



AÇIK

Emisyon ticareti planının etkileri (ETS) karbon emisyonu değişim oranı üzerine

Hail Jung¹ & Chang-Keun Song^{1,2}✉

Bu çalışma, Emisyon Ticareti Programının (ETS) benimsenmesinin ülke düzeyinde karbon azaltım oranı üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. İlk olarak ülkeleri üç kategoriye ayırmak için Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) testlerini kullandık: ayrılmış ülkeler için ters U şeklinde gama şeklinde EKC ve ayrılmamış ülkeler için pozitif doğrusal EKC. Daha sonra bu testlerin etkinliğini inceledik.

ETS'nin benimsenmesi. ETS'nin hem sanayi sonrası hem de sanayi öncesi ekonomiler için etkili olduğunu bulduk. ETS'yi benimsememiş ülkelerle karşılaştırıldığında, ETS'yi benimseyen ayrılmış (ayrılmamış) ülkelerin karbon emisyonu azaltım (artış) oranı daha hızlıdır (daha yavaştır). Ayrıca, ETS'nin benimsenmesi, petrol krizleri gibi diğer küresel olaylara kıyasla kişi başına düşen toplam karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Sonuçlar, piyasa temelli bir mekanizmanın sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmak için etkili bir strateji olduğunu ima etmekte ve böylece politika yapıcılara ve hükümetlere sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmak için etkili karbon nötr politikalar tasarlama konusunda içgörü sağlamaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma, insan uygarlığı için önemli bir hedeftir¹. Birleşmiş Milletler (BM) 2012 yılında küresel sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) çerçevesini açıklamıştır². Çevresel kalite, 17 SKH arasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar uzun süredir hava ve çevre kalitesini iyileştirme yöntemlerini araştırmaktadır.

Hava kirleticilerinin toplam hacminin azaltılması gerekli olmakla birlikte, ekonomik kalkınmanın sağlanması da önemlidir. Çevresel kalite ile bir ülkenin ekonomik büyümesi arasındaki ilişki, ilk olarak 1955 yılında Kuznets tarafından tartışılan teorik temellere dayanarak kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır³. Kuznets⁴ teorik olarak, genellikle kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) ile ölçülen ekonomik kalkınmanın, belirli bir kalkınma eşiğine ulaşılan kadar çevresel bozulmadaki (kişi başına düşen emisyon olarak ölçülen) artışla pozitif ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu hipotez, çevresel Kuznets eğrisinin (EKC) temelini oluşturmaktadır.

Ekonomik kalkınma bu eşiği aştığında, kalkınma ve çevresel bozulma arasındaki ilişki negatif hale gelmektedir⁵. Bu nedenle, çalışmalar yaygın olarak eşiğin ekonomik refah düzeyini temsil ettiğini ve eşik aşıldığında, ülkenin ekonomik refahı artırırken kirliliği azaltma potansiyeline sahip olduğunu savunmaktadır⁶⁻⁸. Çalışmalar ekonomik kalkınma ve emisyon seviyeleri arasında ters U şeklinde bir ilişkinin ideal olduğunu göstermektedir^{9,10} ve birçok çalışma karbondioksit (CO₂)¹, sülfür dioksit (SO₂)², su kirleticileri ve diğer çevresel bozulma göstergeleri gibi hava kirleticilerinin ters U şeklinde bir ilişkiye sahip olup olmadığını ampirik olarak incelemiştir^{3,11}(-127).

Çeşitli hava kirleticileri arasında karbon emisyonlarının azaltılması, çeşitli sosyoekonomik sektörlerle ve bir ulusun ekonomik kalkınmasıyla doğrudan bağlantılı olduğu için önemli kabul edilmektedir^{28,29}. Ayrıca, karbon emisyonları ölüm oranı, yoksunluk ve boş zaman gibi insani koşullarla da yakından ilişkilidir^{30,31}. Karmaşıklığı nedeniyle, artan karbon emisyonu çoğu ülkede politika yapıcılar ve yasama için artan bir endişe kaynağıdır, ancak çalışmalar birçok ülkenin devrilme noktasını geçmediğini³²⁻³⁷. Bir argüman, EKC'nin doğal kaynak mevcudiyeti, teknolojik ilerleme, nüfus ve ticaret miktarı gibi ulusal düzeydeki faktörlere bağlı olduğudur³⁸⁻⁴⁰. Buna ek olarak, akademisyenler EKC hipotezinde karbon emisyonlarının davranışını ve faktörlerini uzun süredir araştırmaktadır^{13,39,41}(-50). Önceki çalışmalar ülkeler arasındaki ticaret düzeyinin, ekonomik durumun, jeopolitik durumun EKC'yi nasıl etkilediğini iyi bir şekilde incelemiş olsa da, ülke düzeyindeki karbon emisyonunu doğrudan etkileyen ulusal düzeydeki politikaların EKC üzerinde nasıl etkileri olduğunu pek fazla araştırmamıştır. Bu nedenle, çeşitli endüstriler ve sektörlerle ilgili olduğu için ülkelerin karbon emisyonunu azaltmak için ulusal düzeyde sağlam bir politikaya ihtiyacı olacaktır.

¹Karbon Nötrlüğü Enstitüsü, Ulsan Ulusal Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Ulsan, Kore Cumhuriyeti. ²Şehir ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Ulsan Ulusal Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Ulsan, Kore Cumhuriyeti. ✉ e-posta: cksong@unist.ac.kr

Bu nedenle, politika yapıcılar ekonomik büyüme ve karbon emisyonlarının azaltılmasını aynı anda gerçekleştirebilir sürdürülebilir kalkınmayı sağlamayı amaçlamaktadır. Birçok ülke karbon emisyonunu etkin bir şekilde kontrol etmek için çeşitli politikalar uygulamaktadır. Bu tür politikaların etkili olması halinde, bunları uygulayan ülkeler, henüz bu tür politikaları uygulamayan ülkelere kıyasla karbon emisyonlarında bir düşüş yaşayacaktır. Ancak, politika etkilerini ülkeler arasında ampirik ve istatistiksel olarak karşılaştırmak zordur. Politika içeriği ülkeler arasında farklılık gösterdiğinde bu daha da zordur. Bu nedenle, ülke düzeyindeki örneklem gözlemlerini bölmek için birden fazla ülke tarafından uygulanan bir düzenlemeyi referans politika olarak seçmemiz gerekti. Böylece birden fazla ülkede uygulanan ETS'yi analiz ettik ve her ülkenin kişi başına düşen GSYH'si ile kişi başına düşen karbon emisyonları arasındaki ilişki üzerindeki etkisini araştırdık.

