Models and Proposed Approaches to Address These, through the Lens of BECCS. *Energies 2019, Vol. 12, Page 1747*, *12*(9), 1747. https://doi.org/10.3390/EN12091747

Geden, O., Nemet, G. F., & Gidden, M. (2023). *CPU fan. Cooling ventilation system for computer*. https://www.researchgate.net/publication/367250667

Gerlagh, R. (2008). A climate-change policy induced shift from innovations in carbon-energy production to carbon-energy savings. *Energy Economics*, *30*(2), 425–448. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.05.024

Glantz, M. H., & Feingold, L. E. (1992). Climate variability, climate change, and fisheries: a summary. *Climate Variability, Climate Change and Fisheries*, 417–438. https://doi.org/10.1017/CBO9780511565625.017

Global Carbon Atlas. (2022). *CO2 Emissions | Global Carbon Atlas*. http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions

Godard, O. (2009). Time discounting and long-run issues: the controversy raised by the Stern Review of the economics of climate change. *OPEC Energy Review*, *33*(1), 1–22. https://doi.org/10.1111/J.1753-0237.2009.00159.X

Goodess, C. M., Hanson, C., Hulme, M., & Osborn, T. J. (2010). Representing Climate and Extreme Weather Events in Integrated Assessment Models: A Review of Existing Methods and Options for Development. *Http://Dx.Doi.Org/10.1076/Iaij.4.3.145.23772*, *4*(3), 145–171. https://doi.org/10.1076/IAIJ.4.3.145.23772

Greenstone, M., & Jack, B. K. (2015). Envirodevonomics: A Research Agenda for an Emerging Field. *Journal of Economic Literature*, *53*(1), 5–42. https://doi.org/10.1257/JEL.53.1.5

Griffi, C., Kopits, E., Marten, A., Moore, C., Newbold, S., & Wolverton, A. (2012). The Social Cost of Carbon: Valuing Carbon Reductions in Policy Analysis*. In *Fiscal Policy to Mitigate Climate Change* (pp. 89–102). International Monetary Fund. https://www.elibrary.imf.org/display/book/9781616353933/ch04.xml

Grubb, M., & Wieners, C. (2020). *Modeling Myths: On the Need for Dynamic Realism in DICE and other Equilibrium Models of Global Climate Mitigation*. https://doi.org/10.36687/inetwp106

Gundlach, J., & Paul, I. (2022). *The Social Cost of Greenhouse Gases A Guide for State Officials*.

Guzman Herrador, B. R., De Blasio, B. F., MacDonald, E., Nichols, G., Sudre, B., Vold, L., Semenza, J. C., & Nygård, K. (2015). Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: A review. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *14*(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/S12940-015-0014-Y/FIGURES/1

Harvey, L. D. D., & Schneider, S. H. (1984). Sensitivity of internally-generated climate oscillations to ocean model formulation. *Milankovitch and Climate. Proc. NATO*

Workshop, Palisades, 1982. Vol. 2, 653–667. https://doi.org/10.1007/978-94-017-4841-4_12/COVER

Hedenus, F., Azar, C., & Lindgren, K. (2006). Induced Technological Change in a Limited Foresight Optimization Model. *Source: The Energy Journal*, *27*, 109–122.

Hickey, C. (2022a). The Social Cost of Carbon, Abatement Costs, and Individual Climate Duties. *Https://Doi.Org/10.1080/21550085.2022.2133939*. https://doi.org/10.1080/21550085.2022.2133939

Hickey, C. (2022b). The Social Cost of Carbon, Abatement Costs, and Individual Climate Duties. *Ethics, Policy and Environment*. https://doi.org/10.1080/21550085.2022.2133939

Hope, C. (2006). *The Marginal Impact of CO 2 from PAGE2002: An Integrated Assessment Model Incorporating the IPCC's Five Reasons for Concern* (Vol. 6, Issue 1).

Hope, C. (2015). The $10 trillion value of better information about the transient climate response. *Philosophical Transactions*, *373*(20140429).

Hourcade, J. C., Sassi, O., Crassous, R., Gitz, V., Waisman, H., & Guivarch, C. (2010). IMACLIM-R: a modelling framework to simulate sustainable development pathways. *International Journal of Global Environmental Issues*, *2*, 5–24. https://doi.org/10.1504/IJGENVI.2010.030566ï

Hwang, I. C. (2017). A Recursive Method for Solving a Climate–Economy Model: Value Function Iterations with Logarithmic Approximations. *Computational Economics*, *50*(1), 95–110. https://doi.org/10.1007/s10614-016-9583-2

International Monetary Fund. (2020). *World Economic Outlook: A Long and Difficult Ascent*.

IEA. (2022a). *CO2 Emissions in 2022*. www.iea.org

IEA. (2022b). *World Energy Outlook 2022*. www.iea.org/t&c/

IMF. (2020). *Global Financial Stability Report Chapter 5: Climate Change: Physical Risk and Equity Prices*.

INDCs. (2015). *Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)*.

