



JEP



Araştırma Makalesi • Research Article

İklim Değişikliğinin Makro İktisadı

Macroeconomics of Climate Change

Kerem Pirali ^{a, *}

^a Araş. Gör., Düzce Üniversitesi, Akçakoca Bey Siyasal Bilgiler Fakültesi, İktisat Bölümü, 81652, Akçakoca/Düzce/Türkiye, ORCID: 0000-0001-6007-1554

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 17.06.2021

Kabul tarihi: 03.12.2021

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Sürdürülebilirlik, Modelleme, Risk, Belirsizlik

JEL Kodları: C51, Q01, Q50

ÖZET

Bu çalışmada, 1970'lerden itibaren gelişen iklim değişikliği iktisadi incelenmiştir. Uluslararası gündemi giderek daha yoğun şekilde meşgul eden iktisadi bir sorun olarak iklim değişikliği, sebepleri, etkileri, ekonomik maliyetleri ve alınabilecek tedbirler açısından oldukça kapsamlı bir tartışmaya konu olmuştur. Fiziksel, ekonomik, siyasi pek çok boyutta farklı görüşleri içeren çalışmalar, seçilmesi gereken mücadele yöntemleri konusunda yaşanan ikilemleri yansıtmaktadır. İncelenen konu yüksek derecede risk ve belirsizlik içerdiği, mekansal ve zamansal boyutları çok geniş olduğu ve uluslararası işbirliği içerisinde alınıp uygulanacak tedbirleri zorunlu kıldığı için iktisadi incelemelerin diğer konularından ayrılmaktadır. Dolayısıyla, daha kapsamlı analizlerin elde edilebilmesi için çatışan yaklaşımların da birbirlerini destekler nitelikte yeniden kurgulanması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, neoklasik ve keynesyen temelli analizlerin ortak amacına vurgu yapmak önem arz etmektedir.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 17.06.2021

Accepted: 03.12.2021

Keywords: Climate Change, Sustainability, Modelling, Risk, Uncertainty

JEL Codes: C51, Q01, Q50

ABSTRACT

In this study, climate change economics, which has developed since the 1970s, has been examined. Climate change, as an economic problem that increasingly occupies the international agenda, has been the subject of noticeably comprehensive discussion in terms of its causes, effects, economic costs and measures to be taken. Studies that contain different views related to physical, economic and political dimensions reflect the dilemmas about the methods of struggle that should be chosen. The examined subject differs from other subjects of economic studies as it contains a high degree of risk and uncertainty, its spatial and temporal dimensions are very wide, and it necessitates measures to be taken and implemented in international cooperation. Therefore, in order to obtain more comprehensive analyses, it is necessary to reconstruct the conflicting approaches in a way that supports each other. For this reason, it is important to emphasize the common goals of neoclassical and keynesian-based analyzes.

1. Giriş

İklim değişikliğinin sebeplerinin izah edilmesi ve muhtemel yıkıcı etkilerine karşı uygun

politikaların geliştirilmesi yakın dönemin en önemli bilimsel çabalarından biridir (Nordhaus 2008: xi; Nordhaus, 2013a: 4;

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

e-posta: kerempirali@duzce.edu.tr

Atıf: Pirali, K. (2021). İklim Değişikliğinin Makro İktisadı, *Journal of Economics and Political Sciences*, 1(1), 35-46.

Roos ve Hoffart, 2021, s. 1). Hem doğa bilimleri hem de sosyal bilimlerin birçok branşının ortak çalışmasını gerektiren bu konu, çevre ve insan arasındaki etkileşimin yüksek derecede belirsizlik içeren kompleks yapısını yansıtır (Stern, 2008: 1; Roos ve Hoffart, 2021: 3; Nordhaus, 2013b: 1069). Modern ekonomik dinamikler ve iktisadi sistemler, kaynakların yoğun kullanımı sayesinde ekonomik büyümeyi teşvik etmektedir. Fakat büyüme sürecinde piyasa tarafından fiyatlanmayan çevresel zararlar, ekosistemin dengesini bozarak küresel ölçekte herkesi cezalandıran ve etkileri çok uzun süre devam eden negatif dışsallıklar doğurmaktadır (Nordhaus, 2013a: 6; Hagens, 2020: 2; Nordhaus, 2019: 1991). Dolayısıyla iklim değişikliğinin sebep olduğu risklerin önüne geçebilecek makroekonomik politikaları biçimlendirmek, piyasa başarısızlığının kamu müdahalesiyle düzeltilmesi anlamına gelmektedir ve günümüz iktisat literatürünün en önemli uğraş alanlarından biridir². Bu nedenle, iklim değişikliğinin ekonomik boyutları hakkında yaptığı öncü çalışmaların ve literatüre katkılarının takdiri olarak William D. Nordhaus, 2018 yılında Nobel İktisat Ödülü ile taltif edilmiştir³.

Sera gazlarının⁴ iklim üzerindeki etkileri ve ısınmanın fiziksel mekanizmaları hakkındaki çalışmalar, 19. yüzyılda başlamışken iklim değişikliğinin olumsuz ekonomik etkileri ancak 1970'lerden itibaren iktisat literatüründe yer bulmuştur (Stern, 2008: 2; Van der Mensbrugghe, 2013: 978). Olumsuz etkilerin sınırlandırılması, azaltılması ve mümkün olduğu ölçüde bertaraf edilmesi için yürütülen çok taraflı müzakereler, imzalanan protokol ve anlaşmalar istenilen sonuçlara ulaşmaktan uzak kalmıştır⁵. Örneğin, en büyük altı ekonomi içinde sadece AB, Paris Anlaşması'nın bağlayıcı düzenlemelerini ilk aşamada kabul etmiştir (Nordhaus, 2018: 333-4). Dolayısıyla yetersiz katılım ve politika

yapıcıların sert müdahalelerden kaçınması, iklim değişikliği ile mücadele politikalarının hedefine ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Mevcut koşullarda, IPCC'nin küresel sıcaklık artışını endüstri öncesi dönemin 2°C üstünde sınırlandırma ve mümkün olduğunca 1,5°C düzeyinde tutma hedeflerinin başarı ihtimali düşük görünmektedir. Başka bir deyişle iklim değişikliği, diplomatik çabalardan daha hızlı hareket etmiştir (IPCC, 2019: v). Politik müdahale süreçlerindeki başarısızlık, olumsuz senaryoların gerçekleşmesini daha muhtemel hale getirmektedir (Andersson vd., 2020: 6).