ETS, belirli endüstriler veya sektörler tarafından salınabilecek gazı miktarına sınırlar koyarak sera gazı emisyonlarını ele almak için kullanılan bir politika aracıdır. Bir ETS'nin amacı, işletmelerin sera gazı emisyonlarını azaltmaları ve daha temiz teknolojilere geçmeleri için ekonomik bir teşvik yaratmaktır.

ETS'nin bir avantajı, işletmelerin emisyonlarını azaltmak için en uygun maliyetli yolları bulmalarına izin vererek sera gazı emisyonlarını azaltmanın uygun maliyetli bir yolu olabilesidir. Bu, emisyonlarını nasıl azaltmayı seçecekleri konusunda esnekliğe sahip oldukları için işletmeler üzerindeki yükün azaltılmasına yardımcı olabilir. ETS'nin bir diğer avantajı da sera gazı azaltmaları için bir pazar oluşturarak inovasyonu ve daha temiz teknolojilerin teşvik edebilesidir. Bu da iklim değişikliğiyle mücadelenin uzun vadeli maliyetlerini azaltmaya yardımcı olabilir.

Çeşitli avantajlar nedeniyle, birçok gelişmekte olan ve gelişmiş ülke ulusal düzeyde ETS'yi yürürlüğe koymuştur. Bu nedenle, ETS'yi bir politika şoku olarak kullanarak, örnekleri dönüm noktasından önce ve sonra ayırdık ve ETS etkilerini gözlemledik. ETS uygulamasının hem ayrılmış hem de ayrılmamış ülkeler için olumlu etkileri olacağını varsayıyoruz. Analizimizin temel varsayımı, dönüm noktasını geçmeden önce ETS'yi uygulayan ülkeler için, ETS'nin kişi başına düşen GSYH ile kişi başına düşen karbon emisyonları arasındaki pozitif katsayıyı azaltacağı yönündeydi. Ancak, dönüm noktasını geçtikten sonra ETS'yi uygulayan ülkeler için, kişi başına düşen GSYH ile kişi başına düşen karbon emisyonları arasında daha negatif bir ilişki ortaya [çıkacaktır^{43,48,49,51-53}](#).

Bu şekilde, çeşitli çalışmalardan elde edilen verileri karşılaştırdık ve iklim değişikliğini azaltmak için emisyon azaltma politikalarının etkinliğine ilişkin değerli çıkarımlar elde ettik. Etkilerini test etmek için ilk olarak EKC modelini geçerli ülke örneklerini, yani ulusal ekonomik kalkınma ile karbon emisyonu arasında ters-U şeklinde bir ilişki izleyen örnekleri örneklemek için test ettik. İlk olarak 26 ülkenin EKC hipotezini doğruladığını tespit ettik. Bunlar arasında 16 ülke dönüm noktasını çoktan geçmiş (ayrışmış), 10 ülke ise henüz eşiği geçmemiştir (ayrışmamış). Daha sonra ETS etkilerini test etmek için regresyon analizi kullandık. ETS'nin benimsenmesinin hem ayrılmış hem de ayrılmamış ülkeler için karbon emisyon oranını azaltmada etkili bir strateji olduğunu bulduk. Genel olarak, çalışmamızın amacı, ulusal düzeydeki iklim değişikliği politikalarının ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişki üzerindeki etkinliğini değerlendirmek ve böylece ülkelerin sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmalarına yardımcı olabilecek değerli bilgiler sağlamaktır.

Bu makalenin katkısı açıktır. Karbon emisyonu yönetiminin öneminin altını çiziyoruz; karbon emisyonları genellikle insan faaliyetleriyle yakından ilişkilidir ve iklim değişikliğinin başlıca etkenleridir⁵⁴⁽⁻⁾⁽⁵⁸⁾. Bununla birlikte, diğer hava kirleticilerinin aksine, çoğu ülkede karbon emisyonları henüz ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ters U şeklindeki ilişkinin devrilmeye noktasına ulaşmamıştır⁵⁹. Bu bağlamda, bu çalışma ekonomik kalkınma ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi potansiyel olarak etkileyebilecek başka bir faktör sunarak EKC literatürüne katkıda bulunmaktadır. Ulusal düzeyde ETS'nin benimsenmesinin hem ayrılmış hem de ayrılmamış ülkeler için karbon emisyonu değişim oranı üzerinde olumlu etkileri olduğuna dair ampirik kanıtlar gösteriyoruz. Sonuçlar, ekonomik kalkınmayı sürdürürken karbon emisyonunu etkin bir şekilde azaltmak üzere tasarlanmış piyasa temelli bir mekanizma olan ETS'nin etkili bir strateji olduğuna işaret etmektedir.

İkinci katkı, ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeylerinin uygunluğunu ve etkilerini gözlemlemek için ülkeleri ayrıştırma durumlarına göre ampirik olarak gruplandırmaktır. Çalışmamız, ETS'lerin hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkeler için etkili olduğunu ortaya koyarak, karbon emisyonlarını azaltmada piyasa temelli mekanizmaların etkinliğini gösterirken, ekonomik kalkınmayı da desteklemektedir.

Üçüncü olarak, bulgularımız politika yapıcıların yirmi birinci yüzyılın ikinci yarısına kadar karbon nötrlüğüne ulaşmak için etkili yollar tasarlamalarında faydalı olabilir. ETS'lerin olumlu etkilerini tek yönlü olarak gösteren sonuçlara dayanarak, politika yapıcılar daha fazla kuruluşun ticaret programına katılabilmesi için düzenlemeyi genişletmeyi düşünebilirler. Özellikle çalışmamız, ETS'leri benimsememiş ülkelerin de karbon emisyonlarını azaltmak için bunu uygun bir yöntem olarak olumlu değerlendirebileceğini ortaya koymuştur.

Sonuçlar

Dünya genelinde Çevresel Kuznets eğrisi (EKC).

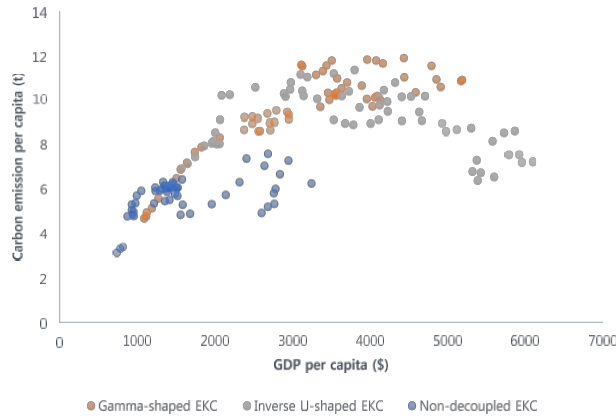
Ekonomik ve istatistiksel anlamlılık açısından EKC hipotezi (Tablo 1). Önceki çalışmaların sonuçlarına benzer şekilde, EKC hipotezini kısmen doğruladık. Özellikle, EKC hipotezi orta ve doğu Avrupa ülkeleri⁶⁰⁻⁶³ için doğrulanırken sonuçlar batı ve kuzey Avrupa ülkeleri^{64,65} ve Asya ülkeleri^{11,(66)(-)(69)} için karışıktır.