IPBES. (2019). *The global assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services*.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaption and Vulnerability*. www.cambridge.org

IPCC. (2014). *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (O. , R. Edenhofer, Y. Pichs-Madruga, E. Sokona, S. K. K. S. A. A. I. B. S. B. P. E. B. Farahani, J. Kriemann, S. Savolainen, C. Schlömer, T. von Stechow, & Zwickel T ., Eds.). Cambridge University Press,. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf

IPCC. (2018). *IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. https://doi.org/10.1017/9781009157940.008

IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability | Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability,. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

IPCC. (2023). Synthesis Report of The IPCC Sixth Assessment Report (AR6). In *Diriba Korecha Dadi*. Panmao Zhai.

IWG US. (2021). *Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide Interim Estimates under Executive Order 13990*.

Jagai, J. S., Li, Q., Wang, S., Messier, K. P., Wade, T. J., & Hilborn, E. D. (2015). Extreme precipitation and emergency room visits for gastrointestinal illness in areas with and without combined sewer systems: An analysis of Massachusetts data, 2003–2007. *Environmental Health Perspectives*, *123*(9), 873–879. https://doi.org/10.1289/EHP.1408971

Jones, C. I. (1995a). R & D-Based Models of Economic Growth. *Journal of Political Economy* , *103*(4), 759–784.

Jones, C. I. (1995b). Time Series Tests of Endogenous Growth Models. In *Source: The Quarterly Journal of Economics* (Vol. 110, Issue 2). https://about.jstor.org/terms

Jones, P. D., Briffa, K. R., & Osborn, T. J. (2003). Changes in the Northern Hemisphere annual cycle: Implications for paleoclimatology? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *108*(18). https://doi.org/10.1029/2003jd003695

Kainuma, M., Matsuoka, Y., & Morita, T. (1999). Development of AIM (Asian-Pacific Integrated Model) for coping with global warming. *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, *6*. https://doi.org/10.1109/icsmc.1999.816614

Keeling, C. D. (1958). The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas. In *Geochimica et Cosmochimica Acta* (Vol. 13).

Kelleher, J. P. (2017). PURE TIME PREFERENCE IN INTERTEMPORAL WELFARE ECONOMICS. *Economics and Philosophy*, *33*, 441–473. https://doi.org/10.1017/S0266267117000074

Keller, D. P., Feng, E. Y., & Oschlies, A. (2014). Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high carbon dioxide-emission scenario. *Nature Communications*, *5*(3304). https://doi.org/10.1038/ncomms4304

Kellett, C. M., Weller, S. R., Faulwasser, T., Grüne, L., & Semmler, W. (2019). Feedback, Dynamics, and Optimal Control in Climate Economics. *Annual Reviews in Control* , *47*, 7–20. https://www.gams.com

Kelly, D. L., & Kolstad, C. D. (2000). Integrated assessment models for climate change control. *International Yearbook of Environmental and Resource Economics*, *November 1998*, 171–197.

Kelly, D. L., & Kolstad, C. D. (1999). International Yearbook of Environmental and Resource Economics. In *A Survey of Current Issues*. Edward Elgar.

Kemfert, C. (2002). An Integrated Assessment Model of Economy-Energy-Climate-The Model Wiagem. *Integrated Assessment*, *3*(4), 281–298.

Kennedy, J. J., Rayner, N. A., Atkinson, C. P., & Killick, R. E. (2019). An Ensemble Data Set of Sea Surface Temperature Change From 1850: The Met Office Hadley Centre HadSST.4.0.0.0 Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *124*(14), 7719–7763. https://doi.org/10.1029/2018JD029867

Köhler, J., Grubb, M., Popp, D., & Edenhofer, O. (2006). The Transition to Endogenous Technical Change in Climate-Economy Models: A Technical Overview to the Innovation Modeling Comparison Project. *The Energy Journal*, *27*(Special Issue #1), 17–55. https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VOLSI2006-NOSI1-2

Kossin, J. P., Knapp, K. R., Olander, T. L., & Velden, C. S. (2020). | 11975-11980 EARTH. *ATMOSPHERIC, AND PLANETARY SCIENCES*, *117*(22). https://doi.org/10.1073/pnas.1920849117/-/DCSupplemental

Krey, V., Guo, F., Kolp, P., Zhou, W., Schaeffer, R., Awasthy, A., Bertram, C., de Boer, H. S., Fragkos, P., Fujimori, S., He, C., Iyer, G., Keramidas, K., Köberle, A. C., Oshiro, K., Reis, L. A., Shoai-Tehrani, B., Vishwanathan, S., Capros, P., … van Vuuren, D. P. (2019). Looking under the hood: A comparison of techno-economic assumptions across national and global integrated assessment models. *Energy*, *172*, 1254–1267. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.131

Lagarias, J. C., Reeds, J. A., Wright, M. H., Wright, P. E., & Optim, S. J. (1998). Convergence Properties of The THE Nelder_Mead ELDER-MEAD SIMPLEX METHOD IN LOW DIMENSIONS *. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, *9*(1), 112–147. http://www.siam.org/journals/siopt/9-1/30347.html

Lamperti, F., Mandel, A., Napoletano, M., Sapio, A., Roventini, A., Balint, T., & Khorenzhenko, I. (2019). Towards agent-based integrated assessment models: examples, challenges, and future developments. *Regional Environmental Change*, *19*(3), 747–762. https://doi.org/10.1007/S10113-018-1287-9

Ledley, T. S. (2013). *Energy Balance Model,Surface* (Vol. 104, pp. 831–844). Oxford University Press. Rowland HL.