İklim değişikliği iktisadi konusunda yapılan çalışmaları diğer iktisat branşlarından ayıran üç önemli özellik vardır (Owen ve Hanley, 2004: 1). Birincisi, sera gazı salınımı nerede gerçekleşirse gerçekleşsin hızlıca atmosfere yayılarak etkisini küresel boyutta göstermektedir. Bu durumda sera etkisine karşı alınacak ulusal tedbirler sorunu çözmekte yetersiz kalacak, küresel tedbirler zorunlu olacaktır. Fakat bilindiği üzere iklim değişikliği dünyanın her yerini aynı şekilde etkilemeyecektir (Klein vd., 2007: 747; Nordhaus, 2019: 1999; Fisher-Vanden ve Weyant, 2020: 472). Bu durumda ulusal çıkarları doğrultusunda politikalar geliştiren devletlerin ortak bir politika çerçevesinde uzlaşmaları zorlaşacaktır.

İkincisi, iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz etkilerin süresiyle ilgilidir. Atmosferde biriken sera gazlarının olumsuz etkilerinin ne kadar süreceği tam olarak bilinmemektedir. Daha önce benzeri görülmemiş bir süreç olan iklim değişimi hakkında öngörülerde bulunmak oldukça yanıltıcıdır; olumsuz etkilerin doğrusal olmayan bir tarzda yüzlerce yıl devam edebileceği ifade edilmektedir. Yani söz konusu etkiler zamanla şekil değiştirebilir, hızlanabilir veya yavaşlayabilir veya ani kırılmalara neden olarak hiç öngörülme sonuçlara yol açabilir (Andersson vd., 2020:

¹ İklim değişikliği konusunda güçlü politikaların gerekliliği iktisatçılar arasında da yaygın bir görüştür. Bkz. <https://econ4future.org/> (30.05.2021)

³ Bkz. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/nordhaus/facts/> (17.05.2021)

⁴ Karbondioksit (CO₂), Metan(CH₄), Nitröz Oksit(N₂O), Hidrofluorokarbonlar (HFCs), Perfluorokarbonlar

(PFCs), Kükürt heksaflorür (SF₆). Sera gazları ve sektörel kaynakları hakkında bkz. Kyoto Protokolü, Ek-A.

⁵ Yürütülen diplomatik süreçlere ilişkin bkz. <https://iklim.csb.gov.tr/> (02.06.2021). Sözleşme ve protokoller başlığı altında sürece ilişkin detaylı bilgiler mevcuttur.

6). Belirsizliğin net değerlendirmeler yapmayı imkansız kılması, gelişen durumlara göre tahminlerin ve politika önerilerinin sürekli güncellenmesini gerektirmektedir.

Üçüncüsü ise hem iklim değişikliğinin doğasını açıklamakta yetersiz kalınması hem de önerilen politikaların soruna çözüm olup olmayacağını bilinememesidir. Beklenen yıkıcı etkilerin hangi mekanizmalarla, hangi şiddette ve ne zaman ortaya çıkabileceği bilinemediği gibi önerilen politikaların sorunu çözmekteki başarısı da muammadır. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin neticesinde oluşabilecek etkilerin çerçevesini kesin hatlarıyla çizilebilirlik imkanına sahip olunamamaktadır (Nordhaus, 2013a: 3; Roos ve Hoffart, 2021: 9; Van der Mensbrugghe, 2013: 978).

İklim politikalarının gerekli olduğu konusunda uzlaşmış olsa da iklim politikalarının ne ölçüde gerekli olduğu hala tartışmalıdır. Yani iktisat politikasının tam istihdam, büyüme, fiyat istikrarı gibi hedeflerinin arasında, iklim değişikliğine ilişkin politikaların öncelik sırası nasıl belirlenecektir (Nordhaus, 2013a: 3)? Zira iklim değişikliği politikaları büyük ölçüde endüstriyel üretimden taviz verme, enerji tüketimini azaltma ve böylece sera gazı salınımını düşürme şeklinde kurgulanmaktadır. Dolayısıyla iklim politikaları, büyüme gibi diğer makroekonomik politika hedeflerinden taviz vermeyi gerekli kılmaktadır. Bir sonraki seçimi kazanmayı hedefleyen iktidarlar açısından büyüme ve tam istihdam hedeflerinin daha öncelikli tutulması kuvvetle muhtemel hale gelmektedir.

İklim değişikliğini makroekonomik yöntemlerle analiz etmeyi deneyen modeller, bir yandan doğa bilimlerinin farklı alanlarında elde edilen bulguları ekonomik tahminlerle bütünleştirmek, diğer yandan kompleks sistemlerin belirsizlik koşullarına dikkati çekmektedir. Genellikle bütünleşik değerlendirme modelleri şeklinde literatürde yer alan bu modeller, birbirinden kopuk olduğu düşünülen mekanizmaların etkileşimini tek bir sistem içinde birleştirerek modellemeye çalışırlar. Bu sayede iklim değişikliğinin fiziksel mekanizmaları ile uzun dönemli

ekonomik büyümenin koşulları bütünleştirilmiş olur. Bu modellerin temel işlevi; sera gazı salınımının sosyal maliyetini hesaplamak, maliyeti aşağı çekmek için uygun politikaları geliştirmek, politika maliyeti ile iklim değişikliğinin maliyetini kıyaslamak ve optimum politikayı mümkün olduğunca nesnel ölçütlere göre ifade etmek şeklinde özetlenebilir.

Fiziksel mekanizmaların yeterince açıklanamadığı durumda, politika tercihleri hangi ölçütlere göre belirlenebilir? Endüstriyel faaliyetlerin ve fosil enerji tüketiminin sağladığı refah artışı ile piyasa mekanizması tarafından fiyatlanmayan sera gazlarının sosyal maliyeti, dönemler arası fayda maliyet analizleriyle incelenmektedir. Muhtemel senaryolar üzerinden yürütülen fayda maliyet analizleri, birçok faktörün birlikte değerlendirilmesine imkan vererek çeşitli avantajlar sağlamaktadırlar (Van Vuuren vd., 2011: 576). Bu şekilde yapılan incelemeler, çevreyi tükenebilir nitelikte bir ekonomik kaynak ve servet şeklinde değerlendirerek sürdürülebilir refah artışının optimum politikalarını belirlemeyi hedeflemişlerdir (Hamilton ve Atkinson, 2006: 1-2; Bowen vd., 2014: 4).

Ekolojik makroekonomi başlığı altında toplanan ve uzun dönemli sürdürülebilir kalkınma hedefi doğrultusunda, özellikle son yirmi-otuz yılda türetilen makroekonomik modeller, literatürde ihmal edilmiş bir boşluğu doldurma çabasıdadırlar (Rezai vd., 2013: 69; Hardt ve O'Neil, 2017: 198). Hem neoklasik hem keynezyen literatüre dayanarak hazırlanmış olan pek çok model, çağımızın en ciddi tehditlerinden biri olan iklim değişikliğine iktisadi bakış açısıyla çare üretmeye çalışmaktadır. Büyüme modellerinin iklim hassasiyetlerini de dikkate alacak şekilde modifiye edilmesiyle türetilen bu modeller, iklim değişikliği makroekonomisinin temel bakış açılarını yansıtan ana gövdeyi temsil etmektedir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında, iklim değişikliği makro iktisadının teorik çerçevesi ana hatlarıyla sunulacak, analizler için geliştirilmiş olan çok sayıda model arasından öne çıkanlar tanıtılacak ve modeller arasında karşılaştırmalar yapılarak

politika önerilerine değinilecektir. Son olarak literatürün gelecekte ne yönde gelişeceğiyle ilgili görüşler aktarılacaktır.

