

Çevresel Olarak Küçük Ekonomilerde Optimal İklim Değişikliği Uyum ve Azaltım Harcamaları

Yazar(lar): OMAR CHISARI, SEBASTIAN GALIANI ve SEBASTIAN MILLER

Kaynak *Economía* , Cilt 17, No. 1 (Güz 2016), s. 65-94 : Brookings

Enstitüsü Yayınları

Kararlı URL: <https://www.jstor.org/stable/10.2307/economia.17.1.65>

---

JSTOR, akademisyenlerin, araştırmacıların ve öğrencilerin güvenilir bir dijital arşivdeki çok çeşitli içeriği keşfetmelerine, kullanmalarına ve geliştirmelerine yardımcı olan kar amacı gütmeyen bir hizmettir. Üretkenliği artırmak ve yeni akademik formları kolaylaştırmak için bilgi teknolojilerini ve araçlarını kullanıyoruz. JSTOR hakkında daha fazla bilgi için lütfen [support@jstor.org](mailto:support@jstor.org) adresiyle iletişime geçin.

JSTOR arşivini kullanmanız, <https://about.jstor.org/terms> adresinde bulunan Kullanım Hüküm ve Koşullarını kabul ettiğinizi gösterir.



Brookings Institution Press, aşağıdaki kaynakların dijitalleştirilmesi, korunması ve erişiminin genişletilmesi için JSTOR ile işbirliği yapıyor  
*Economía*

JSTOR

**OMAR CHISARI**

Universidad Argentina de la Empresa (UADE)  
ve Ulusal Bilimsel ve  
Teknik Konsey (CONICET)

**SEBASTIAN GALIANI**

Maryland Üniversitesi

**SEBASTIAN MILLER**

Amerikalılar Arası Kalkınma Bankası (IDB)

# Çevresel Olarak Küçük Ekonomilerde Optimal İklim Değişikliği Uyum ve Azaltım Harcamaları

**ÖZET** Çevresel açıdan küçük ekonomiler, yani çok az katkıda buldukları emisyonlarda dışsal bir artışa tanık olan ekonomiler için azaltım ve uyum stratejilerinin optimal rolünü inceliyoruz. Sonuçlarımız üç ana sonuca yol açmaktadır. Birincisi, küçük ekonomiler çevresel çabalarını, eğer varsa, adaptasyon üzerine yoğunlaştırmalıdır. Bu, bu ekonomilerin bedavacılığa düşkün olduğu fikrinden ziyade maliyet etkinliğine dayalı bir tavsiyedir. İkinci olarak, uyum için yeterince harcama yapamayan çevresel açıdan küçük ekonomiler, olumsuz iklim şoklarının bir sonucu olarak yoksullaşmaları nedeniyle uzun vadede azaltım için daha az harcama yapmak zorunda kalabilirler. Üçüncü olarak, daha yüksek azaltım harcamaları sadece daha yüksek optimal uyum harcamalarının bir sonucu olarak değil, aynı zamanda daha zengin ülkeler tarafından sağlanan azaltım teşviklerine artan uyum nedeniyle de ortaya çıkabilir. Simülasyonlar için Brezilya, Şili ve Amerika Birleşik Devletleri için kalibre edilmiş bir optimal büyüme modeli kullanıyoruz.

*JEL sınıflandırmaları:* Q52, Q54

*Anahtar Kelimeler:* optimal azaltım ve uyum politikaları; çevresel olarak küçük ekonomiler

**A**ntropojenik iklim değişikliği, büyük ölçekli bir piyasa başarısızlığının mükemmel bir örneğini teşkil etmektedir. Bu alanda önde gelen otorite olan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, aynı zamanda insanlığın refahı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Dördüncü IPCC Değerlendirme Raporu, fosil yakıtların yakılmasıyla ortaya çıkan sera gazı konsantrasyonunun, yüzyılın sonuna kadar önemli bir sıcaklık artışına neden olmasının muhtemel olduğunu belirtmektedir.

**TEŞEKKÜRLER** Yazarlar Brian Feld ve Leonardo Mastronardi'ye araştırmadaki yardımları ve Claudio Raddatz'a yorumları için teşekkür eder.



Yüzyılda, sonuçları arasında daha kuru topraklar, aşırı hava değışiklikleri, dağ buzullarının geri çekilmesi ve yükselen deniz seviyeleri yer alacaktır.<sup>1</sup> Bu etkilerin büyük ölçüde coğrafi çeşitlilik göstermesi beklenmektedir ve ciddi hasara neden olan etkilerden verimliliği artıran değışikliklere kadar çeşitlilik gösterebilir. Bu fikir birliğine rağmen, iklimin karmaşıklığı, belirli sera gazı konsantrasyonları ile küresel sıcaklıklardaki değışiklikler arasındaki ilişkiye dair kesin bir tahminde son derece zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla belirsizlikle yaşamaya mahkumuz. Bununla birlikte, daha sıcak bir dünyanın net yıllık maliyetine ilişkin tahminler, küresel gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) yüzde 2 ila 3'ü civarındadır.<sup>(2)</sup>

Bu değışikliklerin, çoğu toplam emisyonların sadece küçük bir kısmından sorumlu olan gelişmekte olan ülkeler üzerinde güçlü bir etkiye sahip olması beklenmektedir; çünkü bu ülkelerin toplumları iklime son derece duyarlı kaynaklara bağımlı olma eğilimindedir.<sup>3</sup> Latin Amerika ve Karayip ülkeleri buna bir örnektir: insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan başlıca sera gazı olan atmosferdeki karbondioksite katkıları dünya toplamının yüzde 3.9'unu oluştururken, ABD yüzde 23.8'inden sorumludur.<sup>4</sup> Azaltım ve uyum, iklim değışikliğiyle mücadele stratejisinin iki temel unsurudur. Azaltım, sera gazı emisyonlarını azaltmaya veya atmosferden tutulmalarını arttırmaya yardımcı olan ve böylece gelecekte olumsuz iklim değışikliği şokları olasılığını düşüren tüm eylemleri kapsar. Uyum, bu şokları öngörmeye veya telafi etmeye yönelik eylemleri içerir. Ülkelerin ne tür politikalar benimseyeceklerine ilişkin seçimleri farklı seçeneklerin göreceli maliyetleri ve etkinliği tarafından yönlendirilir.

Yukarıdaki istatistikler göz önüne alındığında, karbondioksit emisyonlarının büyüme hızının azaltılması Latin Amerika ve Karayip ülkeleri için etkisiz bir strateji olurken, örneğin Amerika Birleşik Devletleri için nispeten daha etkili strateji olacaktır. Bu durum, bağlayıcı bir küresel anlaşmanın yokluğunda, optimal stratejilerin ülkeler arasında farklılık gösterebileceğini ve büyük ekonomilerin (ürettikleri emisyonlar açısından) küçük ekonomilerden oldukça farklı politikalar seçebileceğini göstermektedir.

1. Solomon ve diğerleri (2007).
2. Nordhaus (2008); Smit ve Pilifosova (2001).
3. Adger ve diğerleri, (2003).
4. ABD Enerji Bilgi İdaresi (EIA), "Enerji Tüketiminden Kaynaklanan Toplam Karbondioksit Emisyonları (Milyon Metrik Ton)," çeşitli yıllar (www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid= 90&pid= 44&aid= 8 [Haziran 2013]).

Bununla birlikte, literatür öncelikle azaltım politikalarının optimal seçimine adanmıştır.<sup>5</sup> Uyum politikaları ancak son zamanlarda dikkat çekmeye ve potansiyel olarak yararlı bir araç olarak kabul edilmeye başlanmıştır.<sup>6</sup> Her iki tür politika eyleminin aynı anda mevcut olduğu durumlarda optimal seçim tartışmaları zeminde daha da zayıftır.

Dinamik entegre iklim-ekonomi (DICE) ruhuna uygun, ancak hem azaltım hem de uyum harcamalarını içeren bir model sunarak daha dengeli bir tartışmaya katkıda bulunmayı amaçlıyoruz.<sup>7</sup> analizimiz pozitiftir. Farklı ekonomilerin, küresel bir politikanın yokluğunda uyum ve azaltım konusunda en iyi şekilde hareket etmeleri halinde, başka bir deyişle ülkelerin izleyebilecekleri çevre politikalarına yönelik bağlayıcı bir kısıtlama olmaması halinde ne yapabileceklerini inceliyoruz. Bu, kendi başına literatürde önemli bir gelişmeyi temsil etse de, bu politikaların (çoğunlukla azaltım) etkilerinin, her ülkenin dünyanın geri kalanına göre toplam emisyonlara katkısının büyüklüğüne bağlı olarak ülkeden ülkeye farklılık göstermesi olasılığımıza izin vererek daha da ileri gidiyoruz. Bu nedenle, ana sonuçlarımızı sadece analitik olarak türetmekle kalmıyor, aynı zamanda modelimizi kalibre ediyor ve simüle ediyoruz. Buradaki fikir, mevcut uluslararası anlaşmalar kapsamında farklı ülke tipleri arasında benimsenmesi muhtemel farklı politikalar için büyüklük sıraları sağlamaktır.

Farklı senaryolar altında azaltım ve uyum harcamaları için en uygun yörüngeleri tasvir etmek için, modeli çevresel olarak büyük, orta ölçekli ve küçük ekonomiler için kalibre ediyoruz.<sup>8</sup> Sonuçlarımız bize aşağıdaki içgörülerini sağlamaktadır. İlk olarak, küçük ekonomiler çevresel çabalarını, eğer varsa, adaptasyon üzerinde yoğunlaştırma eğiliminde olacaktır. Daha büyük ülkeler hem azaltım hem de uyum için mutlak anlamda daha fazla harcama yapabilirse de, azaltım-uyum oranı daha büyük ekonomiler için daha yüksek olacaktır. İkinci olarak, uyum için yeterince harcama yapamayan küçük ekonomiler, iklim şokları altında artan yoksullaşmaları nedeniyle azaltım için daha da harcama yapmak zorunda kalabilirler. Üçüncüsü, daha yüksek azaltım harcamaları sadece daha büyük optimal uyum harcamalarının bir sonucu olarak değil, aynı zamanda daha zengin ülkeler tarafından sağlanan azaltım teşviklerine artan uyum nedeniyle de ortaya çıkabilir.

5. Bkz. örneğin, Copeland ve Taylor (1994); Stokey (1998); Brock ve Taylor (2010); Nordhaus (2008).

6. Lecocq ve Shalizi (2007); de Bruin, Dellink ve Tol (2009); Chisari ve Galiani (2010); Hallegatte, Lecocq ve de Perthuis (2011).

7. Bkz Nordhaus (2008).

8. Bu sınıflandırmanın kriterlerini makalenin ilerleyen bölümlerinde tartışacağız.

Bu bulgular, sera gazlarının azaltılmasının marjinal maliyetlerinin her sektör ve ülkede eşitlenmesini ve aynı zamanda her yıl marjinal maliyetin gelecekteki daha az zarar açısından marjinal faydaya eşit olmasını gerektiren Nordhaus tipi yeni bir bakış açısı sağlamaktadır. Nordhaus'un da belirttiği gibi, "Eğer verimsiz uygulama gerçekleşirse (örneğin, izinlerin verimsiz tahsisi, farklı standartlar, istisnalar, verimsiz vergilendirme veya bölgesel muafiyetler yoluyla), o zaman maliyetler artacak ve optimal politikanın bile fayda-maliyet oranı kolayca düşebilecektir."<sup>9</sup> Bir önceki paragrafta bahsedilen birinci ve ikinci bulgular, bu politikaların gerektirdiği yüksek koordinasyon seviyesi ile farklı çevresel profillere (veya büyüklüklere) ve yapısal özelliklere sahip ekonomilerin optimal tepkileri arasında gerilimler olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bir sonraki bölümde konuyla ilgili literatürün kısa bir tartışması sunulmaktadır. Makale, bir ülkeyi çevresel açıdan küçük olarak sınıflandırmak için kullanılan kriterlerle birlikte modeli sunmaktadır. Buradaki amaç, modelin temel niteliksel özelliklerini sunmak ve durağan durumun özelliklerini tanımlamaktır. Daha sonra modelin kalibrasyon sonuçları ve karşılaştırmalı dinamiklerin çeşitli simülasyonları sunulmaktadır. Son bölümde ise sonuca varılmaktadır.