Leimbach, M., Kriegler, E., Roming, N., & Schwanitz, J. (2017). Future growth patterns of world regions – A GDP scenario approach. *Global Environmental Change*, *42*, 215–225. https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2015.02.005

Lenton, T., & Vaughan, N. (2013). Geoengineering Responses to Climate Change: Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. In *Geoengineering Responses to Climate Change* (Springer). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5770-1

Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T., & Verkerk, P. J. (2018). *Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation*. Science to Policy 7. European Forest Institute. https://doi.org/https://doi.org/10.36333/fs07

Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Vazquez-Brust, D., Chiappetta Jabbour, C. J., & Andriani Ribeiro, D. (2020). The interplay between stakeholders, resources and capabilities in climate change strategy: converting barriers into cooperation. *Business Strategy and the Environment*, *29*(3), 1362–1386. https://doi.org/10.1002/BSE.2438

Ma, S., & Kirilenko, A. P. (2019). Climate Change and Tourism in English-Language Newspaper Publications. *Https://Doi.Org/10.1177/0047287519839157*, *59*(2), 352–366. https://doi.org/10.1177/0047287519839157

Maddison, D., & Rehdanz, K. (2011). The impact of climate on life satisfaction. *Ecological Economics*, *70*(12), 2437–2445. https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2011.07.027

Maier-Reimer, E., & Hasselmann, K. (1987). lima/r Dynamiu Transport and storage of C02 in the ocean--an inorganic ocean-circulation carbon cycle model. In *Climate Dynamics* (Vol. 2).

Manne, A. S. (1976). ETA: A Model for Energy Technology Assessment. *Source: The Bell Journal of Economics*, *7*(2), 379–406. https://www.jstor.org/stable/3003263

Manne, A. S., & Richels, R. G. (2005). MERGE: An Integrated Assessment Model for Global Climate Change. In R. Loulou, J.-P. Waaub, & G. Zaccour (Eds.), *Energy and Environment*.

Manzanedo, R. D., & Manning, P. (2020). COVID-19: Lessons for the climate change emergency. *Science of The Total Environment*, *742*, 140563. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140563

Markandya, A., González-Eguino, M., Markandya, A., & González-Eguino, · M. (2019). *Integrated Assessment for Identifying Climate Finance Needs for Loss and Damage: A Critical Review*. 343–362. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72026-5_14

Martinich, J., DeAngelo, B., Diaz, D., Ekwurzel, B., Franco, G., Frisch, C., McFarland, J., & O'Neill, B. (2018). *Chapter 29 : Mitigation: Avoiding and Reducing Long-term Risks. Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment, Volume II*. https://doi.org/10.7930/NCA4.2018.CH29

Maslin, M. (2021). *Climate Change: A Very Short Introduction* (4th ed.). Oxford University Press.

Mendelsohn, R. (2008). Is the stern review an economic analysis. *Review of Environmental Economics and Policy*, *2*(1), 45–60. https://doi.org/10.1093/reep/rem023

Mendelsohn, R., Dinar, A., & Williams, L. (2006). The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environment and Development Economics*, *11*(2), 159–178. https://doi.org/10.1017/S1355770X05002755

Mendelsohn, R., & Williams, L. (2004). *Comparing Forecasts of The Global Impacts of Climate Change*.

Metcalf, G. E., & Stock, J. H. (2017). Integrated Assessment Models and the Social Cost of Carbon: A Review and Assessment of U.S. Experience. *Https://Doi.Org/10.1093/Reep/Rew014*, *11*(1), 80–99. https://doi.org/10.1093/REEP/REW014

Metcalf, G., & Stock, J. (2015). *The Role of Integrated Assessment Models in Climate Policy: A User's Guide and Assessment*.

Michael Hall, C., Amelung, B., Cohen, S., Eijgelaar, E., Higham, J., Leemans, R., Peeters, P., Ram, Y., Scott, D., Aall, C., Abegg, B., Ara, J. E., Barr, S., Becken, S., Buckley, R., Burns, P., Coles, T., Dawson, J., Doran, R., … Weaver, D. (2014). *Denying bogus skepticism in climate change and tourism research*. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.08.009

Michaelis, P., & Wirths, H. (2019). *DICE-RD: An Implementation of Rate-Related Damages in the DICE model*. http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/

Michaelis, P., & Wirths, H. (2020). DICE-RD: an implementation of rate-related damages in the DICE model. *Environmental Economics and Policy Studies*, *22*, 555–584. https://doi.org/10.1007/s10018-020-00269-4

Millner, A. (2013). On welfare frameworks and catastrophic climate risks. *Journal of Environmental Economics and Management*, *65*(2), 310–325. https://doi.org/10.1016/J.JEEM.2012.09.006

Mkorombindo, T., & Balkissoon, R. (2021). Journal Club: Respiratory Impact of Wildfire Smoke. *Chronic Obstructive Pulmonary Diseases: Journal of the COPD Foundation*, *8*(3), 408. https://doi.org/10.15326/JCOPDF.2021.0244

Moore, F. C., & Diaz, D. B. (2015). Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*, *5*(2), 127–131. https://doi.org/10.1038/nclimate2481

Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature 2010 463:7282*, *463*(7282), 747–756. https://doi.org/10.1038/nature08823

NASA. (2023). *What is the greenhouse effect? – Climate Change: Vital Signs of the Planet*. https://climate.nasa.gov/faq/19/what-is-the-greenhouse-effect/

NASEM. (2017). *Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide*. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/24651

NOAA. (2023). *Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale*. https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php

Nordhaus, W. (1992). An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases. *Science*, *258*(5086), 1315–1319.