Bu ülkeler arasında 16'sı dönüm noktasını geçmiş (ayrışmış ülkeler), 10'u ise geçmemiştir (ayrışmamış ülkeler). Tablo 1 a ve b sırasıyla ayrılmış ve ayrılmamış ülkelerin listesini göstermektedir. İlginç bir şekilde, dönüm noktasını geçen ülkelerin çoğu kişi başına gelir ile karbon emisyonları arasında ters U şeklinde bir ilişki sergilerken, birkaçı gamma şeklinde bir ilişki sergilemiştir.

EKC hipotezi ile tutarlı olarak, ayrılmamış ülkeler kişi başına GSYH ile kişi başına karbon emisyonları arasında pozitif bir ilişki göstermiştir (Şekil 1). Bu arada, ayrılmış ülkeler için gama şekilli ve ters U şekilli dağılımlar gözlenmiştir. Ek Materyal 1, henüz dönüm noktasını geçmemiş birkaç ülkenin verilerini göstermektedir. Brezilya, Suudi Arabistan ve Kore Cumhuriyeti bu ülkelere örnektir.

Ülke	Ayrıştırılmış yıl	Dönüm noktası (1960 yılında \$)	Nüfus (bin, 2019)	Şekil	ETS (yıl)	OECD	AB
A							
Arjantin	1991	1190.04	44,781	Hiçbiri	Hayır	Hayır	Hayır
Avustralya	2004	4494.99	25,203	Gamma	Hayır	Evet	Hayır
Kanada	2007	6196.62	37,411	Gamma	Hayır	Evet	Hayır
Kosta Rika	2015	1389.3	5048	Gamma	Hayır	Hayır	Hayır
Çek Cumhuriyeti	2003	1406.32	10,689	Ters U	Evet (2005)	Evet	Evet
Fransa	2004	5068.2	65,130	Ters U	Evet (2005)	Evet	Evet
Almanya	1990	4340.48	83,517	Ters U	Evet (2005)	Evet	Evet
Yunanistan	2004	3208.69	10,473	Gamma	Evet (2005)	Evet	Evet
Japonya	1973	2359.34	126,860	Gamma	Hayır	Hayır	Hayır
Yeni Zelanda	2003	2841.34	4783	Ters U	Evet (2008)	Evet	Hayır
Rusya Federasyonu	2010	1274.02	145,872	Hiçbiri	Hayır	Hayır	Hayır
Singapur	1992	3326.51	5804	Ters U	Hayır	Hayır	Hayır
Slovak Cumhuriyeti	2003	1340.08	5457	Ters U	Evet (2005)	Evet	Hayır
İsveç	2003	5596.18	10,036	Ters U	Evet (2005)	Evet	Evet
İsviçre	2007	9117.96	8591	Ters U	Evet (2013)	Evet	Hayır
Birleşik Krallık	1987	2902.22	67,530	Ters U	Evet (2005)	Evet	Hayır
Ülke	Dönüm noktası (1960 yılında \$)	Nüfus (Bin, 2019)	ETS (yıl)	OECD	AB		
B							
Belarus	1071.72	9452	Hayır	Hayır	Hayır		
Brezilya	2125.86	211,050	Hayır	Hayır	Hayır		
Bulgaristan	1068.45	7000	Evet (2005)	Hayır	Evet		
Şili	3644.88	18,952	Hayır	Evet	Hayır		
Finlandiya	9176.78	5532	Evet (2005)	Evet	Evet		
Kore, Cumhuriyet	8801.85	51,225	Evet (2015)	Evet	Hayır		
Hollanda	8267.45	17,097	Evet (2005)	Evet	Evet		
Norveç	24,186.5	5379	Evet (2005)	Evet	Hayır		
Portekiz	3242.45	10,226	Evet (2005)	Evet	Evet		
Suudi Arabistan	4094.81	34,269	Hayır	Hayır	Hayır		

Tablo 1. (a) Ayrıştırılmış ülkeler listesi ve (b) Ayrıştırılmamış ülkeler listesi.



Şekil 1. Ülkelerin çevresel Kuznets eğrisi (EKC) dağılımı. Gama şekilli ve ters U şekilli dağılımlar sırasıyla turuncu kareler ve gri üçgenler olarak, ayrıştırılmamış ülkelerin EKC'si ise mavi daireler olarak gösterilmiştir. GSYİH, gayrisafi yurtiçi hasıla.

ayrıştırılmamış ülkeler, ekonomik büyümeleri ile karbon emisyonları arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir.

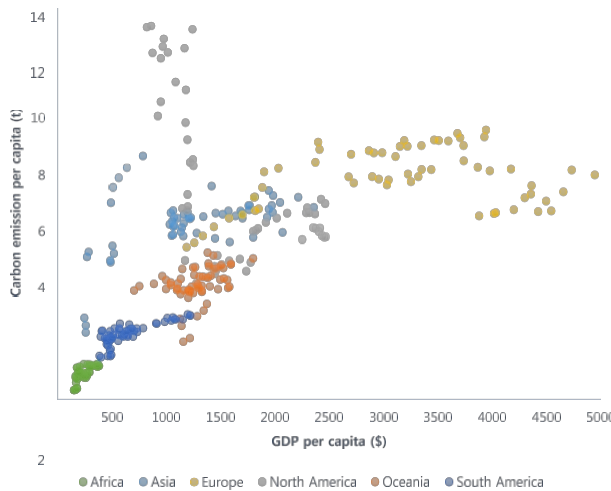
Ters U şeklindeki EKC, ekonomik kalkınma ile emisyon seviyeleri arasında ideal bir dengeye işaret etmektedir. Özellikle, ters U şeklindeki bir ilişki, iklim değişikliğine duyarlı hükümetlerin karbon nötrlüğüne ulaşması için idealdir, çünkü bu hükümetler pozitif ekonomik büyümeyi sürdürürken karbon emisyonlarını azaltmayı hedeflemektedir. Ek Materyal 1'de ters U-şeklinde bir ilişki sergileyen ülkelerin (örneğin Almanya, Fransa, Yeni Zelanda, Singapur, İsveç ve İsviçre) verileri gösterilmektedir.