## Literatür Taraması

İlk olarak 1994 yılında Nordhaus tarafından tanımlanan DICE modeli, emisyonları, konsantrasyonları, iklim değişikliğini, hasarı ve emisyon kontrollerini dikkate alarak ekonomik büyüme ve jeofiziksel fonksiyonları içermektedir.<sup>(10)</sup> Nordhaus daha sonra insan faaliyetlerinin iklim üzerindeki ekonomik etkisi üzerine mevcut en kapsamlı çalışmalardan birinde modeli güncellemiştir.<sup>11</sup> Azaltım harcamalarının sonuçta toplam emisyonları düşürdüğünü (bu da sıcaklıkları etkilemekte, bu da toplam üretimin ne kadarının kaybedileceğini etkilemektedir), ancak ülkelerin iklimsel uyarıcılara uyum sağlama veya ayarlama olasılığının sistematik olarak araştırılmadığını tespit etmiştir. Diğer ilk makaleler, azaltım ve uyum stratejilerinin iklim temelli kalkınma politikasına entegre edilmesi ihtiyacını vurgulamaktadır.<sup>12</sup> Burada, Nordhaus'tan çok daha basit bir model sunarak, iklim değişikliğine odaklanıyoruz.

9. Nordhaus (2008, s. 88).

10. Nordhaus (1994).

11. Nordhaus (2008).

12. Tol (2005); Klein, Schipper ve Dessai (2005).

Farklı çevresel büyüklüklere sahip ekonomilerde hem azaltım hem de uyum politikalarının etkileri.

Çalışmamız bu konudaki diğer çalışmalarla da uyumludur. Örneğin, Lecocq ve Shalizi optimal politikaların ekonominin çevresel büyüklüğüne bağlı olarak değişebileceğini kabul etmektedir: "Azaltımın kapsamı çoğunlukla bireysel ülke politika yapıcılarını için dışsal olduğundan, optimal adaptasyon stratejisi bu dışsal parametreye ne ölçüde bağlıdır? Bu . . . modelin sayısal olarak tahmin edilmesini gerektirmektedir ki bu çalışmada buna teşebbüs edilmemiştir."<sup>13</sup> Modelimiz bu soruyu, dünyanın geri kalanının emisyonları çevrenin doğal emilim oranından daha yüksek olduğu için negatif amortisman oranına sahip bir kirletici stoku durumunu dikkate almamızı sağlayan bu parametreyi dahil ederek ele almaktadır.

Konuyla yakından ilgili bir başka çalışma da hem DICE hem de bölgesel entegre iklim-ekonomi (RICE) modellerine adaptasyonu dahil eden de Bruin, Dellink ve Tol'un çalışmasıdır.<sup>14</sup> RICE modeli çerçevesinde adaptasyonu incelerken birden fazla bölgeyi dikkate almalarına rağmen, sıcaklık artışlarına katkıda bulunan bölgeye özgü faktörler arasında herhangi bir ayırım yapmamaktadırlar; bu da analizlerinin genişletilebileceğini ve tartışmanın bu makalede yürüttüğümüz sayısal araştırmalardan faydalanabileceğini göstermektedir. Bizim çalışmamızı onlarınkinden ayıran şey, farklı faktörlerin farklı ülkelerin sıcaklık artışlarına katkılarını ayırmamızı ve çevresel olarak küçük ekonomilere odaklanmamızı sağlayan hasar fonksiyonu için seçtiğimiz fonksiyonel formdur. Emisyonlarla ilgili olarak, bu faktörlerin başlıcaları nüfus artışı, kişi başına tüketim, emisyonların GSYH'ye göre yoğunluğu ve bir ülkenin dünyanın toplam emisyonlarına nispi katkısıdır (birçok ekonomi için neredeyse ihmal edilebilir düzeydedir).

Ayrıca uyum ve azaltım maliyetlerini de modelliyoruz. Özellikle, marjinal uyum ve azaltım maliyetlerinin pozitif ve artan (ikinci dereceden) olduğunu varsayıyoruz. Bu, özellikle yeni ve genellikle sermaye yoğun teknolojileri (bu tür ekonomilerde kıt bir kaynak olma eğilimindedir) dahil etmesi gereken küçük ekonomilere odaklandığımız göz önüne alındığında gerçekçi görünmektedir.

Uyum ve azaltım politikalarının analizi, maliyet ve etkinlik hususlarına dayandırılmalıdır. Küçük ekonomilerin çevresel etkilerini azaltmak için tüketimden yaptıkları artan marjinal fedakarlık, yeni emisyon akışındaki ve atmosferdeki sera gazı stokundaki çok marjinal bir azalma ile karşılaştırılmalıdır.

13. Lecocq ve Shalizi (2007, s. 34).

14. De Bruin, Dellink ve Tol (2009).

Bu arada, uyum sağlamanın marjinal maliyeti, doğrudan iklim değişikliği nedeniyle uğranılan zararların telafisi ile ilişkili olarak görülmelidir.

Adaptasyon, örneğin tarımda daha dayanıklı çeşitlerin piyasaya olduğu gibi, piyasa tarafından kendiliğinden yönlendirilebilir.<sup>15</sup> Ancak, literatürde kullanılan türden bir makroekonomik optimal büyüme modelinde, adaptasyon ya özel ya da kamu yatırımı olarak anlaşılmalıdır. Örneğin, 1936 yılında ABD Tarım Bakanlığı (USDA) ısıya daha dayanıklı olduğu kanıtlanan hibrit bir mısır çeşidinin piyasaya sürülmesi için kampanya başlatmıştır. Bundan önce de konuda kendi araştırmalarını, aynı zamanda bilgi ve tohum örneklerinin yayılmasını da desteklemiştir.<sup>16</sup> USDA ayrıca yirminci yüzyıl boyunca sulama altyapısına büyük yatırımlar yapmıştır. Barajlar ve sulama kanalları şiddetli kuraklıkların etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olmuş, böylece kamu malı olma özelliklerinden kaynaklanan kolektif eylem sorununun üstesinden gelinmiştir.<sup>17</sup> Özetle, iklim değişikliği literatürüne temel katkımız, ülkeleri sadece ekonomik büyüklüklerine göre değil, aynı zamanda sera gazı emisyonları açısından göreceli sorumluluk derecelerine de ayırmamızdır. Bu da bize çevresel açıdan küçük ekonomilerin uyum ve azaltım masraflarına katlanma teşvikleri hakkında daha net bir resim sunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri örneğini, bu küçük ekonomiler tarafından izlenen politikalar ile büyük bir ekonomi tarafından izlenen politikaların karşılaştırılması için bir ölçüt olarak kullanıyoruz.

toplam küresel emisyonlar açısından daha büyük ölçüde sorumluluk.

## Model

Bu bölümde, bir iklim bileşeni içeren bir optimal büyüme modeli sunuyoruz. Temel model, bir dereceye kadar DICE modelinden esinlenen çeşitli özelliklere sahiptir, ancak aynı zamanda kendi iklim şokları modelimizi de içermektedir. Daha sonra bu temel modeli azaltım ve uyum harcamalarını içerecek şekilde genişletiyoruz.

Dağıtımsal konularla ilgilenmediğimiz için, temel model, sonsuz tüketim akışının bugünkü değerini maksimize eden temsili bir temsilcinin standart Ramsey modelidir, ancak optimizasyon programına bir durum değişkeni olarak emisyon stokunu ekliyoruz. Bu emisyonların toplam çıktıyı azaltarak verimliliği etkilediği varsayılmaktadır.

15. Mendelsohn (2000).

16. Sutch (2011).

17. Hansen, Libecap ve Lowe (2011).

bu emisyonlardan sorumlu olan üretim faaliyeti ile eşitlenmiştir. Bu, hükümetlerin azaltım ve uyum harcamalarına hangi koşullar altında katlandıklarını incelememize ve yukarıda tartışılan çevresel boyutlar açısından farklı büyüklükteki ülkeler için en uygun yörüngeleri gösteren simülasyonları çalıştırmamıza ve bazı karşılaştırmalı istatistik yapmamıza olanak sağlamaktadır.

### Temel Model

Bu ekonominin temsilci ajanının aşağıdakileri maksimize etmek için bir tüketim dizisi seçtiğini varsayalım:<sup>18</sup>

$$(1) \quad \int_0^{\infty} u(c(t))e^{-rt} dt,$$

Burada  $u(\cdot)$ ,  $c'$ 'de monoton olarak artan, ancak azalan bir oranda ( $\partial u/\partial c > 0$  ve  $\partial^2 u/\partial^2 c < 0$ ) standart varsayımları karşılamaktadır. Gelecekteki tüketim akışı sabit bir  $r > 0$  oranında iskonto edilir.

Ekonominin üretim fonksiyonunun neoklasik üretim fonksiyonlarının düzenli özelliklerine sahip olduğunu varsayıyoruz. Temsili ajanın  $c$  tüketimi,  $F(k)$  üretim fonksiyonu kullanılarak tek bir  $k$  girdisi olan sermaye ile üretilir. Yine, bu fonksiyon artan ve katı içbükey olma standart koşullarını sağlamaktadır,  $\partial F/\partial k > 0$ ,  $\partial^2 F/\partial^2 k < 0$ .

Standart bir büyüme modelinden farklılıklar, temsili temsilcinin karşılaştığı kısıtlamalarda ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki, emisyonların zararlı etkilerinin kendini hissettirdiği sermaye eğilimiyle ilgilidir: bunları, çıktıyı  $Q(S) \in (0,1)$  oranında küçültmek olarak modellemekteyiz.

Şimdilik, teta yalnızca  $S$ 'ye, yani gezegenin atmosferindeki sera gazı stokuna (dolayısıyla tüm ülkelerin emisyonlarına bağlıdır) bağlı olacaktır.<sup>19</sup> Emisyonlardaki bir artışın çıktıyı daha da azalttığı gerçeğini yakalamak için  $Q(S)$ 'nin  $\partial Q/\partial S < 0$ 'ı karşıladığını varsayıyoruz. Bununla birlikte,  $Q(S)$ 'nin içbükey olduğunu varsaymayacağız, çünkü bu, bazı kirlilik seviyeleri için sıfır olabileceği anlamına gelecektir (ve bazı  $S$  seviyeleri için sıfır olacağı anlamına gelebilir).