Nordhaus, W. (2013). Integrated Economic and Climate Modeling. In *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* (Vol. 1, pp. 1069–1131). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59568-3.00016-X

Nordhaus, W. (2018). Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies †. *American Economic Journal: Economic Policy*, *10*(3), 333–360. https://doi.org/10.1257/pol.20170046

Nordhaus, W. D. (1991). To Slow or Not to Slow: The Economics of The Greenhouse Effect. *The Economic Journal*, *IoI*, 920–937. https://about.jstor.org/terms

Nordhaus, W. D. (2007). A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. In *Journal of Economie Literature: Vol. XLV*.

Nordhaus, W. D. (2013). *The Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*. Yale University Press.

Nordhaus, W. D., & Boyer, J. (2000). *Warming the World*.

Nordhaus, W. D., & Yang, Z. (1996). *A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies*. *86*(4), 741–765.

Nordhaus, W.-S. P. (2013). *DICE 2013R: Introduction and User's Manual*.

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, *122*(3), 387–400. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2

Ortiz, A. M. D., Outhwaite, C. L., Dalin, C., & Newbold, T. (2021). A review of the interactions between biodiversity, agriculture, climate change, and international trade: research and policy priorities. *One Earth*, *4*(1), 88–101. https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2020.12.008

Osborn, T. J., Jones, P. D., Lister, D. H., Morice, C. P., Simpson, I. R., Winn, J. P., Hogan, E., & Harris, I. C. (2021). Land Surface Air Temperature Variations Across the Globe Updated to 2019: The CRUTEM5 Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *126*(2). https://doi.org/10.1029/2019JD032352

Palmer, T. N., Alessandri, A., Andersen, U., Cantelaube, P., Davey, M., Délécluse, P., Déqué, M., Díez, E., Doblas-Reyes, F. J., Feddersen, H., Graham, R., Gualdi, S., Guérémy, J.-F., Hagedorn, R., Hoshen, M., Keenlyside, N., Latif, M., Lazar, A., Maisonnave, E., … Thomson, M. C. (2004). American Meteorological Society Development of a European Multimodel Ensemble System for Seasonal tı Interannual Prediction (DEMETER). *Bulletin of the American Meteorological Society*, *85*(6), 853–872. https://doi.org/10.2307/26216980

Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., … Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate

change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, *355*(6332). https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAI9214/SUPPL_FILE/PECL.SM.PDF

Pilli, R., Fiorese, G., & Grassi, G. (2015). EU mitigation potential of harvested wood products. *Carbon Balance and Management*, *10*(1), 1–16. https://doi.org/10.1186/S13021-015-0016-7/TABLES/6

Pindyck, R. S. (2013). Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us? In *Journal of Economic Literature*. http://www.nber.org/papers/w19244

Pindyck, R. S. (2017). Coase Lecture—Taxes, Targets and the Social Cost of Carbon. *Economica*, *84*(335), 345–364. https://doi.org/10.1111/ECCA.12243

Pindyck, R. S. (2019). The social cost of carbon revisited. *Journal of Environmental Economics and Management*, *94*, 140–160. https://doi.org/10.1016/J.JEEM.2019.02.003

Pizer, W., Adler, M., Aldy, J., Anthoff, D., Cropper, M., Gillingham, K., Greenstone, M., Murray, B., Newell, R., Richels, R., Rowell, A., Waldhoff, S., & Wiener, J. (2014). Using and improving the social cost of carbon. *Science*, *346*(6214), 1189–1190. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1259774

Popp, D. (2003). *ENTICE: Endogenous Technological Change in the DICE Model of Global Warming*.

Popp, D. (2006). ENTICE-BR: The effects of backstop technology R&D on climate policy models. *Energy Economics*, *28*(2), 188–222. https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2005.10.004

P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, & J.Malley, (eds.). (2022). *IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. www.ipcc.ch

Prentice, I. C., G.D. Farquhar, Fasham, M. J. R., Goulden, M. L., Heimann, M., jaramillo, V. J. J., Kheshgi, H. S., le Quéré, C., Scholes, R. J., & Wallace, D. W. R. (2001). *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. In:Climate Change 2001: The Scientific Basis.Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer,P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]*.

PwC. (2019). *PwC Annual Report 2019*. https://www.pwc.com/my/en/publications/2019/pwc-annual-report-2019.html

PWT 10.01. (2023). *PWT 10.01 | Penn World Table | Groningen Growth and Development Centre[Dataset]*. https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en

Rao, S., Keppo, I., & Riahi, K. (2006). Importance of Technological Change and Spillovers in Long-Term Climate Policy. *Source: The Energy Journal*, *27*, 123–139.