Aynı zamanda, ayrılmış ülkelerde gama şeklinde bir dağılım ilişkisi gözlemledik, yani bu ülkeler dönüm noktasını geçtikten ve genel ekonomileri iyileştikten sonra bile karbon emisyonlarını azaltmakta başarısız oldular. Mutlak dönüm noktası değeri her ülke için değişmekle birlikte, çoğu ayrılmış benzer bir eğilim gözlemledik. Karbon emisyonlarını azaltmak isteyen ülkeler ters U şeklinde bir ilişkiyi tercih etmektedir. Gama şeklindeki ilişki, bir eşikten sonraki ekonomik kalkınmanın emisyon seviyelerindeki azalmayla ilgisiz olduğu anlamına gelir. Ek Materyal 1, Avustralya, Kanada ve Japonya gibi gama şeklinde bir dağılım izleyen ülke örneklerini sunmaktadır.

Ayrıca, gama ve ters U şeklindeki ilişkilerin kıta veya bölgesel düzeydeki örüntüleri tasvir edip etmediğini belirleyerek bu örüntüleri kıtasal ve bölgesel düzeylerde gözlemledik. Kıtalarla göre gruplandırılmış EKC (sadece önemli olaylar dahil) karbon emisyonlarını etkileyebilir (Şekil 2). Avrupa, ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasında ters U şeklinde bir ilişkinin gözlemlendiği tek kıta olmuştur. Ayrıca, sonuçlarımız kişi başına düşen GSYH'nin yaklaşık 3500 ABD Dolarını (1960 yılındaki ABD Doları değeri) geçmesinden sonra karbon emisyonlarının azaldığını ortaya koymuştur. Ek Materyal 2a, Avrupa'daki EKC değişikliklerinin farklı dönemlere (1960-1979, 1980-1999 ve 2000-2019) göre grafiksel bir gösterimini göstermektedir. Özellikle, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları 1960'larda pozitif bir ilişki izlerken, bu eğilim 1980'lerde düzleşti ve ardından 2000'lerde keskin bir düşüş gösterdi. O zamandan bu yana, Avrupa Birliği (AB) ETS Faz 1 (2005), Faz 2 (2008) ve Faz 3'ün (2013) kabul edilmesi ve Paris Anlaşması (2015) gibi önemli olaylar karbon emisyonlarını etkilemiştir.

Ayrıca, ETS'nin etkinliğini incelemek için tek değişkenli bir analiz yaptık ve etkinliğini diğer küresel olaylarla karşılaştırdık. Karbon emisyonlarını önemli ölçüde etkilemiş olabilecek küresel olaylar olarak birinci (1973) ve ikinci (1978) petrol şoklarını seçtik. Bunun nedeni, krizler sırasında petrol fiyatlarının büyük ölçüde dalgalanması ve bunun da firma düzeyinde üretimi ve hane halkı enerji kullanımını etkilemesidir. İlk olarak, her kıta için olay yılından önceki ve sonraki 3 yıllık ortalama emisyonlardaki farklılıkları ölçtük ve karşılaştırdık. Tablo 2'deki Panel A ve Panel B sırasıyla birinci ve ikinci petrol şokları için sonuçları göstermektedir. Olay öncesi ve sonrası karbon emisyonları Okyanusya (Panel A) ve Kuzey Amerika (Panel B) dışında önemli bir farklılık göstermemektedir. Panel C, AB ETS'nin üç aşaması için sonuçları göstermektedir. Önceki iki teste benzer şekilde, her bir ETS aşamasının yürürlüğe girmesinden önceki ve sonraki 3 yıllık ortalama hesapladık ve farklılıkları kontrol ettik. ETS aşamasından bağımsız olarak, karbon emisyonlarında önemli bir düşüş gözlemledik. Örneğin, kişi başına karbon emisyonları AB ETS 1, 2 ve 3. Aşamalarında sırasıyla %3,1, %9,4 ve %10,7 oranında azalmıştır. Mutlak ölçek açısından, 1. Aşama öncesindeki 3 yıllık ortalama karbon emisyonu kişi başına 8.894 tondur. Bu, ETS 3. Aşama uygulandıktan sonra 3 yıllık ortalama karbon emisyonlarında kişi başına 7.330 tona düşmüştür.

Afrika, Asya, Okyanusya ve Güney Amerika henüz dönüm noktasına ulaşmamıştı ve pozitif bir ilişki izliyordu. ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ilişki. Kuzey Amerika'da ilginç bir tablo ortaya çıkmıştır; karbon emisyonları kişi başına düşen GSYH 1000 USD ve 2000 USD (1960 USD değeri) olduğunda keskin bir şekilde azalmış ve sonrasında sabit kalmıştır. Kuzey Amerika'ya ait verileri on yıllar boyunca analiz ettik (Ek 2b) ve karbon emisyonlarının 1960-1979 yılları arasında keskin bir şekilde azaldığını ve daha sonra az da olsa istikrarlı bir şekilde arttığını tespit ettik. 1970'lerde, iki petrol krizi A.B.D.'yi doğrudan etkileyerek imalat üretiminin keskin bir şekilde düşmesine ve borsanın çökmesine neden olmuştur^{8,70}.



Şekil 2. Kıtalarla göre gruplandırılmış Çevresel Kuznets eğrisi (EKC). GSYİH, gayri safi yurtiçi hasıla.

	Öncesinde 3 yıllık ortalama	Sonrasında 3 yıllık ortalama	Günlük farkı	t-değeri
Panel A. İlk petrol şoku (1973)				
Afrika	0.767	0.797	0.038	- 0.205
Asya	7.867	7.386	- 0.063	0.785
Avrupa	8.297	8.851	0.065	- 0.361
Kuzey Amerika	12.126	11.197	- 0.080	0.535
Okyanusya	4.411	4.863	0.098	- 1.544*
Güney Amerika	2.179	2.256	0.035	- 0.780
Panel B. İkinci petrol şoku (1978)				
Afrika	0.828	0.960	0.148	- 0.340
Asya	7.190	6.691	- 0.072	0.983
Avrupa	8.936	9.359	0.046	- 0.902
Kuzey Amerika	10.807	7.693	- 0.340	1.299*
Okyanusya	4.779	4.457	- 0.070	0.579
Güney Amerika	2.255	2.465	0.089	- 1.779*
Panel C. AB ETS etkileri (Aşama 1-2005, Aşama 2-2008, Aşama 3-2013)				
ETS Aşama 1	8.894	8.618	- 0.031	1.980**
ETS Aşama 2	8.206	7.471	- 0.094	5.270***
ETS Aşama 3	8.155	7.330	- 0.107	4.592***

Tablo 2. Petrol krizleri, finansal kriz ve ETS'nin benimsenmesinin etkilerini analiz eden tek değişkenli karşılaştırma.