Bu nedenle ilk kısıtlama şudur

$$(2) \quad \frac{dk}{dt} = \theta(S)F(k) - \delta k - c.$$

18. Notasyonel basitlik adına, tüm değişkenlerden zaman alt simgesini çıkarıyoruz.

19. Bu durum Nordhaus (2008) ile benzerlik göstermektedir.



Yani, sermaye tasarruflarla artar - çıktı  $F(k)$  ile tüketim  $c$  arasındaki fark - ve sabit amortisman oranı  $\delta$  ile azalır. Dolayısıyla, müşteri değişimi, üretimin bir kısmını  $[1 - Q(S)]$  yok ederek sermaye birikimi üzerinde etkili olur. İşleri daha basit hale getirmek için şimdilik nüfus artışı olmadığını varsayıyoruz. Nüfus artış oranının son derece önemli bir değişken olduğunu gösteren simülasyonlarımızı yürüttüğümüzde bu varsayımı kaldırıyoruz. Kişi başına sermaye sabit kalsa bile (durağan durumda olduğu gibi) nüfus (yerel ya da dünyanın geri kalanı) artarsa, toplam çıktı ve dolayısıyla toplam emisyonlar daha yüksek olacaktır. Basitlik açısından, teknolojik ilerleme olmadığını da varsayıyoruz.

İkinci kısıt, incelenen ekonomi açısından sera gazlarındaki eğilimle ilgilidir. Her bir  $F(k)$  biriminin  $\gamma$  birim emisyon ürettiğini varsayıyoruz.<sup>20</sup> Çevrenin kendini yenilediği gerçeğini sabit bir yenilenme oranı olan  $\Delta$  ile yakalıyoruz.<sup>21</sup> Bu iki varsayımı ikinci *kısıt* şekillendirmektedir:

$$(3) \quad \frac{ds}{dt} = -\Delta S + \gamma F k. \quad ( )$$

Denklem 3, emisyonların üretim sürecinin kaçınılmaz bir sonucu olduğu gerçeğini ortaya koymakta ve denklem 2 de bunların gelecekteki sermaye üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir. Daha yüksek emisyonlar (bir akış) daha yüksek çıktıya işaret eder. Bu, emisyonlar ve çıktı arasında tamamlayıcılık olduğunu gösteren  $\gamma$  parametresi aracılığıyla denklem 3'e dahil edilen doğrudan etkidir. Denklem 3, ortalama olarak, emisyon birikiminin (bir stok) er ya da geç net çıktıyı azaltma eğiliminde olan dinamik bir negatif dışsallık yarattığını göstermektedir.

Aşağıda gösterildiği gibi (bkz. denklem 12), toplam emisyonlar azaltım yoluyla azaltılabilir. Bu azaltım eylemlerini, emisyon katsayısını bir kontrol değişkeninin ( $bm$ ) fonksiyonu haline getirerek modellemekteyiz; burada  $m$  azaltım eylemlerini,  $b$  ise bunların etkinliğini temsil etmektedir. Bu modelleme stratejisi, Brezilya için önemli bir girişim olan Ormansızlaşma ve Orman Bozulmasından Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması Programı (REDD) kapsamında ormansızlaşmayı azaltmayı amaçlayanlar da dahil olmak üzere, birkaç farklı azaltım eylemi vakasını dahil etmemize olanak sağlamaktadır. Toplamda düşünüldüğünde, azaltımın birçok ülke için ilk tercih olmadığını görüyoruz, ancak bu bazı azaltım programlarının sınırlı bir ölçekte benimsenmeyeceği anlamına gelmiyor.

20. Bu durum Copeland ve Taylor (1994) ile uyumludur.

21. Bkz: Brock ve Taylor (2010).

$\Delta$  ile ilgili önemli bir nokta, genellikle çevrenin kirletici stokunun bir kısmını yeniden emebildiği gerçeğini hesaba katmasıdır, öyle ki  $\Delta > 0$ . Nordhaus tarafından geliştirilen modelde bu rol denizler tarafından oynanmaktadır. Bununla birlikte, simülasyonlarımızda, küçük ekonomiler için büyük (büyüklüğü birden büyük) ve negatif bir  $\Delta$  dikkate alıyoruz, bu da atmosferdeki sera gazı stokunda dünyanın geri kalanının emisyonlarından kaynaklanan dışsal bir pozitif net büyüme oranıyla karşı karşıya oldukları gerçeğini yansıtmaktadır. Simülasyonlarımızda  $\delta_s$  diğer değişkenlerin bir fonksiyonudur:

$$\delta_s = \xi - E_s (Y_{(RW)} p N_{(RW)} p e_{(RW)} + Y_C p N_C p e_{(C)}).$$

Yani,  $\Delta$  çevrenin doğal emiliminin bir fonksiyonu olabilir,  $\xi$ , dışsal ihmal edilebilir bir orandır, daha az dünyanın toplam emisyonları,  $E_s$ . Bu spesifikasyonda  $E_s$ , birim çıktı başına dünyanın geri kalanının emisyonları,  $e_{(RW)}$ , çarpı dünyanın geri kalanının kişi başına geliri,  $Y_{(RW)}$ , çarpı dünyanın geri kalanının nüfusu,  $N_{RW}$  ve  $C$  ile gösterilen ilgili ülke için aynı değerlerin toplamı olarak hesaplanan gezegendeki toplam emisyonlara bağlıdır. Sonuç olarak, belirli bir ülkenin nüfusu, kişi başına düşen geliri veya emisyon katsayısı küçükse, bu ülkenin iklim değişikliği açısından yarattığı etki de (dünyanın geri kalanının etkisine kıyasla) küçük olacaktır. Küçük bir ülke, emisyonlarını sıfıra indirirse bile  $\delta_{(S)min}$  hala negatif olacağını görebilir ve bu da  $\Delta$ 'yı büyük bir dışsal negatif parametre olarak görmesine neden olabilir. Giriş bölümünde belirtildiği gibi, dünyanın geri kalanının emisyonları orantısız derecede yüksek olduğunda ve dışsal olarak belirlendiğinde, ülkenin kendi emisyonlarını azaltma teşviki düşük olacaktır.

Bu perspektiften bakıldığında, uluslararası anlaşmalar, dünyanın geri kalanı tarafından üretilen emisyonlarda güvenilir bir azalma ile eşleştirilirse, yani kendi kontrolleri altındaki bileşende,  $e_{RW}$ , azaltım maliyetini *önemli ölçüde* düşürürse veya ekonomik ödüller şeklinde teşvikler sağlanırsa, küçük ekonomilere azaltım için uygun teşvikler verebilir.

Tüm bu hususlar göz önüne alındığında, temsili tüketicinin karşılaştığı problem, denklem 2 ve 3'e tabi olarak denklem 1'i maksimize etmektir. Tüketim kontrol değişkeni, emisyonlar ve sermaye ise optimizasyon programının durum . İlgili Hamiltonyen şöyledir

$$(4) \quad H = u(c)e^{-rt} + \lambda [ \Theta (S) F (k) - \delta k - c ] + \mu [ -\Delta S + \gamma F (k) ]$$

Maksimum için gerekli koşullar aşağıdaki gibidir:<sup>22</sup>

$$(5) \quad \frac{du}{dc} e^{-rt} - \lambda = 0;$$

$$(6) \quad \lambda [\theta(S) F'(k) - \delta] + \mu \gamma F'(k) = -\frac{d\lambda}{dt};$$

$$(7) \quad \lambda \theta'(S) F(k) - \mu \Delta = -\frac{d(\mu)}{dt}.$$

Şimdi bu ifadeleri, azaltım ve uyum politikalarının sermayenin durağan durum seviyesi üzerindeki etkisini tanımlamak için değiştiriyoruz. İlk olarak, denklem 5'i tamamen türevlendirerek şunları elde ederiz

$$\frac{d^2u}{d^2c} \frac{dc}{dt} - p \bar{e}^{-rt} - r \frac{du}{dc} e^{-rt} - \frac{d\lambda}{dt} = 0.$$

Daha sonra, kararlı durumu göz önünde bulundurarak ve denklem 5'i tekrar kullanarak şu sonuca ulaşırız

$$(8) \quad -\frac{d\lambda}{dt} = r\lambda.$$

Bu ifadeyi denklem 6'da yerine koyduğumuzda şunları elde ederiz

$$\lambda [\theta(S) F'(k) - \delta] + \mu \gamma F'(k) = r\lambda.$$

$\mu$  için çözüldüğünde

$$(9) \quad \mu = \frac{\lambda r [\delta - \theta(S) F'(k)]}{\gamma F'(k)}.$$

22. Ayrıca enine olma koşulunun da sağlanması gerekir:  $\lim_{k \rightarrow \infty} \lambda k = 0$ .

Zamana göre türevleri tekrar aldığımızda

$$(9) \quad -\frac{d\mu}{dt} = \frac{r\lambda r[\gamma + \delta - \Theta(S)F'(k)]}{\gamma F'(k)}$$

Son olarak,  $\mu$  ve  $\frac{d\mu}{dt}$  değerlerini denklem 7'de denklem 9 ve 9' ile verilmiştir, değiştirerek

kararlı durumda olduğu hemen gösterilebilir,

$$(10) \quad \Theta(S)F'(k) - r + \delta = -\frac{(\Theta'(S))F'(k) + (\Theta(S))F''(k)}{r + \Delta} = e > 0.$$

tutmalıdır. Bu eşitliği sağlayan sermaye düzeyini  $k^{***}$  olarak adlandırıyoruz. Denklem 10'un aynı zamanda  $\mu < 0$  anlamına geldiğine dikkat edin bu da  $S$  emisyonlarının ekonominin azaltmak istediği bir stok olduğu gerçeğiyle tutarlıdır.

Şimdi  $k^{***}$ 'nin (bu düzende kişi başına düşen sabit durum sermaye stokunun optimal değeri) emisyonuzduruma karşılık gelen sermaye seviyesinden daha düşük olduğunu göstereceğiz. Bunu yapmak için,  $Q(S) = 1$  ideal durumunu ele alıyoruz ki bu da ekonominin çevreye karşı "bağışıklı" olduğunu varsaymaya benzemektedir. Bu bağlamda,  $k^*$  olarak gösterdiğimiz kararlı durum iklim değişikliğinden etkilenmeyen sermaye seviyesini belirlemek kolaydır:

$$(10') \quad F'(k^*) - (r + \delta) = 0.$$

Denklem 10 ve 10' karşılaştırıldığında, bizim düzenimizde sermayenin azaltılması gerektiği görülmektedir:  $k^{***} < k^*$ . Bu, ayrı ayrı tanımladığımız iki etkinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki,  $Q(S) < 1$  (sermayenin marjinal ürününü azaltan) ve  $F(k)$ 'nin katı içbükey olmasından kaynaklanan *ortalama bir etkidir*. Varsayımlarımız altında,  $Q'(S)$  sifra eşit olsa bile, eşitsizlik 10'u karşılayan sermaye seviyesinin,  $k^{**}$ ,  $k^*$ 'den daha düşük olacağı kolayca belirlenebilir. Bunun nedeni basitçe şudur

$$F'(k^{**}) = \frac{r + \delta}{\Theta(S)} > F'(k^*) = r + \delta$$

$k^{**} < k^*$  anlamına gelir.

İkinci etki, sermayeyi  $k^{**}$ 'den daha da düşük bir durağan duruma iten *marjinal* bir etkidir. Bu etkiyi tanımlamak için, ekonominin temsilci ajanının ilave sermayenin üretim ve dolayısıyla toplam  $S$  stoku üzerindeki marjinal etkisinin farkında olduğunu ve sonuç olarak  $Q'(S)$ 'nin ilgili hale geldiğini belirtmek yeterlidir (denklem 10'un sağ tarafında gösterildiği gibi). Bu *da* aslında  $k^{***}$ 'yi dikkate almamız gerektiği anlamına gelir ki bu *da* aşağıdaki koşulları sağlayan sermaye miktarıdır

$$F'(k^{***}) = \frac{(r) + (\delta) + (\epsilon)}{\Theta(S)} > \frac{r + \delta}{\Theta(S)} = F'(k^{**})$$

Bu eşitsizlik  $k^{***} < k^{**}$  anlamına gelmektedir. Marjinal etki,  $Q'(S) < 0$  varsayımından kaynaklanmaktadır; bu varsayım, emisyon artışının ekonominin uğradığı zararı monoton olarak artırdığı şeklindeki (biraz tartışmalı) fikri yansıtmaktadır. Bu türev de denklem 10'un sağ tarafının,  $\epsilon$ , işaretini belirler ve daha da düşük bir sabit durum sermaye seviyesi sağlayan eşitsizlikle sonuçlanır.