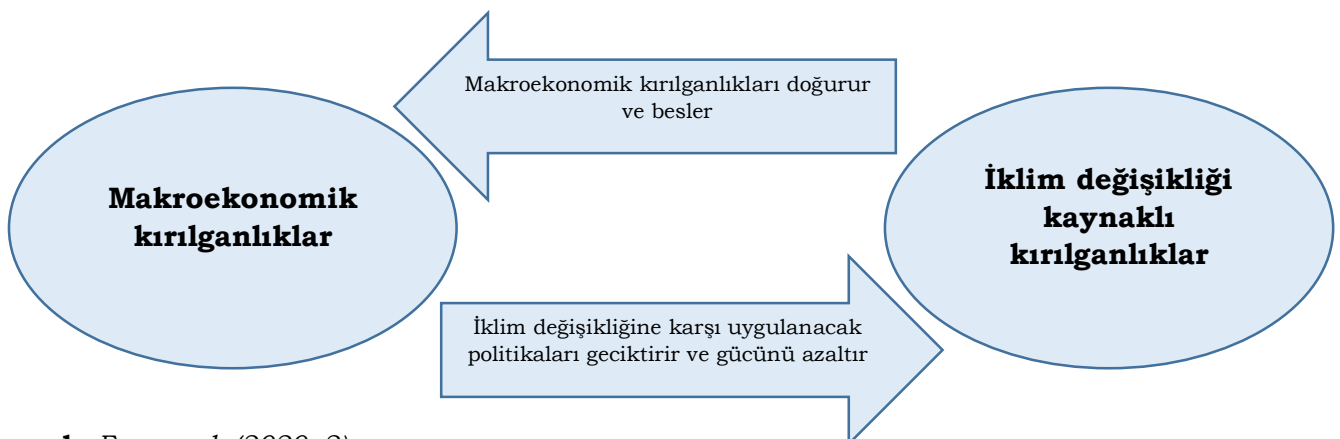
2. Teorik Çerçeve

İklim değişikliğinin ekonomik analizi, temelde kamusal malların ve negatif dışsallıkların söz konusu olduğu bir piyasa başarısızlığı örneğidir (Rezai, 2011: 885; Andersson vd., 2020: 7). İnsan kaynaklı olarak ortaya çıkan ve yakılan fosil yakıtlar ile endüstriyel faaliyetlerin piyasa tarafından fiyatlanmayan olumsuz yan etkisi şeklinde tezahür eden bir sorundur (Nordhaus, 2013: 4). Atmosferde biriken sera gazları dışlanamaz nitelikli kamusal mallardır ve bunların etkilerinin mekan boyutunda küresel ölçekte, zaman boyutunda ise süresi kesin olmamakla birlikte nesiller boyu sürecek bir dönemde analiz edilmesi gerekir. Kamusal malların özelliklerinden olan dışlanamazlık, ister istemez bedavacılık sorununu gündeme getirmektedir ve iklim değişikliği özelinde ülkelerin yükümlülük altına girmeyi reddetmesi şeklinde kendini göstermektedir (Nordhaus, 2019: 2002).

İklim değişikliğinin sebep olduğu ekonomik riskler çok farklı şekillerde su yüzüne çıkabilirler. Aşırı sıcaklık artışı, su kaynaklarında ve gıda arzında görülmesi muhtemel düşüşler, buzulların erimesi ile deniz seviyesinde gözlemlenen yükselme, kıtlık ve nihayetinde artması beklenen göç dalgaları iklim değişikliğinin olası yıkıcı etkilerinden bazılarıdır (Roos ve Hoffart,

2021: 2; IPCC, 2019: v). Ayrıca, düşük karbonlu ekonomiye geçiş çalışmaları da farklı ekonomik riskler doğurmaktadır. Özellikle üretim süreçlerinde yüksek miktarda sera gazı salınımına sebep olan iş kolları daha yüksek risk taşımaktadır (Fayen vd., 2020: 3). Bu kapsamda iklim değişikliği kaynaklı ekonomik riskler iki ana kategoride gruplanmaktadır: i) fiziksel riskler ve ii) geçiş riskleri (Dafermos vd., 2018: 219; Fayen vd., 2020: 2; Andersson vd., 2020: 7). Fiziksel riskler, doğal afetlerin artması gibi ani yıkımlar şeklinde ortaya çıkabileceği gibi buzulların erimesi veya tarımsal üretimde verimliliğin düşmesi gibi kademeli olarak da gerçekleşebilir. Ayrıca, ekonomik risklerin finansal piyasalar üzerinde de ani veya kademeli baskı oluşturması ve finansal riskleri tetikleme olasılığı sonuçlar arasındadır (Dafermos vd., 2018). Geçiş riskleri, iklim değişikliği ile mücadele politikalarının ekonomik faaliyeti yavaşlatıcı yapısıyla ilişkilidir. Sürdürülebilir büyüme ve tüketim düzeyine doğru ekonomiyi yavaşlatmak, düşük karbonlu ekonomiye geçiş sürecinde kırılganlığı besleyen çeşitli ekonomik dengesizliklere neden olabilir. Sonuçta, Şekil 1'de görüldüğü gibi, fiziksel riskler ve geçiş riskleri pozitif geri beslemeli, çift yönlü nedensellik ilişkisi ile politik tedbirlerin uygulanmasını zorlaştırıcı bir çerçeve oluştururlar. İklim değişikliğinin neden olduğu çeşitli maliyet ve riskler, makroekonomik dengeleri sarsarken makroekonomik dengesizlikler de etkin politikaların uygulanmasını güçleştirir.