Rennert, K., Errickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C., Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H., … Anthoff, D. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO 2. *Nature*, *610*. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9

Rennert, K., & Kingdon, C. (2019). *Social Cost of Carbon 101*.

Rennert, K., Prest, B. C., Pizer, W. A., Newell, R. G., Anthoff, D., Kingdon, C., Rennels, L., Cooke, R., Raftery, A. E., Ševčíková, H., & Errickson, F. (2021). *The Social Cost of Carbon: Advances in Long-Term Probabilistic Projections of Population, GDP, Emissions, and Discount Rates*. https://www.rff.org/publications/working-papers/the-social-cost-of-carbon-advances-in-long-term-probabilistic-projections-of-population-gdp-emissions-and-discount-rates/

Revelle, R., & Suess, H. E. (1957). Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO2 during the Past Decades. *Tellus*, *9*(1), 18–27. https://doi.org/10.3402/TELLUSA.V9I1.9075

Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K., & Tavoni, M. (2018). Country-level social cost of carbon. *Nature Climate Change 2018 8:10*, *8*(10), 895–900. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y

Rios, L. M., & Sahinidis, N. V. (2013). Derivative-free optimization: A review of algorithms and comparison of software implementations. *Journal of Global Optimization*, *56*(3), 1247–1293. https://doi.org/10.1007/s10898-012-9951-y

Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I., & Laurance, W. F. (2017). *World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice*. *67*(12). https://doi.org/10.1038/nclimate2081

Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO_2 and Greenhouse Gas Emissions. *Published Online at OurWorldInData.Org. [Dataset]*. https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions

Rivera, G. L., Malliet, P., Saussay, A., & Reynès, F. (2018). The state of applied environmental macroeconomics. *Revue de l'OFCE*, *157*(3), 133–149. https://doi.org/10.3917/reof.157.0133

Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. In *Source: Journal of Political Economy* (Vol. 98, Issue 5). https://about.jstor.org/terms

Rörsch, A., Courtney, R. S., & Thoenes, D. (2005). Global Warming and The Accumulation of Carbondioxide in The Atmosphere: A Critical Consideration of the Evidence. In *Environment* (Vol. 16, Issue 1).

Royal Society. (2009). *Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty*. 82.

Schlenker, W., & Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(37), 15594–15598. https://doi.org/10.1073/PNAS.0906865106/SUPPL_FILE/APPENDIX_PDF.PDF

Schneider, S. H., & Thomspon, S. L. (1981). Atmospheric CO2 and climate: Importance of the transient response. *Journal of Geophysical Research*, *86*(C4), 3135–3147. https://doi.org/10.1029/JC086iC04p03135

Scott, D., & Gössling, S. (2022). A review of research into tourism and climate change - Launching the annals of tourism research curated collection on tourism and climate change. *Annals of Tourism Research*, *95*, 103409. https://doi.org/10.1016/J.ANNALS.2022.103409

Scott, D., Hall, C. M., & Gössling, S. (2012). Tourism and Climate Change: Impacts, adaptation and mitigation. *Tourism and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation*, 1–440. https://doi.org/10.4324/9780203127490/Tourısm-Clımate-Change-Michael-Hall-Gosslıng-Stefan-Danıel-Scott

Seabird Die-Offs - Alaska Nature and Science (U.S. National Park Service). (n.d.). Retrieved March 25, 2023, from https://www.nps.gov/subjects/aknatureandscience/alaskaseabirddieoffs.htm

Shepherd, A., Ivins, E., Rignot, E., Smith, B., Van Den Broeke, M., Velicogna, I., Whitehouse, P., Briggs, K., Joughin, I., Krinner, G., Nowicki, S., Payne, T., Scambos, T., Schlegel, N., Geruo, A., Agosta, C., Ahlstrøm, A., Babonis, G., Barletta, V., … Wouters, B. (2018). Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017. *Nature*, *558*(7709), 219–222. https://doi.org/10.1038/S41586-018-0179-Y

Sigma. (2023). *Natural catastrophes and inflation in 2022: a perfect storm*.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., & Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *363*(1492), 789–813. https://doi.org/10.1098/RSTB.2007.2184

Smithsonian Ocean. (2018). *Climate Change*. https://ocean.si.edu/conservation/climate-change/climate-change

Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. In *Source: The Quarterly Journal of Economics* (Vol. 70, Issue 1).

Spackman, M. (2004). Time Discounting and of the Cost of Capital in Government. *Fiscal Studies*, *25*(4), 467–518. https://doi.org/10.1111/J.1475-5890.2004.TB00547.X

Srinivasan, U. T., Cheung, W. W. L., Watson, R., & Sumaila, U. R. (2010). Food security implications of global marine catch losses due to overfishing. *Journal of Bioeconomics*, *12*(3), 183–200. https://doi.org/10.1007/S10818-010-9090-9/METRICS

Stanton, E. A., Ackerman, F., & Kartha, S. (2009). Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics. *Climate and Development*, *1*(2), 166–184. https://doi.org/10.3763/cdev.2009.0015

Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Oxford University Press.