#### Azaltım ve Adaptasyon ile Model

Şimdi emisyonların zararlı etkisini azaltmanın iki yolunu ele alıyoruz: adaptasyon ve azaltım harcamaları. Geniş anlamda, azaltım *marjinal etkiyi* yardımcı olurken ( $k^{**} - k^{***}$ ), adaptasyon *ortalama etkiyi* azaltmaya yardımcı olur ( $k^* - k^{**}$ ). Bunun nedeni, azaltımın emisyonların büyüme hızını yavaşlatırken, adaptasyonun etkilerini azaltacak olmasıdır.

İncelediğimiz ekonominin hem azaltım hem de uyum amacıyla harcama yapabildiğini varsayalım. Durum denklemleri şöyle olur

$$(11) \quad \frac{dk}{dt} = [\Theta(S - za)F(k)] - \delta k - c - \eta m^2 - \rho a^2$$

ve

$$(12) \quad \frac{dS}{dt} = -AS + [\gamma (bm)F(k)]$$

Adaptasyon  $a$ , bir  $z$  parametresi aracılığıyla  $\gamma$ 'yı artırarak (böylece ortalama yumuşatarak) kirliliğin çıktı üzerindeki etkisini azaltırken, azaltım

birim çıktı başına üretilen kirlilik miktarını azaltır (bu da marjinal etki üzerinde etkili olduğu anlamına gelir, çünkü  $(\partial \gamma)/(\partial m) < 0$ ).

Daha önce de belirtildiği gibi,  $b$  parametresi azaltım harcamalarının etkinliğini,  $m$  ise azaltım eylemini temsil etmektedir. Artan marjinal maliyetleri temsil etmek üzere azaltım maliyetlerinin ikinci dereceden olduğu varsayılmaktadır. Azaltım, yeni teknolojilerin benimsenmesi de dahil olmak üzere birçok olası eylemi kapsamaktadır, ancak yeni yöntemlerin benimsenmesinin maliyetli olduğu varsayılmaktadır. Eğer ücretsiz olsalardı, hemen benimsenirlerdi, ancak durum böyle görünmemektedir. Aslında, Chisari ve Miller çeşitli Latin Amerika ve Karayip ekonomileri (Brezilya ve Şili dahil) için hesaplanabilir genel denge (CGE) modelleri geliştirmiş ve yeni temiz teknolojilerin (dolayısıyla karbon vergilerine tabi olmayan) yabancı sermayede çok yoğun olduklarında bu ekonomiler tarafından benimsenmediğini bulmuşlardır.<sup>23</sup> Bu, sermayenin fırsat maliyeti üzerinden ücretlendirilmesi gerektiğinde, bu ekonomilerin yeni teknolojileri benimsemediğini göstermektedir (bunlar gizli olarak modellenmiştir ve bu nedenle zorunlu değildir, bu nedenle kullanım düzeyleri göreceli fiyatlar tarafından belirlenir).

Ancak, her iki durumda da harcamalar azalmamaktadır, çünkü denklem 11 azaltım için yapılan marjinal harcamanın  $2\eta m \geq 0$  ve uyum için yapılan harcamanın  $2\rho a \geq 0$  olduğunu göstermektedir.

$$(13) \quad H = u(c)e^{-r} + \lambda [\theta (S - za)F(k) - \delta k - c - \eta m^2 - \rho a^2] \\ + \mu [\gamma (bm)F(k) - \Delta S.]$$

Optimalite koşulları temel modeldekiyle aynı olsa da, şimdi hem  $m$  hem de  $a$  için Kuhn-Tucker koşullarını belirtmemiz gerekiyor:

$$(14) \quad -2\lambda\eta m - b\mu\gamma'(bm)F(k) \leq 0;$$

$$(14') \quad [-2\lambda\eta m - b\mu\gamma'(bm)F(k)] m = 0;$$

$$(15) \quad \lambda [-z\theta'(S - za)F(k) - 2\rho a] \leq 0;$$

$$(15') \quad \lambda a [-z\theta'(S - za)F(k) - 2\rho a] = 0.$$

23. Chisari ve Miller (2015).

Denklem 14 ve 14', azaltım harcamalarının pozitif olması durumunda, optimal seviyesinin aşağıdaki gibi olacağını ima etmektedir

$$m = - \frac{b\mu\gamma'(bm)F(k)}{2\lambda\eta}$$

Dolayısıyla, kirliliğin gölge fiyatı  $\mu$  (mutlak değer olarak) daha yüksekse veya azaltmanın marjinal verimliliği ( $b$  ile ölçülen) artarsa azaltma harcamaları daha büyük olacaktır. Ancak, çevresel açıdan küçük bir ekonomide bu parametrenin küçük olmasını bekleyebiliriz.

Öte yandan, azaltımın marjinal maliyeti ( $2\eta$  ile ölçülür) veya mevcut tüketimin marjinal faydası ( $\lambda$ ) artarsa veya kişi başına çıktı  $F(k)$  yeterince yüksek değilse, ekonominin azaltım için harcama yapması için çok az teşvik olacaktır. Gelişmiş ekonomilerde, kişi başına çıktı daha büyük ve  $\lambda$  daha küçüktür, bu nedenle bu tür ülkeler için simülasyonlarımız azaltım için daha yüksek bir harcama eğilimini yansıtmaktadır.

Uyum harcamaları söz konusu olduğunda, 15 ve 15' numaralı denklemler, sıfırdan farklı olması halinde optimal seviyelerinin şu şekilde olacağını göstermektedir

$$a = - \frac{z\theta'(s-za)F(k)}{2\rho}$$

Bu, durağan bir durumda, uyum harcamalarının marjinal verimliliklerindeki, çıktıdaki düşüşün hafifletilmesi üzerindeki etkilerindeki ( $Q'_a > 0$  için) ve çıktının kendisindeki artışlara paralel olarak artacağı anlamına gelmektedir. Yine bu durum, uyum harcamalarının gelişmiş ekonomilerde neden daha yüksek olduğunu açıklamaktadır. Öte yandan, bir ülke marjinal maliyeti arttıkça uyum için giderek daha az harcama yapacaktır.

$\gamma = 0$  olsa bile (bu, ekonominin önemli sera gazı emisyonlarının kaynağı olmadığı anlamına gelir), uyum için para harcamak ekonomi için en uygun seçim olabilir. Ancak azaltım harcamaları için durum böyle değildir, çünkü denklem 14 negatif olacaktır ve optimal  $m$  seviyesi sıfır olacaktır.

Simülasyonlarımız, gelecekte bir noktaya kadar azaltım ya da adaptasyonun (ya da her ikisinin) olmadığı durumları içermektedir. Denklem 14 ila 15', bu eylem yollarının kullanılmadan kalabileceğini, ancak ekonomiler zenginleştiğinde bu harcamaların seviyesinin pozitif hale gelebileceğini göstermektedir, çünkü ya tüketim artar (bu da azaltımda bir artışa neden olur) ya da kişi başına sermaye artar (böylece adaptasyon harcamalarını teşvik eder).

Ayrıca, zaman içinde, incelediğimiz ekonomiye dışsal olan  $S$  kirlilik stokunda bir artış olursa (çünkü küresel emisyonlar ile yerel emilim arasındaki farkı dikkate aldığımızda  $\delta_{(s)}$ 'nin net değeri negatiftir), bunun ekonominin gerçek çıktısı ve sermaye birikimi üzerinde olumsuz bir etkisi olacaktır ( $Q'_s < 0$  için). Bu durumda, ekonominin daha yoksul hale gelmesi ve hem azaltım hem de uyum için daha az harcama yapması ya da en azından bu harcamaları ertelemesi akla yatkındır.

Artık azaltım ve uyum harcamaları için ilgili parametreleri ortaya koyduğumuza göre, belirli bir ekonomiye çevresel açıdan küçük olarak sınıflandırmak için kriterlerimizi tanımlayabiliriz. Simülasyonlarımızda, çevresel açıdan küçük bir ekonomi, aşağıdaki üç gayri resmi koşulun tümünü karşılayan parametrelere sahip olacaktır:

(1)  $\Delta < 0$ : çevresel olarak küçük ülkenin yenilenme kapasitesi yoktur. Küçük ekonomi hiç emisyon üretmese bile, dünyanın geri kalanının emisyonları nedeniyle emisyon stoku zaman içinde artar. Dolayısıyla,  $\Delta$  neredeyse tamamen dünyanın geri kalanının GSYH büyümesi, nüfusu ve emisyon katsayıları tarafından belirlenir.

(2)  $b \cong 0$  ve  $\gamma \cong 0$ : ekonominin kendi azaltım eylemlerinin etkinliği neredeyse sıfırdır ve dünya stokuna göre kendi emisyonlarının önemi de ihmal edilebilir düzeydedir.

(3)  $Q_{sk} > 0$ :  $S$ 'nin marjinal etkisi, sermaye stoku ne kadar yüksekse o kadar küçüktür. Yani, bir ekonomi ne kadar çok sermayeye sahipse, iklim değişikliğinin etkilerine kadar iyi dayanabilir, ancak kişi başına düşen  $k$  sermaye stoku küçüktür.<sup>24</sup>

## Modelin Kalibrasyonu ve Simülasyonlar

Modelimizin beklenen sonuçlarından bazılarını göstermek için modelimizi kalibre ettik ve üç ülke için bir dizi simülasyon gerçekleştirdik: Brezilya, Şili ve Amerika Birleşik Devletleri. Bu ülkeler halihazırda azaltım veya uyum için yatırım yapıyor olmayabileceğinden, kalibrasyon literatürden alınan ve her ülkeye uyarlanan tahmini azaltım ve uyum maliyetlerine dayanmaktadır.<sup>25</sup>

24. Bunun kanıtları Schumacher ve Strobl'da (2008) bulunabilir ve bir ekonominin faydalı bir yapısal özelliği olabilir.

25. Bu harcamaların GSYİH içindeki payına ilişkin doğru bir rakam elde etmek için geçerli döviz kurlarını hesaba katmaya özen gösteriyoruz.



Brezilya, GSYH'sine dayanarak çevresel açıdan küçük bir ekonomi olarak sınıflandırılmaz ve dünyanın toplam emisyonlarının yüzde 1,3'ünü oluşturan CO<sub>2</sub> emisyonları ile dünyanın en büyük on yedinci kirleticisidir. Ancak, bu emisyon seviyesi Brezilya'nın çevresel açıdan büyük bir ekonomi olarak sınıflandırılmasını gerektirecek kadar yüksek olmayabilir, çünkü harcamaları esas olarak adaptasyona odaklanacaktır. Şili, dikkate alabileceğimiz herhangi bir sınıflandırmada çevresel açıdan küçük bir ekonomi olarak nitelendirilmektedir, bu nedenle simülasyonlarımızın sonuçlarının çoğunun bu ülke için model tarafından öngörülen bulgularla uyumlu olması şaşırtıcı değildir. Son olarak, Amerika Birleşik Devletleri hem üretim hem de kirlilik açısından gezegenin en büyük ekonomilerinden biridir ve sermaye stoku ve GSYH'si kişi başına düşen miktar açısından dünyanın en büyükleri arasındadır. Sonuç olarak, kirliliğin sonuçlarının çoğunu içselleştirmekte ve böylece kaynakları hem etkisini azaltmak hem de hafifletmek için kullanmaktadır.