Şekil 1. İklim Değişikliği ile Makroekonomik Kırılganlıklar Arasındaki Temel İlişki



Kaynak: Fayen vd, (2020: 2)

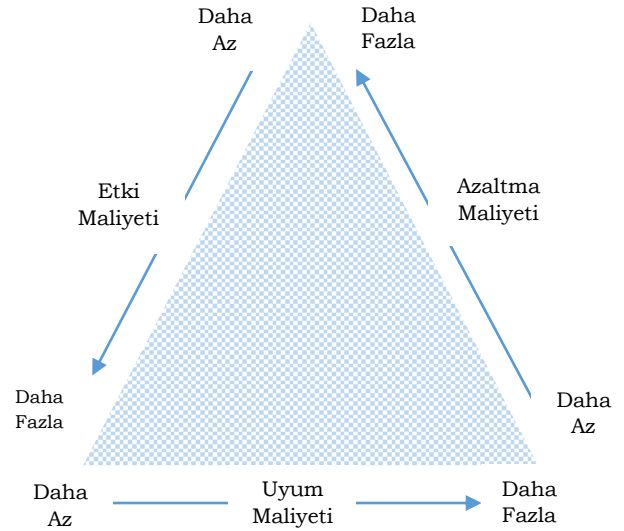
İklim politikaları temelde üç farklı maliyetle ilişkilidir: i) etki maliyeti, ii) uyum maliyeti ve

iii) azaltma maliyeti (Klein vd., 2007: 748; Van Vuuren vd., 2011: 576). Etki maliyeti, iklim

değişikliği kaynaklı ekonomik maliyetlerdir ve herhangi bir politika uygulanmadığı veya diğer deyişle “laissez faire” tercih edilerek iklim değişikliğinin olumsuz etkileri olduğu gibi kabul edildiği takdirde maruz kalınacak maliyeti ifade eder. Doğal sisteme telafi edilemez hasarlar vermesi muhtemel bu maliyetin sosyal ve ekonomik boyutları aşırı derecede yüksek olacağı için uyum ve azaltma politikaları mutlaka gündeme gelecektir. Zira yeterli katılım sağlanamasa ve etkin tedbir mekanizmaları oluşturulmaması bile etki maliyetini düşürmek için dünya genelinde çeşitli çabalar ortaya konmaktadır. Azaltma maliyeti, genellikle uluslararası anlaşmalar şeklinde yürütülen ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasını amaçlayan uygulamaların ekonomik külfetidir. Azaltma politikalarının uygulandığı durumda, elde edilen fayda dışsallık arz eder ve küresel ölçekte olumlu etkiler söz konusu olur; buna karşın azaltma maliyeti, politikayı uygulayan ülkelerin sırtında kalır. Uyum maliyeti ise muhtemel doğal afetlerin sebep olacağı hasarları önlemek için gerekli tedbirleri kapsar ve hem fayda hem de maliyet açısından yerel niteliklidir. Örneğin, deniz seviyesinin yükselmesine karşı önlem almak zorunda kalan ülke veya bölgelerde, tedbir amaçlı yapılacak – geniş çaplı mekânsal planlamalar veya su kanallarının inşası gibi – yatırımlar uyum maliyeti kapsamında değerlendirilir. Bu açıdan bakıldığında uyum maliyeti kaçınılmaz niteliklidir (Klein vd., 2007: 748). Bu üç maliyet türünün birbiriyle etkileşimi hakkında temel açıklamalar Şekil 2’de görselleştirilmiştir.

Maliyet türlerinin tanımlanarak aralarındaki ilişkilerin analiz edilmesi özellikle oluşturulacak alternatif senaryoların maliyetlerini kıyaslamak açısından önemlidir. Şekil 2’de gösterildiği gibi maliyet türleri arasında bir değiş tokuş söz konusudur. Fiziksel riskleri azaltmak amaçlı bir politika uygulandığı durumda, etki maliyeti azalırken politikanın içeriğine bağlı olarak azaltma ve/veya uyum maliyeti artacaktır. Benzer şekilde azaltma ve/veya uyum maliyetinden kaçınmak da etki maliyetinin azami ölçüde hissedilmesiyle sonuçlanacaktır.

Şekil 2. Etki Maliyeti, Azaltma Maliyeti ve Uyum Maliyeti Arasındaki İlişki



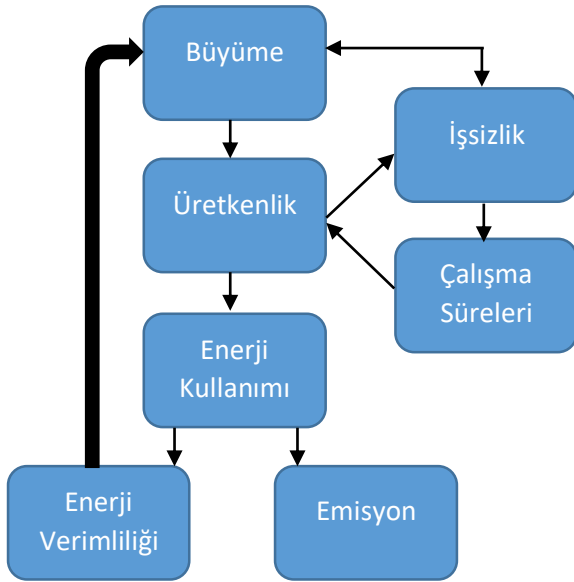
Kaynak: Klein vd., (2007: 748)

Uygulanacak optimum politikalarla, tamamen yok edilemese de, muhtemel hasarların önemli ölçüde azaltılabileceği öngörülmektedir (Kahn vd., 2019: 44-45). Öte yandan iklim değişikliğinin doğası mutlak olarak keşfedilemediği ve belirsizlikler yok edilemediği için değiş tokuşun hangi coğrafyada, hangi zamanda ve ne şiddette kendini göstereceği net değildir. Bu nedenle analizler, risk ve belirsizlik unsurlarını dikkate almak zorundadırlar (Van Vuuren vd., 2011: 576).

Keynesyen marko iktisadi sistem yaklaşımıyla hazırlanmış olan Rezai vd. (2013)’e ait model Şekil 3’te sunulmuştur. Modele göre ekonomik büyüme, üretkenlik artışına neden olur; üretkenlik artışının da çeşitli ekonomik sonuçları olacaktır. Öncelikle, üretkenlik artışı büyümeyle desteklenmezse emek tasarruf eden teknolojiler gibi işsizlik doğuran bir yapı kazanacaktır ki büyümeye (degrowth) tartışmalarındaki kritik sorun budur. Çalışma sürelerinin azaltılması muhtemel işsizlik sorununa karşı modele eklenmiş bir politikadır. Zira modelde içselleştirilmiş olan üretkenlik artışının olası yan etkileri bu şekilde hafifletilebilir. İkinci olarak üretkenlik artışı enerji kullanımını da arttıracaktır. Enerji kullanımındaki artış ya doğal kaynakların daha hızlı tüketilmesine ve emisyon miktarının artışına sebep olacaktır

ya da bu ihtimal enerji verimliliği yüksek teknolojilerle bertaraf edilecektir. Enerji verimliliğinin arttırıldığı durumda daha yüksek büyüme desteklenebilirken arttırılmadığı durumda doğal kaynakların ve çevrenin tahribine doğru giden bir süreç işleyecektir.

Şekil 3. Modelin Temel Dinamikleri



Kaynak: Rezai vd., (2013).

Enerji verimliliğine vurgu yapan çok sayıda çalışma içerisinde Nordhaus (2021), karbon salınımını azaltan teknolojik gelişmelerin yokluğu durumunda, alınacak sair tedbirlerin amacı gerçekleştirilmede yetersiz kalacağını göstermesi bakımından önemlidir.