ETS etkileri. Bu bölümde, hem ayrıştırılmış hem de ayrıştırılmamış ülkeler için ETS'nin EKC üzerindeki etkilerini araştırdık. Özellikle, iki nedenden dolayı ETS'yi bir kıyaslama politikası şoku olarak ele aldık. Birincisi, ETS'ler genellikle insan faaliyetleriyle yakından ilişkili olan firma düzeyindeki karbon emisyonlarını düzenlemeyi amaçlamaktadır ve bu emisyonlar iklim değişikliğinin başlıca etkenleridir^{7,(31),(66),(71)}. Bu nedenle, otomobil emisyonlarıyla ilgili düzenlemeleri incelemek, diğer hava kirleticilerle ilgili olanları incelemekten daha yararlı olabilir. İkinci olarak, ETS, politika yapımcıların ekonomik büyümeden ödün vermeden emisyonları etkili bir şekilde azaltmayı umdukları piyasa temelli bir mekanizma izlemektedir. Piyasa temelli çevresel düzenleme politikalarında, çevrenin korunması, emisyon maliyetinin içselleştirilebildiği ve pazarlanabildiği bir ticari faaliyet haline gelebilir⁷². ETS'nin tüm avantajlarından yararlanarak, ETS'nin karbon emisyonları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki üzerindeki etkilerini araştırmak için hem tek değişkenli hem de çok değişkenli ortamlar tasarladık.

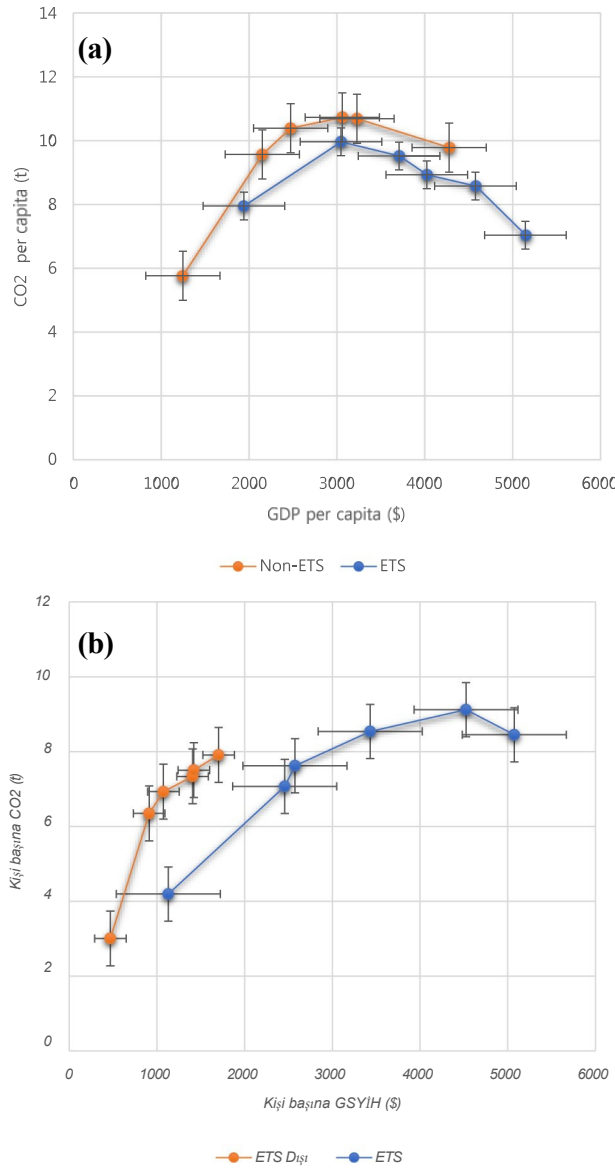
Ayrıştırılmış ülkeler ETS'yi 2000'li yılların ortalarında benimsemeye başlamıştır. ETS'nin benimsenmesinden sonra, kişi başına karbon emisyonları ETS'yi benimsemeyen ülkelere kıyasla önemli ölçüde azalmaya başlamıştır (Şekil 3a). Dahası, ETS'yi benimseyen ayrıştırılmış ülkeler daha düşük karbon emisyonları göstermiştir. Bu, düşük karbonlu teknolojilere ve üretim yöntemlerine zaten yatırım yapmış olabileceklerini ve emisyon azaltımını daha da hızlandırmak için ETS'yi kullanmış olabileceklerini göstermektedir.

Teorik olarak, ayrışma gerçekleşmeden önce, kişi başına düşen GSYH ile kişi başına düşen karbon emisyonları arasındaki ilişki pozitif olmalıdır⁷³. Bu ilişki, ETS'yi benimsemeyen ayrışmamış ülkeler için gözlemlenmiştir (Şekil 3b). Ancak, ETS'yi benimseyen ülkeler 2010'larda azalan karbon emisyonları göstermiştir. Ülkelerin ETS'yi 2000'li yılların ortalarında benimsemeye başladıkları göz önüne alındığında, sonuçlarımız ETS'nin benimsenmesinin bir şekilde ülkenin genel ekonomisini etkilediğini ve kişi başına düşen emisyonu azalttığını ima etmektedir.

Şekil 4, ETS'nin benimsenmesinden sonra karbon emisyonu değişikliklerinin daha doğrudan bir karşılaştırmasını sunmaktadır. ETS'nin benimsenmesinden önce ve sonra örnek ülkelerin kişi başına karbon emisyonlarının ortalamasını aldık. Kişi başına düşen toplam karbon emisyonu ayrıştırılmış örneklerde azalmıştır, bu da önceki bir çalışmanın bulgularıyla tutarlıdır⁷³. Buna ek olarak, azaltım oranı ETS'yi benimseyen ülkelerde daha yüksektir, bu da etkili ETS stratejilerinin sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasına yardımcı olabileceğini ima etmektedir. Ayrıca, EKC teorileriyle tutarlı olarak, kişi başına düşen toplam karbon emisyonları ETS'yi benimsemeyen ülkelerde önemli bir artış göstermiştir. Özellikle, ETS'yi benimseyen ülkelerin karbon emisyonları daha düşük bir oranda artmıştır. Genel olarak sonuçlar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ETS'nin önemine işaret etmektedir. Ancak, gelişmekte olan ülkeler daha yüksek üretkenlik elde ederken kaçınılmaz olarak daha fazla karbon salacaklarından, ETS, ETS'yi benimsemeyen ülkelerdeki karbon emisyonlarının artış hızını yavaşlatmış olabilir.

Tek değişkenli sonuçlara dayanarak, ETS etkilerini test etmek için çok değişkenli regresyon modelleri yürüttük. Spesifik olarak, EKC koşulunun geçerli olduğu örnek ülkeleri kullandık. Ayrıca, örnekleri sanayi öncesi ve sanayi sonrası ekonomiler olarak ayırdık ve ETS etkilerini test ettik. Ampirik sonuçlar, dönüm noktalarından önce ve sonra ETS'nin benimsenmesinin karbon nötrlüğü üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu doğrulamıştır. Sonuçlar, kullanılan modelden bağımsız olarak tutarlıydı.