### Kalibrasyon

Bu model, farklı senaryoların simülasyonlarını çalıştırmak için genel cebirsel modelleme sisteminde (GAMS) kolayca yazılabilir. Bu simülasyonlarda fayda, sabit esneklik  $\sigma$  ile sabit görelî riskten kaçınma (CRRA) formunu alır. Verimlilikte beklenen azalma, ortalama dünya sıcaklıklarındaki artışın bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Çoğu projeksiyon, önümüzdeki elli yıl içinde ortalama sıcaklıktaki artışın 3° Cel- sius olacağını göstermektedir. Geometrik bir ilerleme kullanarak, yıllık ortalama sıcaklık artışı ( $\Delta T$ ) bu nedenle 0,0037 derecedir. Daha sonra, atmosferik sıcaklığın tersini ve önümüzdeki elli yıl için dünya ekonomisinde beklenen hasar tahminlerini alarak hasar fonksiyonunu tahmin ettik. Daha sonra, üç ekonominin her birinin toplam emisyonlara göreceli katkısını değerlendirdik ve her birinin azaltım yoluyla sıcaklık artış hızının düşürülmesine ne kadar katkıda bulunabileceğini tahmin ettik.

Atmosferdeki toplam sera gazları için hareket yasası, ortalama sıcaklığın kişi başına düşen emisyon üretimi (*betp*) ve hem incelenen ülkenin de dünyanın geri kalanının nüfusunun büyüklüğü (*betrow*) tarafından belirleneceğini ve emisyonları sıcaklık artışlarına dönüştürmek için kalibre edilmiş bir  $\phi$  sabiti ile parametrelendirileceğini . Böylece, olağan koşullar altında, elli yıllık bir dönemde dünyanın ortalama sıcaklığında 3° Santigratlık bir artış elde ediyoruz.

Simülasyonlar için doğal bir emilim oranı ( $\Delta$ ) kullanmadığımızdan, bu modelin bir kararlı durumu (bu bölümde daha önce tartışılan aksine).

T A B L E 1. Çalışılan Ülkeler için Kalibre Edilmiş Parametreler<sup>a</sup>

Parametre	Birleşik Devletler		
	Brezilya	Devletler	Şili
<b>Ekonomi</b>			
Başlangıçtaki kişi başına sermaye stoku: $k_0$ (yerel para birimi cinsinden)	22.023	121.257	10.460
Başlangıçtaki kişi başına gelir: $y_0$ (yerel para birimi cinsinden)	14.022	46.406	5.161
Başlangıçtaki kişi başına sermaye stoku: $k_0$ (ABD doları cinsinden)	11.303	121.257	20.022
Başlangıçtaki kişi başına gelir: $y_0$ (ABD doları cinsinden)	7.197	46.406	9.879
$l$ (TFP)	2.301	5.762	1.211
Sermaye ücretinin payı: $\alpha$ (yüzde)	58.45	43.48	61.74
Nüfus artış oranı: $n$ (yüzde)	2.02	0.87	1.26
Ülke nüfusu/Dünya nüfusu: $np$ (yüzde)	2.87	4.51	0.25
Dünya nüfus artış oranı: $nw$ (yüzde)	1.17	1.17	1.17
Dünya GSYİH büyüme oranı: $gw$ (yüzde)	2.10	2.10	2.10
<b>Çevre</b>			
Ortalama sıcaklık (Tm) (santigrat derece)	14.45	14.45	14.45
Kişi başına $CO_2$ (ER <sub>c</sub> ) (ton)	1.94	18.50	4.21
<b>Model</b>			
$\phi$ (sera gazlarının sıcaklığa dönüşüm parametreleri) (santigrat derece)	0.002823	0.002823	0.002823
Kişi başına düşen emisyon: $betp$ (santigrat derece)	0.000013	0.000694	0.000001
Dünyanın geri kalanında kişi başına düşen emisyonlar: $betrow$ (santigrat derece)	0.001011	0.003203	0.000316
$\eta$ (azaltım endeksi birimi başına yerel para birimi)	0.391490	0.021070	0.048340
$b$ (metrik ton)	0.515240	0.054030	0.237280
$\rho$ (adaptasyon endeksi birimi başına yerel para birimi)	0.035050	0.116010	0.012900
$Z$ (santigrat derece)	0.000260	0.000260	0.000260

a. Yerel para birimi cinsinden başlangıç sermaye stoku, uygun olduğu şekilde, bin Brezilya reali, Şili pezosu veya ABD doları cinsinden ölçülmüştür. ABD doları cinsinden başlangıç stoku da bin olarak ölçülmüştür.

makale). Bu, fiziksel sermaye için güçlü bir varsayım olsa bile, özerk, yavaş gelişen bir doğal sermaye stoku için güçlü değildir.

Ortalama sıcaklıklar üzerindeki etkinin ardışık yinelemeler yoluyla hesaplandığı bir çoklu regresyon modeli kullanan Nordhaus ve Boyer'in ya da işbirlikçi olmayan *N-ajan* oyunlarını değerlendirmek için alternatif bir yöntem sunan Lyssenko ve Shiell'in aksine, bizim yaklaşımımız küçük bir ülkenin dünyanın geri kalanının davranışları önüne alındığında izleyeceği en iyi yaklaşımı belirlemek zorunda olduğu duruma karşılık gelmektedir<sup>26</sup>.

İncelediğimiz üç ülke için kalibre edilen parametreler Tablo 1'de sunulmaktadır.

26. Nordhaus ve Boyer (2000); Lyssenko ve Shiell (2008).

### Simülasyonlar

Brezilya, Şili ve Amerika Birleşik Devletleri için kişi başına düşen sermaye stoku, gelir, tüketim ve yatırım, GSYİH büyümesi ve dünya GSYİH'si, kaybedilen çıktı payı ( $1/Q$ ), ortalama sıcaklık ve hem mutlak hem de GSYİH cinsinden uyum ve azaltma harcamalarının yörüngeleri için simülasyonlar gerçekleştirdik. Bu bölüm, elli yıllık bir zaman ufku esas alan beş simülasyonumuzun sonuçlarını sunmaktadır. Her bir simülasyon için verilen rakamlar, azaltım ve uyum harcamalarını GSYH'nin yüzdesi olarak göstermektedir; serilerin ve rakamların geri kalanı açıklık sağlamak amacıyla atlanmıştır, ancak talep üzerine yazarlardan temin edilebilirler. Şekillerde, düz çizgiler temel senaryodaki uyum ve azaltım harcamalarının yörüngelerine karşılık gelirken, noktalı çizgiler aynı değişkenleri alternatif simülasyon senaryosu altında göstermektedir.

#### SIMULATION 1: AN INCREASE IN TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY. Şekil 1

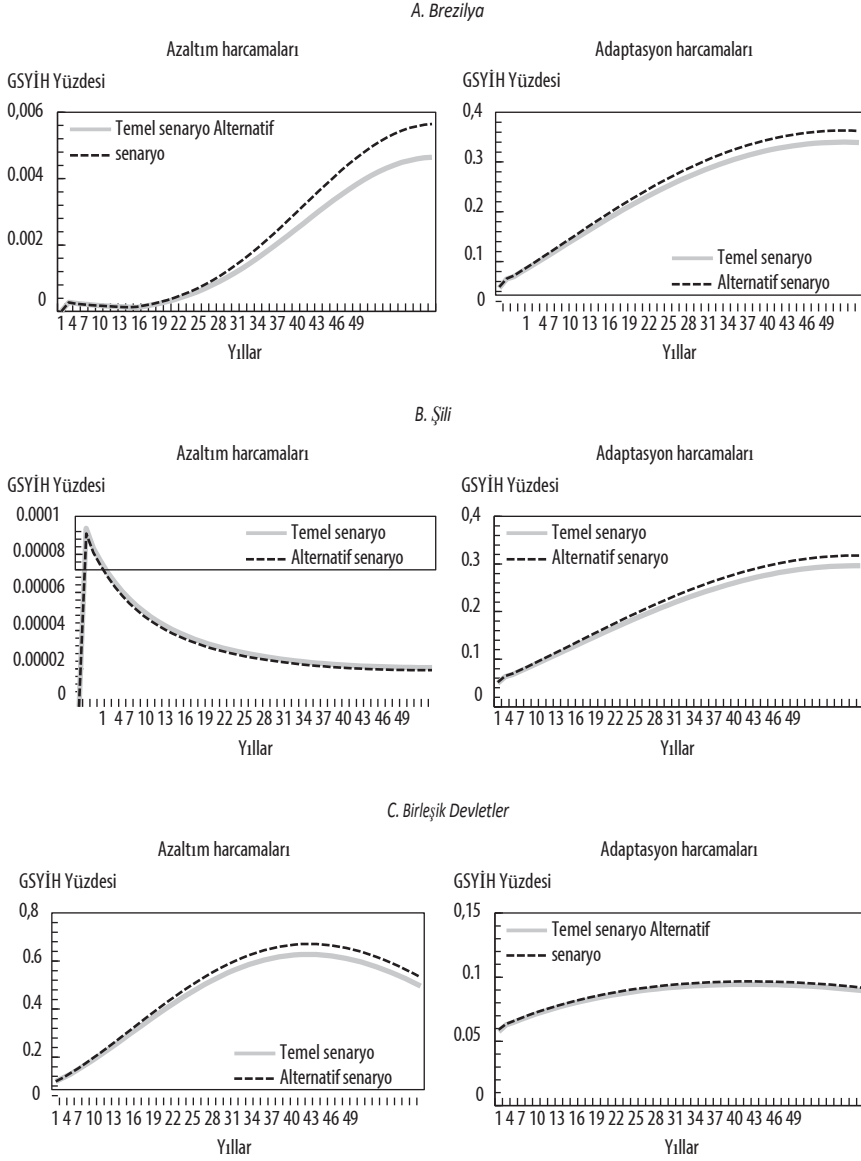
toplam faktör verimliliğinde (TFV) bir artış içeren ilk simülasyon senaryosunun sonuçları. Şekilde görüldüğü gibi, Şili incelenen dönem boyunca hiçbir noktada azaltım önlemleri için harcama yapmamaktadır. Buna karşılık Brezilya, incelenen dönemden yaklaşık on yıl sonra (yaklaşık 2008'e kadar) azaltım için para harcamaya, çünkü kişi başına geliri ve nüfus artış oranları, toplam emisyonlara katkısının daha önemli hale geleceği şekildedir. Ancak, bu harcamalar GSYİH yüzdesi olarak çok küçüktür. Bu iki ülke için de uyum harcamaları tüm zaman ufku boyunca pozitifdir.

Amerika Birleşik Devletleri, ekonomisi birincisinin faydalarından yararlanacak kadar büyük olduğundan, dönem boyunca hem azaltım hem de uyum için harcama yapmaktadır. Aslında, azaltım harcamaları GSYH'nin bir yüzdesi olarak uyum harcamalarından daha yüksektir.

Olası büyüme yakınsamasını değerlendirmek için TFV'yi Amerika Birleşik Devletleri için yüzde 1,5, Şili ve Brezilya için yüzde 3 artırıyoruz. Şili örneğinde, kişi başına düşen GSYH, tüketim, yatırım ve kişi başına düşen sermaye artmasına rağmen azaltım harcamaları değişmemektedir. Brezilya için, azaltım harcamalarında bir artış vardır, ancak bu miktar GSYH açısından hala çok küçüktür. Amerika Birleşik Devletleri azaltım harcamalarını uyum harcamalarından daha fazla artırmaktadır. Aslında, her üç ülkede de uyum harcamaları artmaktadır, bu da uyumun normal bir mal olarak kabul edildiğini göstermektedir.