3. İklim Değişikliğinin Modellenmesi

İklim değişikliğinin ekonomik etkilerini analiz etmeye çalışan çok sayıda model geliştirilmiştir. Modellerin bazıları neoklasik, bazıları keynezyen teorilere dayanılarak hazırlanmıştır. Modellerde kullanılan yaklaşımlar, yöntemler ve değişkenler çeşitlendikçe elde edilen sonuçlar ve önerilen politikalar da farklılaşmıştır. İklim değişikliğinin iktisadi bir model çerçevesinde ilk sunumu 1994'te Nordhaus'un literatüre kazandırdığı DICE (Dynamic Integrated model of Climate and the Economy) modeliyle olmuştur (Fisher-Vanden ve Weyant, 2020: 471). Bütünleşik değerlendirme modellerinin (IAMs) ilk örneği olan DICE modelinin literatüre temel katkısı, iklim sistemini vazgeçilmez bir doğal kaynak ve bir çeşit

sermaye olarak modele dahil etmesidir (Dixon ve Jorgenson, 2013: 12). Bu açıdan DICE modeli, iklim değişikliğinin fiziksel mekanizmaları ile iktisadi sistemin mekanizmalarını tek potada eriterek analiz etmek ve optimum politikaları öngörmek amacına matuftur.

Modele göre, günümüzde mevcut tüketim kısılarak sera gazı emisyonları azaltılabilirse gelecekteki tüketim seviyelerini korumak mümkün olabilecektir. Nordhaus, DICE modelini ve bu modele benzer şekilde tasarladığı RICE modelini (Regional Integrated model of Climate and the Economy), alternatif politikaların muhtemel etkilerini değerlendirmekte kullanmıştır. Modellerde dönemler arası sosyal refah fonksiyonu tanımlanmış ve bu fonksiyonu maksimize eden optimal politikalar tasarlanmıştır. Yani fayda maliyet analizi çerçevesinde, dönemler arası optimum politikalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Ne var ki, modeller yardımıyla incelenen iklim politikalarının çoğunun maliyeti umulan faydayı aşmaktadır (Dixon-Jorgenson, 2013: 12).

DICE modeline adını veren kısaltma, aslında İngilizcede zar anlamına gelmektedir ve incelenen konunun içerdiği riskleri vurgulamak için bilinçli olarak tercih edilmiştir (Nordhaus, 2019: 1996). 1994'ten günümüze kadar çok defa güncellenen DICE modelinin (DICE-2016R3) olabildiğince sade hali aşağıdaki eşitliklerde matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$\max_{c(t)} W = \max_{c(t)} \left[\int_0^{\infty} U[c(t)] e^{-\rho t} dt \right] \quad (1)$$

$$c(t) = M(y(t); z(t); \alpha; \varepsilon(t)) \quad (2)$$

Modelde yer alan $c(t)$, tüketimi; $y(t)$, küresel sıcaklık gibi diğer içsel değişkenleri; $z(t)$, nüfus gibi dışsal değişkenleri; α , iklime duyarlılık gibi parametreleri; ρ , zaman tercihini ve $\varepsilon(t)$, stokastik rassal değişkenleri temsil etmektedir. Bu modeldeki birinci eşitlik tüketim yolunun optimizasyonunu, ikinci eşitlik ise optimizasyonun tabi olduğu kompleks kısıtların sadeleştirilmiş halini göstermektedir. Esasen değişkenler

arasındaki kompleks etkileşim, 20 civarı eşitlikle modele dahil edilmiştir (Nordhaus, 2019: 1995). Bu sayede, değişkenlerin trendleri ve alternatif politika tercihlerinin fayda ve maliyetleri içsel olarak tutarlı bir biçimde modelde yer alır. İskonto oranı veya zaman tercihi gibi varsayımların değiştirilmesi ya da politikaların farklılaştırılması istenirse diğer değişkenler yeni varsayımlarla tutarlı şekilde hareket ederler. Modelin güncellenebilir yapısı, bilimsel araştırmalarla elde edilen yeni bulguların modele entegre edilebilmesini ve modele farklı özelliklerin kazandırılabilmesini sağlar (Nordhaus, 2019). Nitekim RICE modeliyle Nordhaus, DICE modelini kısmen değiştirmiş, modele bölgesel ayrıştırmalara izin veren bir yapı kazandırmıştır (Nordhaus, 1996). Benzer şekilde, karbon ticaretinin ve bölgesel yoğunlaşmanın modele eklenmesiyle TDICE (Trade DICE) modeli geliştirilmiştir (Nordhaus, 2021).

Nordhaus'un bütünlük değerleme modellerine benzer mantıkla tasarlanmış çeşitli modeller literatürde yer almıştır. Örneğin, DICE modelinde öngörülen homojen karbon fiyatının gerçek dünya koşullarına uymadığına vurgu yapan Tol (2020), ülkelerin politikalarındaki farklılıklara dikkat çekmiş ve heterojen karbon fiyatını analiz edebilecek şekilde DICE modelini yeniden kalibre etmiştir. PAGE modeli ise iklim değişikliğinin ekonomik olmayan etkilerini de (biyolojik çeşitlilik gibi) içeren bütünlük bir etki modülüne sahiptir. Ayrıca PAGE modeli, belirsizlik durumlarını, aşırı uç değerlere doğru gidiş ihtimalini ve etkilerin değişiklik gösterdiği eşik düzeylerin modele dahil edilebilmesini de sağlamaktadır (Van der Mensbrugghe, 2013: 940).

FUND modeli, DICE ve PAGE modellerinin basit makroekonomik hasar fonksiyonlarını ayrıştırabilmektedir. Böylece, deniz seviyesinin yükselmesinden kaynaklanan etkiler, sağlık sorunları ve benzeri gibi farklı etkilerden ayrıştırılarak incelenebilmektedir. Dünya Bankası ENVISAGE modelini tasarlayarak FUND modelinin ayrıştırma özelliğini biraz daha geliştirmiştir. Bu sayede, büyük bölgesel ve sektörel etki

ayrıştırmalarına izin veren bir model elde edilmiştir (Van der Mensbrugghe, 2013: 940).

ENVISAGE modeli, sera gazlarının bazılarının sektörel faaliyetlerden kaynaklandığını dikkate almış ve dolayısıyla iklim değişiminin sektörel etkilerini ayrıştırarak iklim ile ekonomi arasındaki ilişkileri modellemiştir. Milyonlarca denklemi barındıran küresel dolaşım modelleri (GCMs), iklimi etkileyen kompleks ilişkileri mekanda ve zamanda yüksek ayrıntı düzeyinde çalışmayı mümkün kılan modellerdir. ENVISAGE modeli ise bu karmaşık yapıyı sadeleştirerek iklim ile ekonomi arasındaki ilişkileri sadece yedi adet geri bildirim mekanizmasıyla küresel ortalama sıcaklık değerleri üzerinden özetlemiştir (Van der Mensbrugghe, 2013: 979-980).