Stern, N., & Stiglitz, J. (2021). *The Social Cost of Carbon, Risk, Distribution, Market Failures: An alternative approach*. http://www.nber.org/papers/w28472

Stern, N., & Ward, B. (2021). Covid-19, climate change, and the environment: a sustainable, inclusive, and resilient global recovery. *Grantham Research Institute on ClimateChange and the Environment*. https://doi.org/10.1136/bmj.n2405

The Club of Rome. (2019). *The Club Of Rome Climate Emergency Plan a Collaborative Call for Climate Action By Members of the Club of Rome*. https://clubofrome.org/wp-content/uploads/2018/10/COR_Climate-Emergency-Plan-.pdf

The Royal Society. (2021). *A net zero climate-resilient future: science, technology and the solutions for change*.

Thornton, P., & Lipper, L. (2014). *How Does Climate Change Alter Agricultural Strategies to Support Food Security? CGIAR Research Program on Policies, Institutions, and Markets*. www.pim.cgiar.org

Tol, R. S. J. (1999). Spatial and temporal efficiency in climate policy: Applications of FUND. *Environmental and Resource Economics*, *14*(1), 33–49. https://doi.org/10.1023/A:1008314205375/METRICS

Tol, R. S. J. (2006). *The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Dıstrıbution (FUND), Technical Description Version 2.8.*

Tol, R. S. J. (2018). The Economic Impacts of Climate Change. *Https://Doi.Org/10.1093/Reep/Rex027*, *12*(1), 4–25. https://doi.org/10.1093/REEP/REX027

Tol, R. S. J. (2019a). A social cost of carbon for (almost) every country A social cost of carbon for (almost) every country. *Energy Economics*, *83*, 555–566. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.006

Tol, R. S. J. (2019b). *Climate Economics Economic Analysis of Climate, Climate Change and Climate Policy* (3rd ed.).

Tol, R. S. J., & Fankhauser, S. (1998). On the representation of impact in integrated assessment models of climate change. In *Environmental Modeling and Assessment* (Vol. 3).

Tomizuka, A. (2009). Is a box model effective for understanding the carbon cycle? *American Journal of Physics*, *77*(2), 156–163. https://doi.org/10.1119/1.3013196

Toth, F. L. (1995). Discounting in integrated assessments of climate change. *Energy Policy*, *23*(4–5), 403–409. https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)90165-4

Traeger, C. (2013). *A 4-stated DICE: quantitatively addressing uncertainty effects in climate change*.

Trimborn, T., Koch, K. J., & Steger, T. M. (2008). Multidimensional transitional dynamics: A simple numerical procedure. *Macroeconomic Dynamics*, *12*(3), 301–319. https://doi.org/10.1017/S1365100507070034

Tyndall, J. (1859). Note on the Transmission of Radiant Heat through Gaseous Bodies. *Source: Proceedings of the Royal Society of London*, *10*, 37–39.

UNCTAD. (2021). *2021 United Nations Conference on Trade and Development Annual Report*.

UNEP. (2022). *Too Little, Too Slow Climate adaptation failure puts world at risk*. https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022

UNFCCC. (2023). *What is the United Nations Framework Convention on Climate Change? | UNFCCC*. https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change

UNITED NATIONS. (1992). *United Nations Framework Conventıon On Climate Change*.

United Nations. (2023). *World Population Prospects - Population Division - United Nations[Dataset]*. https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/

UN-Water. (2021). *Summary Progress Update 2021: SDG 6-water and sanitation for all*.

UNWTO. (2018). UNWTO Tourism Highlights: 2018 Edition. In *UNWTO Tourism Highlights: 2018 Edition*. World Tourism Organization (UNWTO). https://doi.org/10.18111/9789284419876

Uzawa, H. (1965). Optimum Technical Change in An Aggregative Model of Economic Growth. In *International Economic Review* (Vol. 6, Issue 1).

Van Vuuren, D. P., Eickhout, B., Lucas, P. L., & Den Elzen, M. G. J. (2006). Long-Term Multi-Gas Scenarios to Stabilise Radiative Forcing-Exploring Costs and Benefits Within an Integrated Assessment Framework. In *Source: The Energy Journal* (Vol. 27). http://www.jstor.orgURL:http://www.jstor.org/stable/23297082

Van Vuuren, D. P., Lowe, J., Stehfest, E., Gohar, L., Hof, A. F., Hope, C., Warren, R., Meinshausen, M., & Plattner, G. K. (2011). How well do integrated assessment models simulate climate change? *Climatic Change*, *104*(2), 255–285. https://doi.org/10.1007/s10584-009-9764-2

Wagner, G. (2021). Recalculate the social cost of carbon. *Nature Climate Change 2021 11:4*, *11*(4), 293–294. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01018-5

Wang, Z., Lin, L., Zhang, X., Zhang, H., Liu, L., & Xu, Y. (2017). Scenario dependence of future changes in climate extremes under 1.5 °c and 2 °c global warming. *Scientific Reports*, *7*. https://doi.org/10.1038/srep46432

Wang, Z., Wu, J., Liu, C., & Gu, G. (2017). Integrated assessment models of climate change economics. In *Integrated Assessment Models of Climate Change Economics*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3945-4

WEF. (2020). *The Global Risks Report 2020*.