Tüm bunlar, emisyonları azaltmak için hiçbir şey yapılmadığından, tüm ülkeler için ortalama sıcaklık yörüngesini ve teta'yı neredeyse hiç değiştirmeden bırakmaktadır,

FIGURE 1. Temel Senaryo ve TFV Artış Senaryosu



çünkü tüm çabalar emisyonların üretim üzerindeki etkisini azaltmaya odaklanmıştır.

**SIMULATION 2: ADAPTATION IS NO LONGER AVAILABLE (a5 0).** İkinci olarak senaryosunda, ülkelerin adaptasyon için para harcayamayacağını, dolayısıyla kullanabilecekleri tek kontrol değişkeninin gezegenin sıcaklığını düşürmek için azaltım olduğunu varsayıyoruz (bkz. Şekil 2). Böylece modele bir kısıtlama eklemiş oluyoruz. İlginçtir ki, bu durum diğer sonuç değişkenleri üzerinde hiçbir etki yaratmamaktadır. Ekonomiler adaptasyon yerine azaltım için ek harcama yapmamaktadır. Bunun yerine kaynaklarını tüketimi artırmak için kullanmayı tercih etmektedirler.<sup>27</sup> Teta hariç (yörüngesini dengeleyen değişken ortadan kaldırıldığı için biraz kötüleşmektedir), tüm değişkenlerin değerleri temel senaryodakilerle neredeyse aynıdır. Brezilya ve Şili'nin emisyonları dünyanın geri kalanına göre nispeten küçük olduğundan, emisyonları azaltmaya yönelik ilave bireysel çabaların kazanımları, dünyanın geri kalanı tarafından üretilen iklim değişikliğinden kaynaklanan zararın büyük kısmıyla karşılaştırıldığında anlamlı değildir. Maliyet fonksiyonlarının parametreleri göz önüne alındığında, Kuhn-Tucker koşulları, azaltımın marjinal maliyetinin yüksek olması nedeniyle bireysel azaltım çabalarının üstlenilmeye değmeyeceği anlamına gelmektedir. Daha önce sunulan model açısından  $b$ ,  $2\eta m$ 'ye kıyasla çok küçüktür.

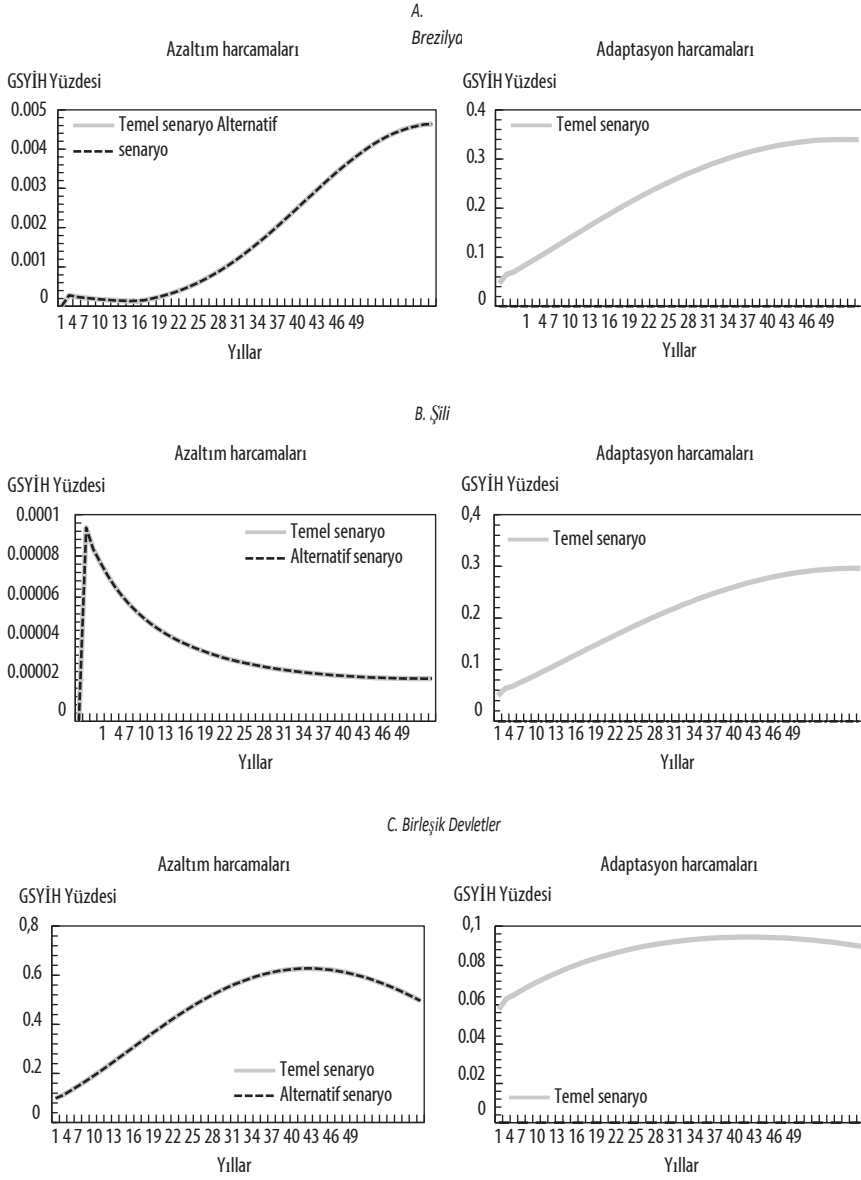
**SIMULATİYON 3: TÜRKİYE NİN KÜRESEL GELİŞMESİNE İLİŞKİNLİKLERİ WORLD.** Bu üçüncü alternatif senaryoda, dünyanın geri kalanı tarafından üretilen emisyonları yarı yarıya azaltıyoruz (Şekil 3). Bu, emisyonlar üzerindeki sıkı kısıtlamaların veya üretimi daha temiz hale getiren teknolojik ilerlemenin bir sonucu olabilir. Bu da ortalama sıcaklıkta ( $1/Q$  yörüngesinde örtük olarak) daha küçük bir artışa yol açarak üretkenlikte ve dolayısıyla kişi başına düşen GSYH'de artışa neden olur. Sonuçlar ülkeler arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

Şili'de, kişi başına düşen gelirin artmasına rağmen, GSYİH açısından bile sadece uyum harcamaları artmaktadır. Bu durum, Şili'nin çevresel açıdan küçük bir ekonomi olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır; bu da azaltıma kaynak ayırmak için hiçbir teşviki olmadığı anlamına gelmektedir.

Brezilya'da, azaltım harcamalarında uyum harcamalarına göre orantısız bir artış vardır, ancak bu sadece simülasyonun son yıllarında gerçekleşmiştir (muhtemelen gelirdeki önceki büyüme nedeniyle). Bununla birlikte, azaltım harcamaları GSYH yüzdesi olarak uyum harcamalarının altında kalmaktadır. Kişi başına tüketim artmakta, ancak yatırımlar sadece son on yılda biraz yükselmekte, o da hafif bir düşüşten sonra gerçekleşmektedir.

27. Ancak tüketim üzerindeki etkiler ihmal edilebilir düzeyde olduğu için bu sonuç şekilde çok net değildir.

FIGURE 2. Temel Senaryo ve Adaptasyon Yok Senaryosu



Son olarak, Amerika Birleşik Devletleri uyum harcamalarını artırmakta ancak azaltım harcamalarını ertelemektedir, bu da şimdilik iklim değişikliğinin etkisinin zaman içinde ileriye itildiği anlamına gelmektedir. Bu endişe verici bir sonuçtur, çünkü çevresel açıdan büyük ekonomiler, dünyanın geri kalanı emisyonlarını azaltma taahhüdünde bulunduğu azaltma çabalarını ertelemek için teşviklere sahip olabilirler. Ayrıca, bu artış Brezilya'dakinden daha küçüktür, çünkü muhtemelen ilkinde dünyanın geri kalanının emisyonları toplam emisyonların dörtte üçünü oluştururken, ikincisinde toplam emisyonların yaklaşık yüzde 98'ini temsil etmektedir.

**SIMULATİYON 4: MITİGATİVE DAPTATİK KAPSAMLAR 50 PERCENTEYE KADAR DÜŞER.**

Bu dördüncü alternatif senaryoda, azaltım ( $\eta$ ) ve adaptasyon ( $\rho$ ) maliyetini yansıtan parametreler yarıya indirilmiştir (Şekil 4). Bu, incelenen değişkenlerde önemli değişiklikler yaratmaktadır. Şili'nin azaltım harcamalarında herhangi bir değişiklik olmamakla birlikte, Brezilya ve Amerika Birleşik Devletleri azaltım harcamalarını keskin bir şekilde artırmaktadır; bu da büyük ekonomiler tarafından alınan kararların maliyet-etkinlik oranlarına ne kadar duyarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, GSYH'nin payı olarak ölçüldüğünde bile, her üç ülkede de uyum harcamalarında ve Amerika Birleşik Devletleri'nde azaltım harcamalarında önemli bir artış vardır.

Bu simülasyona dayalı olarak Şili ve Amerika Birleşik Devletleri arasında yapılan bir karşılaştırma, çevresel açıdan küçük ekonomilerde azaltım harcamalarıyla ilgili sorunun maliyetin ötesine geçtiğini göstermektedir. Aslında bu bir maliyet-fayda sorunudur: azaltım araçlarının etkinliği bu ekonomiler için o kadar sınırlıdır ki (kendilerini etkileyen emisyonların ihmal edilebilir bir kısmını azaltacakları için) herhangi bir pozitif maliyet bu ekonomileri azaltım için para harcamaktan caydırır. Brezilya bir eşik vaka gibi görünmektedir, bu da toplam emisyonların daha önemli bir oluşturucu hızlı büyüyen ekonomilerin, daha temiz teknolojilerin maliyetinin düşürülmesi halinde daha fazla azaltım tedbiri benimseyebileceğini göstermektedir.

**SIMULATİYON 5: 3.0 TO 1.5 PERCENT.**

Son olarak bu son alternatif senaryoda, iskonto faktöründe bir azalma olduğunu varsayıyoruz (Şekil 5). Böylece gelecekteki tüketim, zamanlar arası fayda fonksiyonunda daha fazla ağırlık taşır. Bu da yatırımların (kişi başına düşen sermayenin yanı sıra) arttığı ve GSYİH büyümesinin yükseldiği anlamına gelmektedir. Bu tür bir analizin iklim değişikliğiyle ilgili yatırım projelerinin değerlendirilmesine dahil edilmesi gerektiği, çünkü bunun daha fazla sayıda çevre dostu projenin gerçekleştirilmeye değer olduğunu göstereceği ileri sürülmüştür. Simülasyonlar iskonto oranında genelleştirilmiş bir düşüşü ele almakta ve her üç ekonominin de daha hızlı büyüyeceğini göstermektedir.