Öte yandan, neoklasik temelli bütünlük değerlendirme modellerinin sosyal ve kurumsal yapıları modele dahil etmemesi, iklim değişimi etkilerinin ani yıkımlar/çöküşler/durmalar şeklinde ortaya çıkma ihtimalini göz ardı etmesi ve belirsizlik durumları hakkında varsayımlarla sonuçlar üretmesi yoğun eleştirilere sebep olmuştur (Weitzman, 2007; Pindyck, 2013; Stern, 2013). Örneğin, Rezai, Taylor ve Mechler (2013), mikro yaklaşıma sahip modellerin önerdiği optimizasyon fikrini tümünden reddetmiş ve istihdam, sürdürülebilir tüketim, sürdürülebilir büyüme gibi kavramları sistem yaklaşımıyla inceleyen ekolojik makro iktisadi bir model önerisinde bulunmuştur. Makro iktisadın genel temayülüne uygun olarak talep yanlı ve Keynesyen büyüme teorisi üzerine inşa edilen bu modelde, (i) sürdürülebilir tüketim, (ii) çalışma sürelerinin düşürülmesi, (iii) emek verimliliğinin rolü ve enerji yoğunluğu ile (iv) geri tepme etkisi (rebound effect) analize dahil edilmiştir.

Endüstri öncesi dönemin 2°C üstü olarak belirlenen küresel ısınmanın ekolojik üst limiti, sürdürülebilir tüketim seviyesinin hesaplanmasında ana dayanak noktası olmuştur. Arz ve talepteki artış hızını yavaşlatmak, muhtemelen işsizlik artışı ile sonuçlanacaktır. Bunu engellemek için modele çalışma sürelerinin düşürülmesi dahil edilmiş, çalışma sürelerindeki düşüşlerin

emek verimindeki artışla paralel ilerlemesi ve böylece istikrar kazanması öngörülmüştür. Enerji verimliliğindeki artışlar, büyümenin sınırlarını genişlettiği için teşvik edilmiştir.

λ , emeğin verimi; X , hasıla ve L , emek olmak üzere, birim emeğin ürettiği katma değer üçüncü eşitlikte ifade edilmiştir. Dördüncü eşitlikte E , enerji miktarı ve ε , enerjinin verimliliğini göstermek üzere, birim enerjinin hasılaya katkısı; beşinci eşitlikte birim emeğin enerji kullanımı üzerinden enerji yoğunluğu (e) formüle edilmiştir.

$$\lambda = \frac{X}{L} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{X}{E} \quad (4)$$

$$e = \frac{E}{L} \quad (5)$$

Bu durumda emeğin verimliliği (λ), enerji verimliliği (ε) ile enerji yoğunluğunun (e) çarpımına eşittir.

$$\lambda = \varepsilon e \quad (6)$$

Öyleyse emeğin verimindeki artış da enerji verimliliğindeki artış ile enerji yoğunluğundaki artışın toplamına eşittir.

$$\hat{\lambda} = \hat{\varepsilon} + \hat{e} \quad (7)$$

Bu teorik çerçevede konuya yaklaşıldığında, enerji verimliliğindeki artış, talep artışı ve büyümenin olumsuz çevre etkilerini dengeleyebilecek en önemli silahtır.

Genellikle mikro teoride kullanılan ve Jevon Paradoksu olarak da adlandırılan geri tepme etkisi, Tasarruf Paradoksuna benzer bir mekanizmayla makro ekonomik çerçevede modele dahil edilmiştir. Şöyle ki hükümetlerin sera gazı salınımını azaltmak için üretim üzerinden alacağı vergiler ve bu vergileri kullanarak yapacağı harcamalar, talep yanlı makro iktisadi bir modelde, toplam talebi arttırarak büyümeye neden olabilecektir. Bu durumda karbon vergisinin bile – hükümetin karbon azaltma politikalarını (harcamalarını) finanse ederek – büyümeye katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Yatırım (I), tasarruf (S) eşitliği bağlamında, hasıla (Y) içerisinde azaltma politikaları için ayrılan pay (μ), bir tür yatırım olarak düşünüldüğünde, μ artarken S artacak, tüketim (C), azalacaktır.

$$I + \mu Y = S = Y - C \quad (8)$$

Sonuçta çarpan mekanizması ortaya çıkacaktır.

$$Y = \frac{I + C}{1 - \mu} \quad (9)$$

Bu durumda, azaltma politikaları için ayrılan pay (μ) arttıkça dokuzuncu eşitlikte ifade edilen yatırım çarpanı artacak ve çarpana bağlı olarak çıktı düzeyi artacaktır. Tabiatıyla, çıktı düzeyindeki artış, sera gazı emisyonlarını düşürme amacıyla çelişebilir. Dolayısıyla azaltma politikalarının ekonomiyi yavaşlatacağı iddiasına teorik düzeyde bir cevap niteliğindedir.

Sistem yaklaşımıyla makro düzeyde geliştirilen bu model, neoklasik mikro optimizasyon politikalarından ayrılmıştır. Azaltma politikalarının ekonomiyi mutlak manada yavaşlatmak anlamına gelmediğini, yatırım çarpanı mekanizmasıyla ekonominin büyümesinin sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca, karbon yoğunluğunun sabit kaldığı durumda büyümenin nihai amaca zarar vereceği, bu nedenle enerji verimliliğine ağırlık verilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Benzer şekilde literatürde sayıları giderek artan ve büyüme sonrası (post-growth) yaklaşımlar şeklinde sınıflandırılan modeller de vardır. Bu modellerde amaç, sıfır veya eksi büyüme değil; doğal kaynak ve enerji tüketimini azaltmak ve tüketilen miktarların ekolojik sınırlar içerisinde kalmalarını sağlamaktır (Hardt ve O'Neil, 2017: 198). Dolayısıyla bu tarz modellerde, büyümeyi hedefleyen bir ekonomik yapıdan ziyade çevresel limitlerin veri kabul edildiği ve sınırların aşılmasını engelleyecek politikaların belirlendiği bir yaklaşım söz konusudur.

Neoklasik optimizasyon yaklaşımına karşı geliştirilen diğer bir eleştiri, Stern ve Stiglitz (2021)'in çalışmalarında, mevcut modellerin

sistematik yanlışlıklar/sapmalar içerdiği, bu nedenle iklim değişikliğinin tehlikesinin eksik hesaplandığı şeklindedir. Karbonun sosyal maliyetinin (SSC) olması gerekenden çok daha düşük hesaplanması, politika yapıcılarını tedbir almakta atalete sevk etmektedir.