Tablo 3 regresyon analizinin sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlarımız, dönüm noktasından sonra ETS'nin benimsenmesinin kişi başına GSYH ile kişi başına karbon emisyonları arasındaki negatif ilişkiyi daha da artırdığını ortaya koymuştur (Sütun 1 ve 2). Ayrıca, ETS'nin benimsenmesi, dönüm noktasından önce ekonomik kalkınma ile karbon emisyonları arasındaki pozitif ilişkiyi azaltmıştır (Sütun 3 ve 4). Genel olarak, tahmin sonuçları, ekonomik kalkınmanın erken bir aşamasında ETS'nin benimsenmesinin kişi başına emisyonları azaltmak için etkili bir strateji olduğunu, dönüm noktasından sonra ETS'nin benimsenmesinin de karbon emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu göstermektedir.

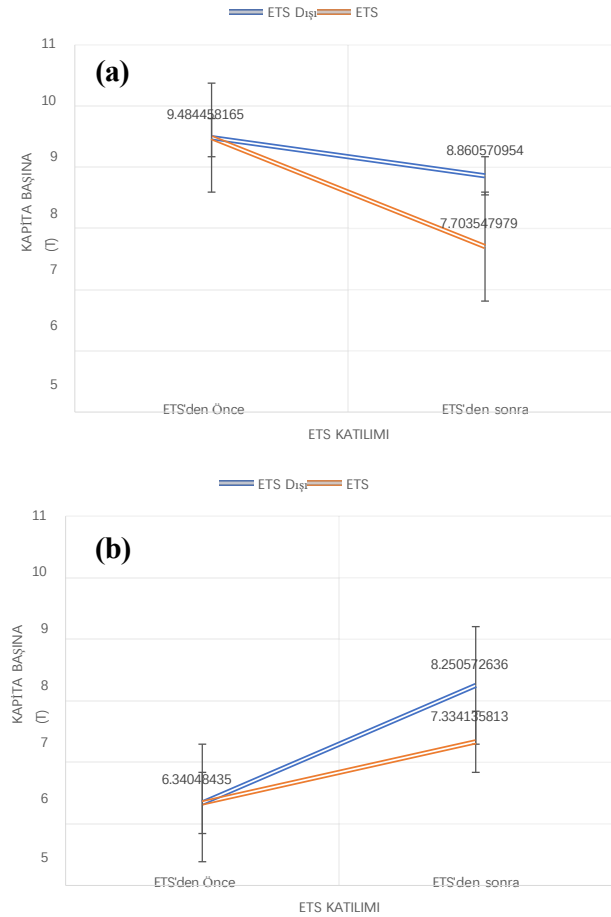


Şekil 3. Emisyon ticaret programına (ETS) katılım durumuna göre sınıflandırılmış ve on yıl düzeyinde gruplandırılmış ayrılmış ve ayrılmamış ülkelerin Çevresel Kuznets eğrisi (EKC). (a) Ayrılmış ülkeler; (b) ayrılmamış ülkeler. GSYİH, gayri safi yurtiçi hasıla.

Regresyon sonuçları ayrıca ETS'nin ekonomik büyüme ve karbon emisyonu arasındaki ilişkiyi değiştirmede bir katalizör görevi gördüğüne işaret etmektedir. ETS'nin rastgele bir deney olmadığı ve ETS'ye katılmaya karar veren ülkelerin genellikle emisyon azaltma sorumlulukları olan ülkeler olduğu doğrudur. Bu ülkeler ETS'ye ek olarak, yenilenebilir enerji sübvansiyonları da dahil olmak üzere çeşitli başka karbon emisyonu azaltma politikaları da uygulayacaktır. Bu nedenle, istatistiksel olarak anlamlı katsayının yalnızca ETS etkilerini temsil ettiği sonucuna varmak yanıltıcı olabilir. Ancak, ülke düzeyinde ETS de dahil olmak üzere çeşitli iklim değişikliği azaltım stratejilerini yürürlüğe koyan ülkelerin, gelişmiş ekonomiler için daha hızlı karbon emisyonu azaltımına ve gelişmemiş ekonomiler için daha yavaş karbon emisyonu artışına sahip olduğu da doğrudur. Bu bakımdan, analizdeki katsayılar, ülkelerin karbon emisyonunu azaltma istekliliğinin bu ampirik analizle bir şekilde yakalandığını ima edebilir.

Sonuç

Paris Anlaşması, ortalama küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1.5 °C üzerinde sınırlandırmanın önemini vurgularken, sıcaklık artışını 1.5 °C ile sınırlandırma çabalarını sürdürmektedir³¹. Bu nedenle, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler karbon salınımını muhtemelen nötr seviyeye indirecek ulusal düzeydeki planlarını uygulamaya koymuşlardır. Örneğin ICAP, dünya genelinde 70'ten fazla ülkenin 2050 yılına kadar karbon nötr seviyeye ulaşma taahhüdünde bulunduğunu⁷⁴ ve 138 ülkenin karbon nötr seviyeye ulaşma planları olduğunu .



Şekil 4. Dönüm noktasını geçtikten sonra ve geçmeden önce emisyon ticaret planını (ETS) benimseyen ve benimsemeyen ülkeler arasındaki kişi başına karbon emisyonu farkı. **(a)** Kişi başına karbon emisyonu dönüm noktasını geçtikten sonra ülkelerde. **(b)** Dönüm noktasını geçmeden önce ülkelerde kişi başına düşen karbon .

Karbon nötrlüğüne 2050 veya 2060 yılına kadar ulaşılması çok önemlidir. Ancak karbon nötrlüğüne hükümetlerin katılımı olmadan ulaşamaz. Çeşitli politikalar arasında, önceki çalışmalar ETS veya diğer karbon ticareti politikası biçimlerinin düşük karbonlu ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı eş zamanlı olarak teşvik etmede en etkili politikalar arasında olduğunu ortaya koymuştur^{43(,)(48)(,)(49)(,)(51)(-)(53)}. Program, maliyet etkinliği, geniş kapsamı, esnekliği ve öngörülebilir ve şeffaf piyasa ortamı gibi belirgin özellikleri nedeniyle etkili bir piyasa temelli emisyon azaltma yöntemi olarak kabul edilmektedir^{43(,)(54)(,)(75)}.