FIGURE 3. Referans Senaryo ve Dünyanın En Düşük Emisyon Senaryosu

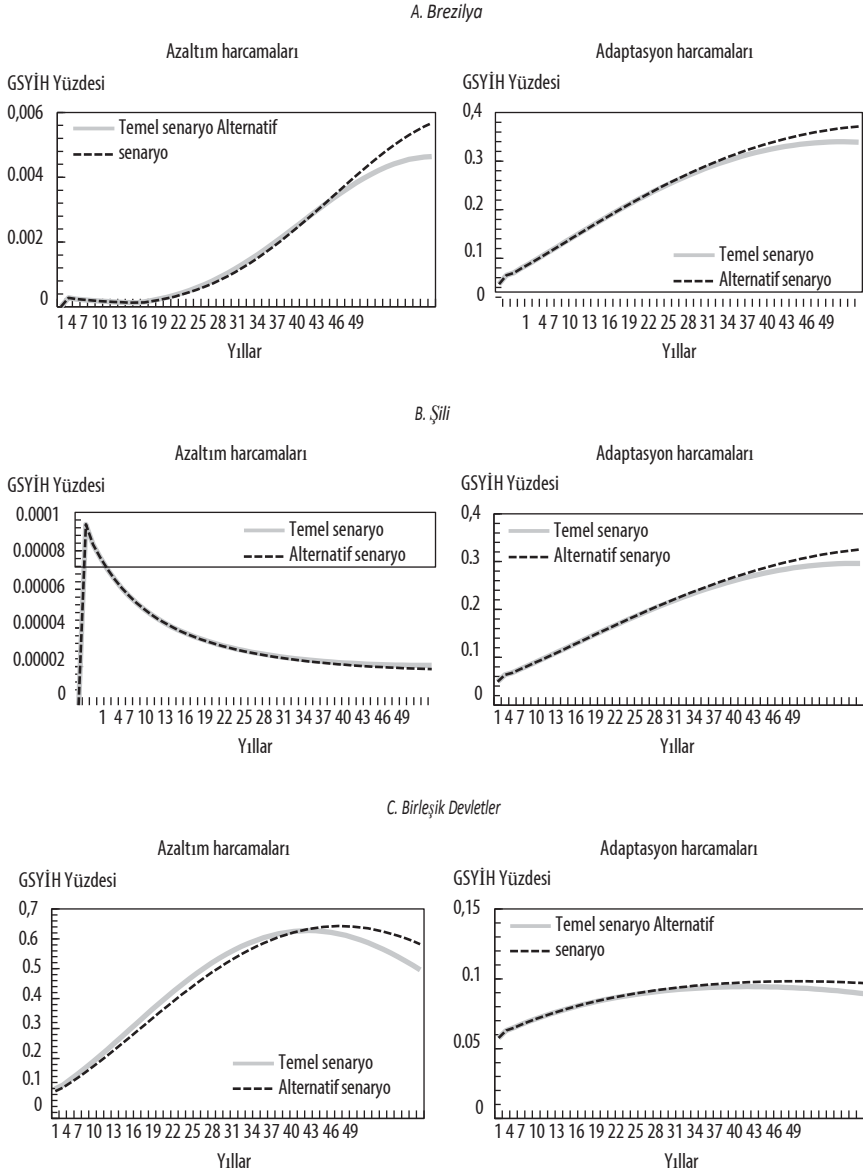
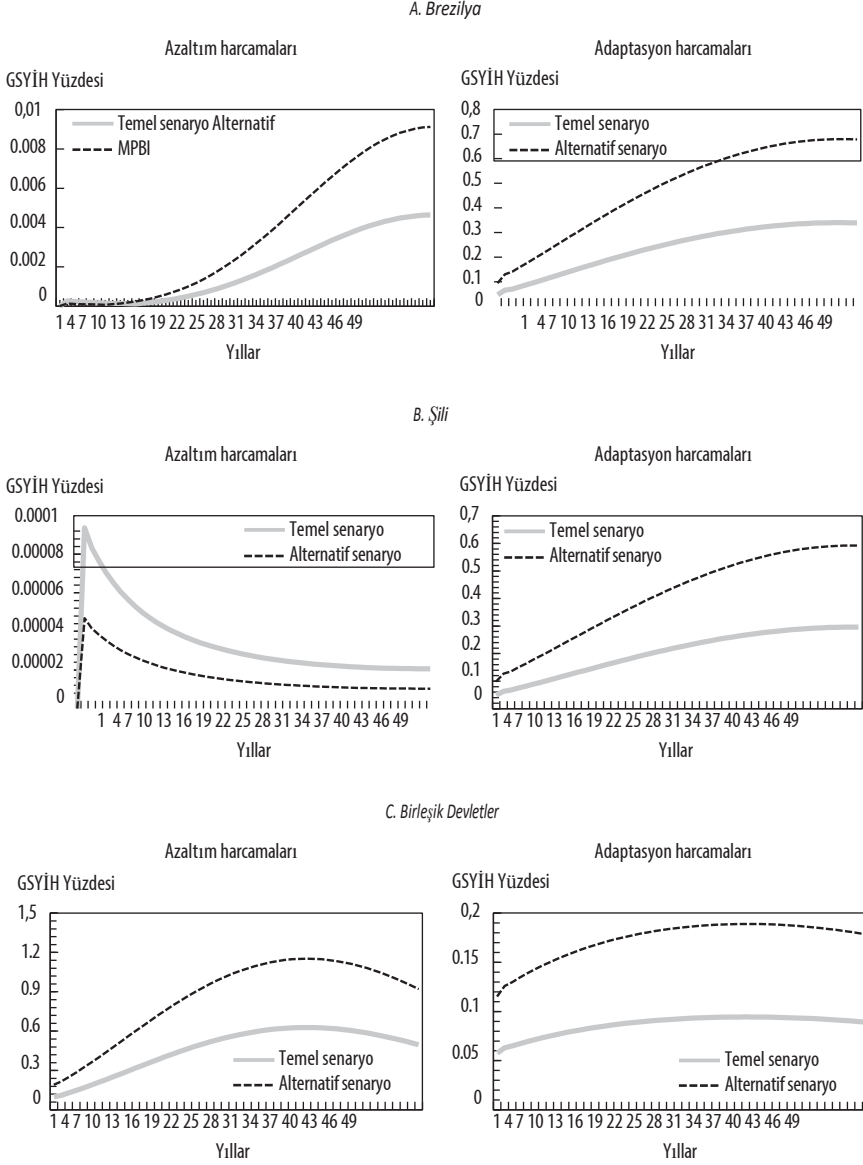




FIGURE 4. Referans Senaryo ve Düşük Azaltım ve Uyum Maliyetleri Senaryosu



Ancak sonuçlar beklendiği kadar iyimserlik için bir temel oluşturmamaktadır. İskonto oranındaki genelleştirilmiş indirim, uzun vadeli sermaye stokunu ortalama sıcaklıktan daha fazla artırabilir. Bu da iskonto oranlarının azaltılmasının, emisyonlarda gerçek bir azalma sağlayan projelerle sınırlı tutulması gerektiği anlamına gelmektedir. Amerika Birleşik Devletleri azaltım için ek harcamalar yapmasına rağmen, ortalama sıcaklık artışı sabit kalmaktadır ve ekonomi, emisyonlarda başlangıçtaki modelin ötesinde bir artışı önlemek için gerekli çabayı göstermektedir, ancak bundan daha fazlasını yapmamaktadır. Brezilya da daha fazla azaltım yapmakta, ancak Şili yapmamaktadır.

Her üç ülkede de adaptasyon artmaktadır. Bunun nedeni, ekonomilerinin daha varlıklı olması ve bu sayede üretimi korumak için daha fazla kaynak ayırabilmeleridir. Toplam üretimdeki herhangi bir yüzdelik azalmanın yeni senaryo altında mutlak anlamda daha önemli olacağı gerçeği de ek bir faktördür.

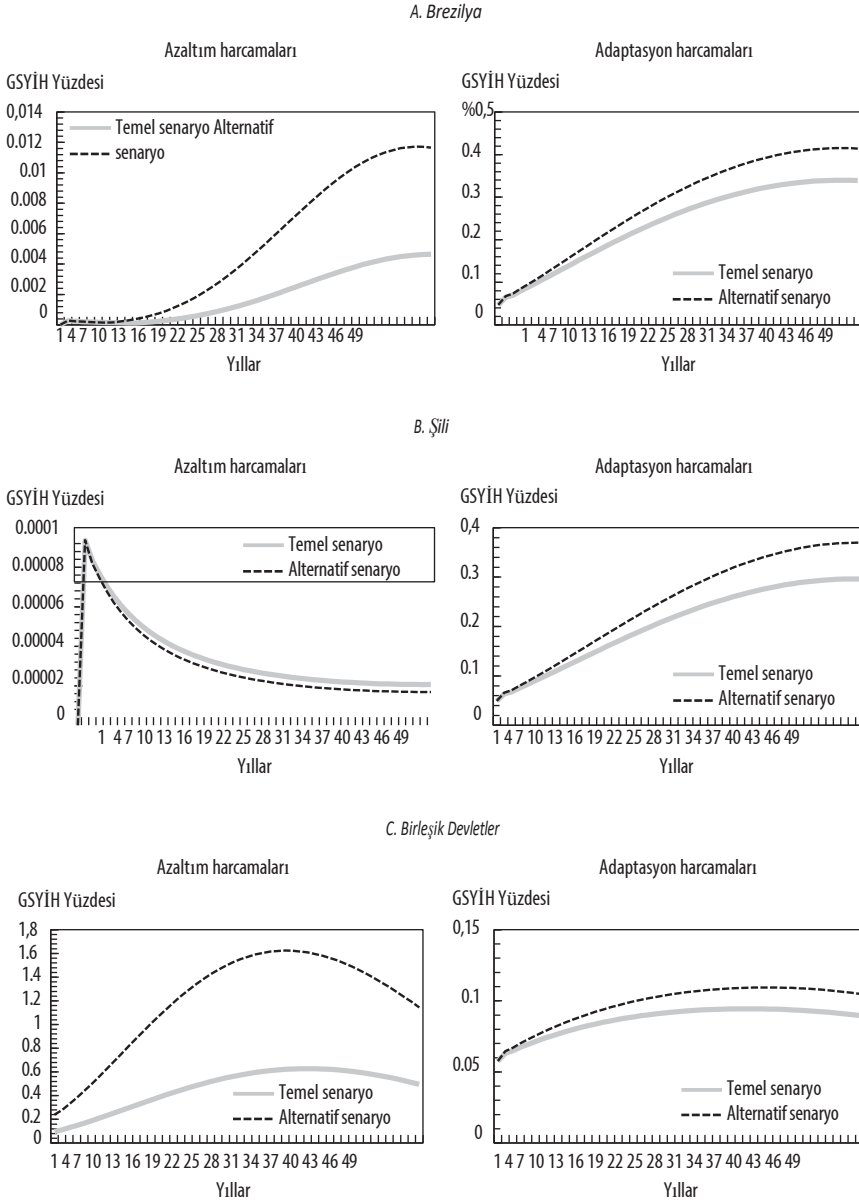
## Sonuçlar

Bu makalede, ekonomilerin iklim değişikliğine tepkilerini içeren bir optimal büyüme modeli geliştirdik. Model, DICE modelinden ilham almakta, ancak bir durağan durumun varlığına izin vermektedir. Buradaki amaç, iklim değişikliğinin durağan durum özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak ve böylece azaltım ve uyum politikalarının uygulanmasına yönelik teşvikler hakkında fikir edinmektir. Buna göre model, bir ülkenin iklim değişikliğinin etkisini azaltmak amacıyla azaltım ve uyum tedbirlerini izin vermektedir. Ayrıca, bu politikaların etkilerinin, her ülkenin dünyanın geri kalanına göre toplam emisyonlara katkısının büyüklüğüne bağlı olarak ülkeden ülkeye farklılık göstermesi olasılığına da izin veriyoruz.