Weitzman, M. L. (2009). On Modeling and Interpretıng The Economıcs of Catastrophic Climate Change The Review of Economics and Statistics. In *Source: The Review of Economics and Statistics* (Vol. 91, Issue 1). http://www.jstor.orgURL:http://www.jstor.org/stable/25651314http://www.jstor.org/page/info/about/policies/terms.jsp

Weitzman, M. L. (2010). What is the "damages Function" for Global Warming-And What Difference Might It Make? *Climate Change Economics*, *1*(1), 57–69. https://doi.org/10.1142/S2010007810000042

Weitzman, M. L. (2015). Book Review—A Review of William Nordhaus' The Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World.

Https://Doi.Org/10.1093/Reep/Reu019, *9*(1), 145–156. https://doi.org/10.1093/REEP/REU019

Weyant, J. (2017). Some contributions of integrated assessment models of global climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*, *11*(1), 115–137. https://doi.org/10.1093/REEP/REW018

Weyant, J., Davidson, O., Dowlatabadi, H., & Edmonds, J. (1996). Integrated Assessment of Climate Change: An Overview and Comparison ofApproaches and Results. In *Climate Change 1995 - Economic and Social Dimensions of Climate Cha nge* (pp. 371–393).

What Can Be Done About Climate Change. (2023). Climate Portal. https://climate.mit.edu/what-can-be-done-about-climate-change

WHO. (2021, October 30). *Climate change and health*. WHO. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health

Wiemers, C. E. (2018, December 3). *Climate: Past, Present & Future | God does not play DICE – but Bill Nordhaus does! What can models tell us about the economics of climate change?* https://blogs.egu.eu/divisions/cl/2018/12/03/god-does-not-play-dice-but-bill-nordhaus-does-what-can-models-tell-us-about-the-economics-of-climate-change/

Wiener, J. B. (2018). Precautionary principle. In *Elgar Encyclopedia of Environmental Law* (pp. 174–185). Edward Elgar Publishing. https://www.elgaronline.com/display/book/9781785369520/b-9781785365669-VI_13.xml

Wise, R. M., Fazey, I., Smith, M. S., Park, S. E., Eakin, H. C., Archer, E. R. M., Garderen, V., & Campbell, B. (2014). Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change*, *28*, 325–336. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.002

WMO. (2021). *Atlas of Mortality and Economic Losses From Weather, Climate And Water Extremes(1970–2019)*.

The World Bank. (2016). *High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy*.

WTTC. (2022). *Travel & Tourısm Economic Impact 2022*. https://doi.org/10.3%

Yang, Z., Ng, A. K. Y., Lee, P. T. W., Wang, T., Qu, Z., Sanchez Rodrigues, V., Pettit, S., Harris, I., Zhang, D., & Lau, Y. yip. (2018). Risk and cost evaluation of port adaptation measures to climate change impacts. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *61*, 444–458. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.004

Yang, Z., & Nordhaus, W. D. (2006). Magnitude and direction of technological transfers for mitigating GHG emissions. *Energy Economics*, *28*(5–6), 730–741. https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2006.05.015

Yeldan, E. (2010). *İktisadi Büyüme ve Bölüşüm Teorileri* (1st ed.). Efil Yayınevi Yayınları.

Yohe, G. W., & Tol, R. S. J. (2008). *The Stern Review and the economics of climate change: an editorial essay*. https://doi.org/10.1007/s10584-008-9431-z

Young, A. (1998). Growth without scale effects. *Journal of Political Economy*, *106*(1), 41–63. https://doi.org/10.1086/250002

Zhang, R., Sutton, R., Danabasoglu, G., Kwon, Y. O., Marsh, R., Yeager, S. G., Amrhein, D. E., & Little, C. M. (2019). A Review of the Role of the Atlantic Meridional Overturning Circulation in Atlantic Multidecadal Variability and Associated Climate Impacts. *Reviews of Geophysics*, *57*(2), 316–375. https://doi.org/10.1029/2019RG000644

Zhang, S., Wang, W., Ford, J., & Makedon, F. (2006). Learning from incomplete ratings using non-negative matrix factorization. *Proceedings of the Sixth SIAM International Conference on Data Mining*, *2006*, 549–553. https://doi.org/10.1137/1.9781611972764.58

Zhang, Z., Moore, J. C., Huisingh, D., & Zhao, Y. (2015). Review of geoengineering approaches to mitigating climate change. *Journal of Cleaner Production*, *103*, 898–907. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.09.076