Bu çalışmada, ETS'nin etkilerini ülke düzeyinde test ettik. Özellikle, ETS'nin ekonomik büyüme ve iklim değişikliği arasındaki ilişki üzerinde herhangi bir etkisi olup olmadığını inceledik. Sonuçlar, politikanın hem ayrıştırılmış hem de ayrıştırılmamış örnekler üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu doğrulamıştır. Bulgularımız, ayrışmamış ülkeler için, ETS'nin benimsenmesinin kişi başına GSYİH ile kişi başına karbon emisyonları arasındaki pozitif ilişkinin büyüklüğünü başarılı bir şekilde azalttığını göstermektedir. Önceki çalışmalarla birlikte, ETS uygulamasının olumlu etkilerini ortaya koyuyoruz ve bu da politika oluşturma için uygulanabilir kılavuzlara katkıda bulunabilir.

Hiçbir politika çerçevesinin mutlak veya her şeyi kapsayıcı olmadığını ve ETS'lerin de bir istisna olmadığını anlamak önemlidir. Özellikle, çalışmamız ETS'lerin ekonomik kalkınma ve karbon emisyonları arasındaki ilişki üzerindeki etkisini araştırmıştır ve ETS çerçevesinin temel bir yaklaşım olarak hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelere hitap edebileceğine inanıyoruz. Dahası, çalışmamız ETS'nin hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler tarafından benimsenebileceğini ve en önemlisi etkilerinin her iki grupta da belirgin olduğunu kanıtlamıştır. Çalışmamız, ETS gibi piyasa temelli mekanizmaların ampirik bir analizini sunmuş ve bu planın karbon nötrlüğüne ulaşmada olabileceğini teyit etmiştir. Ayrıca bu çalışma, hükümet yetkililerinin ve politika yapımcıların karbon emisyonlarını azaltmak ve aynı zamanda ekonomik kalkınmayı sürdürmek için daha uygulanabilir çözümler geliştirmelerine yardımcı olabilir.

ETS ve karbon emisyonu azaltımını birbirine bağlayan mekanizma da önceki çalışmaları takiben tartışılabilir. Önceki literatür karbon emisyonu azaltımını sağlayan inovasyon, endüstriyel yapı veya endüstriyel zincir gibi çeşitli mekanizmalara işaret etmiştir⁷⁶⁽⁻⁾⁽⁷⁸⁾. Bulgularımız önceki çalışmaları da desteklemektedir. Bu mekanizma, ETS'nin firmanın karbon emisyonu yükünü artıracağı ve firmaları karbon emisyonunu azaltmaya teşvik edebileceği şeklinde olabilir.

	Ayrıştırılmış örnekler		Ayrıştırılmamış örnekler	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Değişkenler	Karbon emisyonu	Karbon emisyonu	Karbon emisyonu	Karbon emisyonu
ln(Kişi başına GSYİH)	- 0.280*** (- 6.530)	- 0.101** (- 2.396)	0.646*** (21.010)	1.052*** (20.232)
ln(nüfus)	0.808** (18.283)	0.440*** (3.992)	1.359*** (8.531)	- 0.365 (- 1.043)
ln(ticaret)	1.192* (9.471)	0.311 (1.490)	0.599*** (8.804)	0.058 (0.213)
TÜFE	0.001 (1.194)	0.002 (1.692)	- 0.001 (- 0.111)	- 0.001 (- 0.109)
Ar-Ge harcamaları	0.163 (0.932)	0.101** (2.177)	- 0.17 (- 0.176)	- 0.07 (- 0.189)
Yenilenebilir enerji tüketimi	0.002 (0.474)	0.001*** (4.163)	- 0.11* (- 2.112)	- 0.02 (- 0.847)
Tüketim giderleri	0.002 (1.106)	0.002 (0.978)	0.001 (0.309)	0.006 (0.402)
Sabit	4.442	- 3.081	1.191	- 5.871
Gözlemler	185	120	288	192
Düzeltilmiş R-kare	0.179	0.476	0.921	0.652
ETS katılımı	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Yıl FE	Evet	Evet	Evet	Evet
Ülke FE	Evet	Evet	Evet	Evet
İki yönlü FE	Evet	Evet	Evet	Evet

Tablo 3. Ekonomik kalkınma ve karbon emisyonları arasındaki ilişki üzerinde ETS etkilerini inceleyen regresyon sonuçları. Sütun (1) ve (3), sırasıyla ayrıştırılmış ve ayrıştırılmamış ETS katılımcısı ülkeler için tahmin sonuçlarını vermektedir. Sütun (2) ve (4) sırasıyla ayrılmış ve ayrılmamış ETS katılımcısı olmayan ülkeler için sonuçları göstermektedir.

iş modellerini yoğun emisyon salan sektörlerden daha az emisyon salan sektörlerle, örneğin imalat sektöründen hizmet sektörüne doğru yenilemeleri gerekmektedir. Bu tür çabalar sonuçta endüstriyel yapıyı veya endüstriyel zinciri daha büyük ölçekte değiştirecek⁷⁶⁽⁻⁾⁽⁷⁸⁾ ve karbon emisyon miktarını etkileyecektir.

Bu arada, politika çerçevesinin her ülkenin sektörel, toplumsal ve kültürel yönlerini dikkate alması gerektiğinin farkına varılması da önemlidir. Önerilen modelin ulusal düzeyde daha fazla özellik içermesi halinde daha aydınlatıcı olabileceğine inanıyoruz. Ar-Ge harcamaları, tüketici harcamaları, TÜFE ve yenilenebilir enerji tüketiminin dahil edilmesi, ETS'nin karbon emisyonu azaltımı üzerindeki etkileri etrafındaki dinamikleri anlamak için yapabileceğimiz en iyi şeydi. Bu şekilde araştırma, ülkeler arasındaki gözlemlenemeyen heterojenlikleri de dahil ederek daha aydınlatıcı olabilirdi. Bu soruyu gelecekteki araştırmalara bırakıyoruz.