Fisher-Vanden ve Weyant (2020), mevcut bütünleşik değerlendirme modellerinin eksikliklerine dikkat çekerek gelecekte modellerin ne yönde gelişmesi gerektiğini üç maddede özetlemiştir. Birincisi, mevcut modellerin mekânsal, zamansal ve sektörel boyutları geliştirilmeli, bunun için bilgisayar ve yazılım teknolojilerinden daha fazla istifade edilmelidir. İkincisi, bölge ve sektörler arasındaki karşılıklı etkileşim, geri bildirim mekanizmalarıyla modellere eklenmelidir. Üçüncüsü, yeni modeller farklı metodolojilerin kıyaslanmasına imkan vermelidir. Modellerde istenen gelişmeyi gösterebilmek için de hem insan kaynağı hem de kurumsal altyapının iyileştirilmesi gereklidir (2020: 483-485).

4. İklim Değişikliğiyle Mücadelede Ekonomik Araçlar

İklim değişikliğiyle mücadele politikalarının en önemlisi sera gazlarına vergi konmasıdır. Bu sayede, piyasa tarafından fiyatlanmayan emisyonlar, devlet eliyle fiyatlanmış ve piyasa başarısızlığı düzeltilmiş olur. Sera gazı fiyatının tespit edilmesi için ek bir ton karbondioksit emisyonunun (veya buna eşit maliyetteki diğer sera gazı emisyonlarının) ekonomik maliyeti hesaplanmalıdır. Bu hesaplama, optimize edilmiş iklim politikası koşullarında, karbonun sosyal maliyeti ile karbon vergisini eşitlemelidir. Başka bir ifadeyle bu değer, karbon salınımına sebep olan enerji tüketimi ve endüstriyel faaliyetin sağladığı cari refah artışı ile alternatif maliyetin (vazgeçilen gelecek tüketimlerin iskonto edilmiş toplamalarının) eşitlendiği değerdir.

Karbon vergisi aracılığıyla karbonun fiyatlanması sinyal görevi görerek hem üreticilerin hem tüketicilerin tercihlerini yeniden şekillendirir. Karbon vergisi kanalıyla tüketiciler, kullandıkları mal ve hizmetlerin sebep olduğu karbon miktarını anlar, yüksek karbon salınımına neden olan, karbon-yoğun

ürünleri daha az tüketirler. Üreticiler de benzer şekilde, hangi ürünlerin düşük, hangi ürünlerin yüksek karbonlu olduğunu anlarlar. Ayrıca, düşük karbonlu hammadde ve ara malı ile üretim teknoloji ve sistemleri görece ucuz kalacağı için üretim süreçlerinde düşük karbonlu ürünler daha fazla tercih edilirler. Piyasa düşük karbonlu ürünleri teşvik eden bir hal aldığı anda, arge faaliyetleri ve yatırımlar düşük karbonlu ürün ve sistemlere tahsis edilirler. Karbonun fiyatı piyasa için önemli bir gösterge olduğunda, bu fiyatın oluşumunu etkileyen iklim mekanizmaları daha ayrıntılı çalışmalara konu olur ve iklim değişikliğinin fiziksel mekanizmaları hakkında daha hassas bulgulara ulaşılır (Nordhaus, 2019: 2003).

Ancak karbon vergisinin uygulanmasında muhtelif sorunlar ortaya çıkmaktadır. Evvela, karbonun sosyal maliyetini hesaplamaya çalışan araştırmalarda birbiriyle çelişkili sonuçlar ortaya konmaktadır (Nordhaus, 2019: 2004). Bu nedenle uygulamada birlik sağlamak güçleşmektedir. Bununla birlikte politikaların etkinliği için uluslararası katılımın yüksek olması elzemdir. Politikalar küresel ölçekte dizayn edilmeli, dolayısıyla katılımcı olmalı, etkin olmalı (sorunu çözebilecek kadar güçlü olmalı), verimli olmalı (mümkün olan en düşük maliyetle uygulanmalı) ve adil olmalıdır. Maliyetlerin ve yükümlülüklerin paylaşımında, sorunun ortaya çıkmasındaki tarihsel mesuliyetler dikkate alınmalı, ülkelerin taşıyabilecekleri nispette yük dağıtılmalıdır (Stern, 2008: 26). Bahsi geçen mekanizmalar kurumsallaşmadan uygulamada başarı sağlanması ihtimali düşük olacaktır.

Karbonun fiyatlanmasının yanı sıra karbon miktarı için bir üst limit belirlenerek sınırlandırılması ve sınırlandırılmış olan karbon miktarının ülkeler arasında tahsise konu olması da gündemdedir. Bu tahsisatlar, ülkeler arasında ticareti yapılabilir emtialar veya finansal piyasalarda alınıp satılabilir senetler gibi olacaktır. Böylece, "optimal karbon fiyatı" veya "karbonun sosyal maliyeti" piyasada belirlenecektir.

Karbon fiyatlamasının regülasyonlar ve çeşitli müdahalelerle desteklenmesi gerektiğine ilişkin görüşler de vardır (Stiglitz, 2019: 610).

Zamana, mekana ve kullanım özelliklerine göre değişkenlik gösteren kamu müdahaleleri, karbon fiyatlaması politikasının amacına ulaşmasını kolaylaştırabilir. Regülasyonlar; arazi ve ormanların idaresi, kentlerin tasarımı, altyapı yatırımları gibi konularda iklim standartlarının belirlenmesi ve düşük karbonlu teknolojilerin teşvik edilmesi şeklinde düzenlenebilirler (Stiglitz vd., 2017: 46).

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu araştırmada, 1970'lerde iklim değişikliğinin iktisadi boyutları hakkında başlayan ilk çalışmalardan 1994'te ilk bütünlük değerleme modellerinin geliştirilmesine ve günümüzdeki neoklasik ve keynesyen yaklaşımlarla ifade edilen çok sayıda model arasındaki rekabete kadar iklim değişikliği makro iktisadi hakkında kapsamlı bir literatür taraması sunulmuştur. Alanda öncü çalışmalarıyla ağırlığını hissettiren Nordhaus'un literatüre kazandırdığı bütünlük değerleme modellerinin çeşitli versiyonları, piyasa başarısızlığını giderme çabasında olan karar alıcılara yol gösterir niteliktedir (Gümüş ve Buluş, 2020).

Öte yandan bu çalışmada, Nordhaus'un fayda maliyet analizleri üzerinden optimum politika önerisi şeklinde ifade ettiği bulgularını, sorunun ciddiyetini hafiflettiği iddiasıyla eleştiren çalışmalara da yer verilmiştir. Çevresel sınırlara riayet etme noktasında daha sert politikalar öneren görüşler, özellikle büyümenin sınırları ve sera gazı salınımını azaltacak teknolojik gelişmelere dikkat çekmektedirler.

Birbirine zıt kutuplar gibi duran farklı yaklaşımların teknolojik gelişmenin ve enerji verimliliğinin önemi noktasında yakın dönemde uzlaşma eğilimi gösterdiği müşahade edilmiştir. Ayrıca, alternatif görüşlerin çatışmasından ziyade tamamlayıcı bir rol üstlenmesinin gerekliliği de gündeme gelmektedir (Wagner, 2021). Bundan sonraki çalışmalarda, hem neoklasik hem de keynesyen literatürün çevre ve iktisat etkileşimini daha yüksek ayrıntı düzeylerinde çalışması ve bulguların keşiflerinin vurgulanması, iklim değişikliğiyle mücadele

politikalarının doğru bir zemine oturtulması açısından elzemdir.