EKLER

E7 ülkeleri için oluşturulmuş entegre değerlendirme modelin denklemleri

$$\left.\begin{aligned} C_{i,t} &= (1-\xi_i)\, C_{i,t-1} + \tau_i\ \kappa\ M^{*}_{t-1}, \qquad i = 1,2,3,4,5 \\ C_t &= \sum_{i=1}^{5} C_{i,t} = C_{1,t} + C_{2,t} + C_{3,t} + C_{4,t} + C_{5,t} \end{aligned}\right\} \text{Karbon Döngüsü Modeli}$$

$$\left.\begin{aligned} F_t &= 5,35\left(\mathrm{In}\frac{C_t}{C_{pre}}\right) \\ T_{AT_t} &= T_{AT_{t-1}} + \lambda_1(\lambda_2 F_t - T_{AT_{t-1}}) + \lambda_3(T_{OK_{t-1}} - T_{AT_{t-1}}) \\ T_{OK_t} &= T_{OK_{t-1}} + \lambda_4(T_{AT_{t-1}} - T_{OK_{t-1}}) \\ \Delta T &= \lambda_2 5,35 \mathrm{In}\left(\frac{C_t}{C_{pre}}\right) \end{aligned}\right\} \text{İklim Dinamikleri Modeli}$$

$$
\left.
\begin{aligned}
&Y_t = A_t^{\sigma} K_t^{\alpha} L_{Y_t}^{1-\alpha} \qquad t=1960,...,2019 \\
&\dot{A}_t = \gamma\, L_{A_t}^{\eta_L} A_t^{\eta_A} \qquad 0 < \eta_L < 1,\ \ \eta_A < 1 \\
&L_{Y_t} = s_y L_t, \quad 0 < s_y < 1 \\
&L_{A_t} = s_A L_t, \quad 0 < s_A < 1 \\
&L_{A_t} + L_{Y_t} = L_t \\
&L_t = l_0\, e^{nt}, \quad l_0 > 0,\ n > 0 \\
&\dot{K}_t = I_t - \delta K_t, \quad 0<\delta<1 \\
&I_t = s_{K_t} Y_t \\
&Q_t = Y_t(1 - D_t - \Lambda_t) \\
&\Lambda_t = \beta_1 \mathfrak{M}_t^{\beta_2} \\
&D_t = \psi_1 T_{AT_t} + \psi_2 T_{AT_t}^2 \\
&Q_t = I_t + C_t \\
&c_t = \frac{C_t}{L_t} \\
&U(c_t) = \frac{c_t^{1-\eta} - 1}{1-\eta}, \quad \eta>0 \\
&U_t[c_t, L_t] = L_t \frac{c^{1-\eta} - 1}{1-\eta} \\
&W_t = \max \sum_t^T U[c_t, L_t]\, R_t \\
&R_t = \frac{1}{(1+\rho_t)^{t-t_{2019}}} \left(\frac{c_t}{c_{2019}}\right)^{-\eta}
\end{aligned}
\right\} \text{Ekonomik Büyüme Modeli}
$$

$$
\left.
\begin{aligned}
&MH_t = D_t - D_{t_{ekbirton}} \\
&SCC = \sum_{t=2023}^{2100} R_t MH_t
\end{aligned}
\right\} \text{Karbonun Sosyal Maliyeti}
$$

ÖZGEÇMİŞ			
Adı-Soyadı	Fadime		Aksoy
Doğum Yeri ve Yılı			
Bildiği Yabancı Diller	İngilizce		
Eğitim Durumu	**Başlama - Bitirme**		**Kurum Adı**
Lise			
Lisans	2007	2011	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi (Matematik)
Yüksek Lisans	2011	2014	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi (Matematik)
Yüksek Lisans	2014	2016	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi (Ekonometri)
Doktora	2016	2023	Bursa Uludağ Üniversitesi
Çalıştığı Kurum (lar)	**Başlama - Ayrılma**		**Çalışılan Kurumun Adı**
1.	2014	2016	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
2.	2016	2017	Bursa Uludağ Üniversitesi
3.	2018	Devam ediyor	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi
Üye Olduğu Bilimsel ve Meslekî Kuruluşlar			
Katıldığı Proje ve Toplantılar	**Proje Adı:** Bilgi ve İletişim Teknolojisi, İnovasyon ve Firmaların İşgücü Verimliliği: TR33 Bölgesi Örneği (Proje Türü: Yüksek Öğretim Kurumları Tarafından Destekli Bilimsel araştırma Projesi, Proje No:2700713, Yıl: 2016-2017)		
Yayınlar:	AKSOY FADİME, BAYRAM ARLI NURAN (2020). Evaluation of sustainable happiness with Sustainable Development Goals: Structural equation model approach. Sustainable Development, 28, Doi: 10.1002/sd.1985 (Yayın No: 7002047) KORKMAZ SUNA,YILGÖR METEHAN,AKSOY FADİME (2019). The Impact of Direct and Indirect Taxes on the Growth of the Turkish Economy. Public Sector Economics, 43(3), 311-323., Doi: 10.3326/pse.43.3.5 (Yayın No: 5290926) BEHDİOĞLU SEMA,ÇELİK FADİME (2016). R&D Expenditure and CO2 Emission: Artificial Neural Network Based Approach. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 136-150. (Yayın No: 3425796) New Approaches in Operational Research, Bölüm adı:(Measuring Turkey's Sustainability Based on Inverse Data Envelopment Analysis) (2020)., ÖZEKİN AYÇA,AKSOY FADİME, Ekin Yayınevi, Editör:ÖZEKİN AYÇA, YILMAZ SOYDAN NACİYE TUBA, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 278, ISBN:978- 625-7210-64-5, İngilizce(Bilimsel Kitap), (Yayın No: 6638918)		
Diğer:			
İletişim (e-posta):			
Tarih: **İmza:** **Adı-Soyadı:**	28/04/2023		