Bu modeli, durağan bir durumun zorunlu olarak mevcut olmadığı farklı senaryolar altında farklı ekonomilerin uyum ve azaltım önlemleri açısından olası tepkilerine ışık tutan çeşitli dinamik karşılaştırmalı alıştırmalar yapmak için kullandık. Bu alıştırmaların önemi, iklim değişikliği azaltımında teknik ilerlemenin olmadığı bir durumla gösterilebilir. Böyle bir durumda, kişi başına tüketim sabit olsa bile, toplam nüfusun artması nedeniyle toplam emisyonlar artacaktır; iklim değişikliği söz konusu olduğunda önemli olan kişi başına düşen emisyonlar değil, toplam emisyonlardır.

Simülasyonlar, belirli bir ülkenin azaltım ve uyum konusundaki tutumunun altında yatan nedenler için o ülkenin yapısal özelliklerine bakan analitik modelimizin ortaya koyduğu bulguları doğrulamaktadır. Modele dayanarak sonuçları bekliyoruz.

FIGURE 5. Temel Senaryo ve Düşük İskonto Oranı Senaryosu



Toplam emisyonların önemli bir yüzdesini oluşturmeyen ekonomiler, küresel kirliliğin önemli bir yüzdesini oluşturan ülkelere kıyasla bu tür önlemler için çok daha az harcama yapmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ne kıyasla Şili ve Brezilya'nın durumu budur. Brezilya'nın durumu özellikle ilginçtir çünkü geçiş sürecinde olan bir ekonomidir: model, ülkenin önümüzdeki yıllarda muhtemelen daha önemli bir kirlilik kaynağı haline geleceği için bazı azaltım harcamaları yapmaya başlaması gerektiğini göstermektedir.

Azaltım maliyetlerinin veya iskonto faktörünün azaltılması -hatta büyümenin artırılması- çevresel açıdan küçük ekonomiler için azaltım harcamaları üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Bu da sorunun denklemin maliyet tarafında değil, etkinlik tarafında olduğunu göstermektedir. İklim değişikliği ile ilgili sorunlar dünya çapında üretilen toplam emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Çevresel açıdan küçük ekonomiler toplam emisyonları azaltmak için fazla bir şey yapamayacaklarından, çabalarını üzerinde kontrol sahibi olmadıkları koşullara uyum sağlamaya yoğunlaştırmaktan başka çareleri yoktur.

Çalışmamızdan üç ana sonuç ortaya çıkmaktadır. Birincisi, çoğu ülke emisyon kaynaklı iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaları gerektiği için uyum harcamalarına katlanırken, azaltım harcamaları yalnızca ekonomi toplam sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmından sorumlu olduğunda ortaya çıkmaktadır. Bu durum, söz konusu tedbirlerin uygulanmasının maliyetinin bir sonucu olmayıp, daha ziyade bir maliyet-etkinlik meselesidir: toplam emisyonların küçük bir kısmından sorumlu olan ekonomiler, bunları azaltmak için çok az şey yapabilir, dolayısıyla harcamaları boşa gider.

İkinci sonuç ilkiyle bağlantılıdır: adaptasyon mümkün olmadığında, küçük ekonomiler azaltım için daha fazla değil daha az harcama yapacaktır. Bunun nedeni, mevcut sera gazı stokunun etkisini azaltamamaları ve dolayısıyla daha yavaş büyümeye mahkum olmalarıdır. Bu durum, en az gelişmiş ekonomilerde uyum harcamalarının sübvansede edilmesi için güçlü bir argüman sağlamaktadır. Ayrıca, ülkelerin azaltım önlemleri için harcama yapmalarını sağlamanın tek yolu, ülkelerin emisyonları azaltmak için ortak taahhütlerde buldukları güvenilir (yani uygulanabilir) uluslararası anlaşmalardır. Ancak simülasyonlarımızdan biri, dünyanın geri kalanının emisyonları tek taraflı olarak azaltılması halinde, büyük ekonomilerin azaltım harcamalarını azaltma yönünde bir teşvike sahip olacağını göstermektedir.

Üçüncüsü, model aynı zamanda toplam emisyonların oldukça önemli bir yüzdesini oluşturan ve hızla büyüyen geçiş ekonomilerinin, maliyetin uygun olması halinde azaltım faaliyetlerine katılabileceğini göstermektedir. Böylece daha zengin ülkeler, gelişmekte olan ekonomilerin azaltım faaliyetlerini artırmaları için teşvik sağlayabilir.

harcamalar. Ancak, her bir ülke için denge çaba düzeyinin daha ileri araştırmalar temelinde belirlenmesi .

Karbon emisyonlarını sınırlandırmaya bağlayıcı uluslararası anlaşmaların yokluğunda, Latin Amerika ülkelerinin iklim değişikliğinin sonuçlarıyla başa çıkmak için esas olarak adaptasyona odaklanmaları gerektiğini savunduk. Hangi uyum politikalarını uygulayacakları, iklim değişikliğiyle ilgili belirsizliklerin zaman içinde nasıl çözüleceğine ve rakip projelerin kapsamlı fayda-maliyet analizlerinin sonuçlarına bağlı olacaktır. Ancak bu tür maliyet-fayda analizleri henüz yapılmamıştır.<sup>28</sup> Bununla birlikte, dünya bir bütün olarak bağlayıcı sera gazı azaltım anlaşmalarına varmak için daha kararlı bir çaba göstermelidir. Gelişmiş ülkelerdeki teknolojik değişim, uygulanabilir iklim değişikliği azaltım tedbirlerinin üretilmesinde kilit bir rol oynamalıdır.

28. Bu konunun derinlemesine incelenmesi için Feld ve Galiani'ye (2015) bakınız.

## Referanslar

- Adger, W. Neil ve diğerleri. 2003. "Gelişmekte Olan Dünyada İklim Değişikliğine Uyum." *Kalkınma Çalışmalarında İlerleme* 3(3): 179-95.
- Brock, William A., ve M. Scott Taylor. 2010. "Yeşil Solow Modeli." *Ekonomik Büyüme Dergisi* 15(2): 127-53.
- Chisari, Omar O., ve Sebastian Galiani. 2010. "İklim Değişikliği: Latin Amerika için Bir Araştırma Gündemi." Teknik Not 164. Washington: Inter-Amerikan Kalkınma Bankası.
- Chisari, Omar O., ve Sebastian Miller. 2015. "CGE Modellemesi: Karbon Vergilerinin Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İklim Değişikliği Etkilerinin Entegre Değerlendirilmesi için Alternatif Yapısal Özelliklerin Uygunluğu: Latin Amerika ve Karayipler Ekonomileri için Simülasyonlar." Teknik Not 740. Washington: Inter-Amerikan Kalkınma Bankası.
- Copeland, Brian R., ve M. Scott Taylor. 1994. "North-South Trade and the Environment." *Quarterly Journal of Economics* 109(3): 755-87.
- De Bruin, Kelly C., Rob B. Dellink, ve Richard S. J. Tol. 2009. "AD-DICE: DICE Modelinde Adaptasyonun Uygulanması." *İklim Değişikliği* 95(1-2): 63-81.
- Feld, Brian, ve Sebastian Galiani. 2015. "Latin Amerika ve Karayipler'de İklim Değişikliği: Politika Seçenekleri ve Araştırma Öncelikleri." *Latin Amerika Ekonomik İncelemesi* 24(1): 150-88.
- Hallegatte, Stéphane, Franck Lecocq, ve Christian de Perthuis. 2011. "İklim Değişikliğine Uyum Politikalarının Tasarlanması: Ekonomik Bir Çerçeve." Politika Araştırma Çalışma Belgesi 5568. Washington: Dünya Bankası.
- Hansen, Zeynep K., Gary D. Libecap, ve Scott E. Lowe. 2011. "İklim Değişkenliği ve Su Altyapısı: Batı Amerika Birleşik Devletleri'nde Tarihsel Deneyim." *İklim Değişikliği Ekonomisi* içinde: *Adaptations Past and Present*, Gary D. Libecap ve Richard H. Steckel tarafından düzenlendi, s. 253-80. Chicago Üniversitesi Yayınları.
- Klein, Richard J. T., E. Lisa Schipper ve Suraje Dessai. 2005. "Azaltım ve Adaptasyonun İklim ve Kalkınma Politikasına Entegre Edilmesi: Üç Araştırma Sorusu." *Çevre Bilimi ve Politikası* 8(6): 579-88.
- Lecocq, Franck, ve Zmarak Shalizi. 2007. "İklim Değişikliğinin ve İklim Değişikliğine Uyum Harcamalarının Dengelemesi: Gelişmekte Olan Ülkelerle İlgili Konuların İncelenmesi." Politika Araştırma Çalışma Belgesi 4299. Washington: Dünya Bankası.
- Lyssenko, Nikita, ve Leslie M. Shiell. 2008. "Temsili Temsilci ve Kirlilik Dışsallığı ile Olduğu Gibi İş Yapmanın Hesaplanması." *Ekonomik Dinamikler ve Kontrol Dergisi* 32(5): 1543-68.
- Mendelsohn, Robert. 2000. "İklim Değişikliğine Etkin Adaptasyon." *İklim Değişikliği* 45(3): 583-600.
- . 2010. "Başyazı: İklim Değişikliği Ekonomisi." *İklim Değişikliği Ekonomisi* 1(1): v-vi.

- Nordhaus, William D. 1994. *Küresel Müşterekleri Yönetmek: İklim Değişikliğinin Ekonomisi*. MIT Press.
- . 2008. *Bir Denge Sorunu: Küresel Isınma Politikalarına İlişkin Seçeneklerin Tartılması*. Yale Üniversitesi Yayınları.
- Nordhaus, William D., ve Joseph Boyer. 2000. *Dünyayı Isıtmak: Küresel Isınmanın Ekonomik Modelleri*. MIT Press.
- Schumacher, Ingmar, ve Eric Strobl. 2008. "Ekonomik Kalkınma ve Doğal Afetlerden Kaynaklanan Kayıplar: Riskin Rolü." Çalışma Belgesi 2008-32. Ecole Polytechnique, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).
- Smit, Barry, ve Olga Pilifosova. 2001. "Sürdürülebilir Kalkınma ve Eşitlik Bağlamında İklim Değişikliğine Uyum: Yönetici Özeti." *İklim Değişikliği 2001: Etkiler, Uyum ve Kırılganlık* içinde. *Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Üçüncü Değerlendirme Raporuna Çalışma Grubu II'nin Katkısı*, James J. McCarthy ve diğerleri tarafından düzenlenmiştir. Cambridge Üniversitesi Yayınları.
- Solomon, Susan ve diğerleri (eds.). 2007. *İklim Değişikliği 2007: Fiziksel Bilim Temeli. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Dördüncü Değerlendirme Raporuna Çalışma Grubu I'nin Katkısı*. Cambridge Üniversitesi Yayınları.
- Stokey, Nancy L. 1998. "Büyümenin Sınırları Var mı?" *Uluslararası Ekonomik İnceleme* 39(1): 1-31.
- Sutch, Richard. 2011. "1936 Mısır Kuşağı Kuraklığının Amerikan Çiftçilerinin Hibrit Mısırını Benimsemesine Etkisi." *İklim Değişikliği Ekonomisi* içinde: *Geçmişten Günümüze Adaptasyonlar*, Gary D. Libecap ve Richard H. Steckel tarafından düzenlendi, s. 195-223. Chicago Üniversitesi Yayınları.
- Tol, Richard S. J. 2005. "Adaptasyon ve Azaltım: Madde ve Yöntemlerde Ödünleşimler." *Çevre Bilimi ve Politikası* 8(6): 572-578.