İklim değişikliği çözümlenmesi ve çare bulunması gereken önemli bir sorun olarak hem dünya gündemini hem de iktisat yazını meşgul etmektedir (Tagliapietra ve Wolff, 2021). Bu durumu yapılan çalışmaların sayısındaki artıştan takip etmek de mümkündür (Drupp vd., 2020). İklim değişikliğinin ekonomik, fiziksel, siyasi pek çok alanda gündemde olması umut verici olmakla birlikte sorunun büyüklüğü konusunda uzlaşmaktan ve küresel ölçekte yüksek katılım sağlayarak hangi tedbirlerin uygulanacağına karar vermekten uzağız. Dolayısıyla gidilecek daha çok yol olduğu ifade edilebilir.

KAYNAKÇA

- Andersson, M., Baccianti, C. ve Morgan, J. (2020). Climate change and the macro economy. *ECB Occasional Paper*, (2020)243.
- Bowen, A., Campiglio, E. ve Tavoni, M. (2014). A macroeconomic perspective on climate change mitigation: Meeting the financing challenge. *Climate Change Economics*, 5(01), 1440005.
- Dafermos, Y., Nikolaidi, M. ve Galanis, G. (2018). Climate change, financial stability and monetary policy. *Ecological Economics*, 152, 219-234.
- Dixon, P. B. ve Jorgenson, D. (2013). Introduction. (İçinde) *Handbook of computable general equilibrium modeling*. (Eds.) Dixon, P. B., ve Jorgenson, D., 1-22.
- Drupp, M. A., Baumgärtner, S., Meyer, M., Quaas, M. F. ve von Wehrden, H. (2020). Between Ostrom and Nordhaus: The research landscape of sustainability economics. *Ecological Economics*, 172, 106620.
- Feyen, E., Utz, R., Zuccardi Huertas, I., Bogdan, O. ve Moon, J. (2020). *Macro-financial aspects of climate change*. The World Bank.
- Fisher-Vanden, K. ve Weyant, J. (2020). The Evolution of Integrated Assessment: Developing the Next Generation of Use-

Inspired Integrated Assessment Tools. *Annual Review of Resource Economics*, 12, 471-487.

Gümüş, B. ve Buluş, A. (2020). Uluslararası Çevre Sorunları Ve William Nordhaus'un Çevre Ekonomisine Katkıları. *Alanya Akademik Bakış*, 4(3), 1015-1031.

Hagens, N. J. (2020). Economics for the future—Beyond the superorganism. *Ecological Economics*, 169, 106520.

Hamilton, K. ve Atkinson, G. (2006). *Wealth, welfare and sustainability: Advances in measuring sustainable development*. Edward Elgar Publishing.

Hardt, L., & O'Neill, D. W. (2017). Ecological macroeconomic models: assessing current developments. *Ecological Economics*, 134, 198-211.

IPCC – International Panel on Climate Change (2019). IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C.

Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N., Pesaran, M. H., Raissi, M., ve Yang, J. C. (2019). *Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis* (No. w26167). National Bureau of Economic Research.

Klein, R. J., Huq, S., Denton, F., Downing, T. E., Richels, R. G., Robinson, J. B., ve Toth, F. L. (2007). Inter-relationships between adaptation and mitigation.

Nordhaus, W. D. (1996). A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies. *The American Economic Review*, 86(4), 741-765.

Nordhaus, W. D. (2008). *A Question of Balance Weighing the Options on Global Warming Policies*.

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

Nordhaus, W. D. (2013b). Integrated Economic and Climate Modeling. (içinde) *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, (Ed.) Dixon, P. B. ve Jorgenson, D. W., 1069-1131.

Nordhaus, W. (2018). Projections and uncertainties about climate change in an era of minimal climate policies. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(3), 333-60.

Nordhaus, W. D. (2019). Climate change: the ultimate challenge for economics. *American Economic Review*, 109(6), 1991-2014.

Nordhaus, W. D. (2021). Climate Club Futures: On the Effectiveness of Future Climate Clubs.

Owen, A. D. ve Hanley, N. (2004). Introduction. (içinde) *The Economics of Climate Change*, Owen, Antony D. ve Hanley, Nick (Ed .), 1-5.

Pindyck, R. S. (2013). Climate change policy: What do the models tell us?. *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860-72.

Rezai, A. (2011). The opportunity cost of climate policy: a question of reference. *The Scandinavian Journal of Economics*, 113(4), 885-903.

Rezai, A., Taylor, L. ve Mechler, R. (2013). Ecological macroeconomics: An application to climate change. *Ecological Economics*, 85, 69-76.

Roos, M. ve Hoffart, F. M. (2021). *Climate Economics: A Call for More Pluralism and Responsibility*. Springer Nature.

Stern, N. (2008). The economics of climate change. *American Economic Review*, 98(2), 1-37.

Stern, N. (2013). The structure of economic modeling of the potential impacts of climate change: grafting gross underestimation of risk onto already narrow science models. *Journal of Economic Literature*, 51(3), 838-59.

Stern, N. ve Stiglitz, J. E. (2021). *The social cost of carbon, risk, distribution, market failures: An alternative approach* (No. w28472). National Bureau of Economic Research.

Stiglitz, J. E. (2019). Addressing climate change through price and non-price interventions. *European Economic Review*, 119, 594-612.

Stiglitz, J. E., Stern, N., Duan, M., Edenhofer, O., Giraud, G., Heal, G. M., ... ve Winkler, H. (2017). *Report of the high-level commission on carbon prices*.

Tagliapietra, S., ve Wolff, G. B. (2021). Form a climate club: United States, European Union and China.

Tol, R. S. (2020). Selfish Bureaucrats and Policy Heterogeneity in Nordhaus' dice. *Climate Change Economics*, 11(04), 2040006.

Van der Mensbrugghe, D. (2013). Modeling the Global Economy e Forward-Looking Scenarios for Agriculture. (içinde) *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, (Ed.) Dixon, P. B. ve Jorgenson, D. W., 933-994.

Van Vuuren, D. P., Isaac, M., Kundzewicz, Z. W., Arnell, N., Barker, T., Criqui, P., Berkhout, F., Hilderink, H., Hinkel, J., Hof, A., Kitous, A., Kram, T., Mechler, R. ve Scricciu, S. (2011). The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*.

Wagner, G. (2021). Recalculate the social cost of carbon. *Nature Climate Change*, 11, 293–299.

Weitzman, M. (2007). *Structural uncertainty and the value of statistical life in the economics of catastrophic climate change* (No. w13490). National Bureau of Economic Research.