Yöntemler

Mevcut literatürden hareketle, tüm ülkeler için EKC hipotezini test etmek amacıyla bağımsız değişkenler olarak kişi başına GSYH, kişi başına GSYH'nin karesi, nüfusun logu ve ticaret oranı (GSYH ile ölçeklendirilmiş ithalat artı ihracat) ile karbon emisyonlarını kullandık. Churchill ve³⁹ yöntemlerini izleyerek, tüm bağımlı ve bağımsız değişkenleri logladık. Tam regresyon spesifikasyonu için lütfen metodoloji bölümüne bakınız. Sonuçlarımız 16 ülkenin ayrılmış olduğunu ortaya koymuştur; diğer bir deyişle, Almanya, Fransa, Japonya ve Yeni Zelanda gibi ekonomik kalkınma ve karbon emisyonları arasındaki eşik noktasını aşmışlardır. Ayrıca on ülkenin ayrılmamış olduğunu, yani henüz dönüm noktasını geçmediklerini gözlemledik, örneğin Brezilya, Kore Cumhuriyeti ve Portekiz. Farklı ülkelerin EKC verilerini kullanarak, iklim değişikliği politikalarının her bir ülkedeki ekonomik kalkınma ve emisyon seviyeleri arasındaki ilişki üzerindeki etkilerini inceledik. Dünya çapındaki politika yapıcılar uzun zamandır kendilerini, ülkenin üretim seviyesini düşürmeden emisyonları etkili bir şekilde azaltacak bir politika tasarlamaya adanmışlardır. Du ve diğerleri⁷², piyasa temelli çevre düzenleme politikalarının, çevre korumayı bir iş faaliyetine dönüştürmek için kullanılabileceğini ve bu sayede emisyon maliyetinin içselleştirilip pazarlanabileceğini öne sürmektedir. Bu nedenle, çeşitli düzenlemeler arasında ETS küresel olarak en yaygın şekilde uygulanan önlem olmuştur. Özellikle ETS, piyasa temelli mekanizmaları takip ederek işletmeler tarafından üretilen sera gazlarını azaltmaya yönelik bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. ETS, kirlilik yayan işletmelerin belirli bir eşığa ("üst sınır") kadar karbon emisyonu yaymasına izin verildiği ve diğer işletmelerle tahsisat alıp satabildiği ("ticaret") üst sınır ve ticaret mekanizmasına dayanmaktadır. Eğer firma hükümet tarafından belirlenen eşik değerden daha az salım yaparsa, o zaman firma kalan izinleri satarak fayda sağlayabilir. Ancak, firma eşik değerden daha fazla salım yaparsa, düzenlemeyi yerine getirmek için izinleri satın almak zorunda kalacaktır. Açıkçası, ETS popüler bir politika'dır iklim azaltımı için benimsenmiştir⁵⁰.

Benzer piyasa temelli çevre düzenlemelerinin öncüsü olan AB ETS 2005 yılında yürürlüğe girmiştir ve dünyanın en büyük köklü ve olgun karbon piyasasıdır⁷⁹. Çin, İsviçre, Birleşik Krallık (İngiltere) ve Kore Cumhuriyeti ulusal düzeyde ETS'leri uygulamaya koymuştur. Çin, 2013 yılında sekiz bölgesel pilot geliştirmenin ortasında ülke çapında bir ETS kurmuştur. İstatistiksel kanıtlar, 2008 ve 2016 yılları arasında AB ETS'nin, ETS'si olmayan diğer ülkelere kıyasla 1 milyar ton karbon emisyonu azaltımı sağladığını göstermektedir⁽¹¹⁾. Ayrıca, ABD gibi bazı ülkeler, Kaliforniya ve Massachusetts gibi alt ulusal düzeyde ETS uygulamıştır. Ayrıca, Japonya gibi bazı gelişmiş ülkeler aktif olarak ETS'nin yürürlüğe girmesini tartışmakta ve Tayland, Vietnam, Endonezya ve Filipinler gibi gelişmekte olan ülkeler ETS sistemlerini geliştirmekte ya da kullanmayı düşünmektedir. ETS'lerin popüleritesi, ülkenin ekonomik refahından bağımsız olarak dünya çapında artmaktadır. Dahası, artan popülerlik, akademisyenlerin iklim sorunlarını hafifletmek için bir iklim politikası olarak ETS etkilerini tartışmalarına yardımcı olabilir^{80,81}. Kore Cumhuriyeti gibi yüksek karbon emisyonu azaltma maliyetlerine sahip ülkelerde, ETS'lerin kullanılmasıyla GSYH kaybı %1,42 oranında azaltılabilir⁸². Bu nedenle, hem ekonomik kalkınmaya hem de iklim değişikliğine odaklanmak önemlidir. ICAP Durum Raporu 2021, ETS'lerin küresel karbon emisyonlarının %15'inden fazlasını düzenlediğini bildirmiştir.

Bu çalışmada, dünya çapında çeşitli ülkelerin ETS statülerini dahil ettik; regresyon analizimiz ekonomik kalkınmanın erken bir aşamasında ETS'nin benimsenmesinin kişi başına artan emisyon oranını azaltmak için etkili bir yöntem olabileceğini doğrulamıştır. Ayrıca, ayrışmadan sonra ETS'nin benimsenmesi de karbon emisyonlarının azaltılmasını hızlandırabilir. Sonuçlar, ulusal düzeyde ETS'nin yürürlüğe girmesinin hem ayrılmış hem de ayrılmamış ülkeler için olumlu etkileri olduğunu göstermiş ve bu tür politikaların önde gelen ülkelerde ekonomik kalkınma ve emisyon seviyesi arasında ters U şeklinde bir ilişkiyi destekleyebileceğini ima etmiştir.

Veri toplama. Bu çalışmada, ülke düzeyinde bir veri seti oluşturmak için çeşitli kaynaklar kullandık. Ana bağımlı değişken olan kişi başına karbon emisyonları için, 1960 yılına kadar uzanan ülke düzeyindeki karbon emisyon verilerini, diğer çalışmalar tarafından ülke düzeyindeki tarihsel karbon emisyon verilerini hesaplamak için sıklıkla kullanılan Küresel Karbon Projesi'nden aldık⁸³. Kişi başına emisyon verilerini oluşturmak için ayrıca BM Dünya Nüfus Beklentileri'nden her ülkenin yıllık nüfus verilerini kullandık. Ana bağımsız değişken olan kişi başına GSYİH için verileri Dünya Bankası veri kaynağından elde ettik. Nüfus ve ticaret kontrol değişkenleri olarak kullanılmıştır; ticaret verileri ithalat artı ihracatın GSYİH ile ölçeklendirilmesi ile hesaplanmıştır. İthalat ve ihracat verileri Dünya Bankası tarafından oluşturulan bir veri kaynağı olan Dünya Bankası Göstergeleri'nden elde edilmiştir. Son olarak, ETS'ye katılan ülkeleri ve ticaret programına katıldıkları yılı manuel olarak belirlemek için ICAP raporlarını kullandık. Bu kontrol değişkenlerini EKC'yi inceleyen önceki çalışmaları takip ederek seçtik³²⁽⁻⁾⁽³⁷⁾. Çalışmalar, nüfus ve ticaretin, en azından, ekonomik kalkınma ve karbon emisyonu arasındaki ilişkiyi etkileyebilecek önemli kontrol değişkenleri olduğunu yaygın olarak savunmuştur⁽³²⁾⁽⁻⁾⁽³⁷⁾.

ETS'yi benimseyen ülkeler ve benimsemeyen ülkeler için tanımlayıcı analiz sonuçları Ek Materyal 3a ve 3b'de raporlanmıştır. Ortalama olarak, kişi başına düşen emisyonun ve toplam emisyonun ETS'yi benimsemeyen ülkelere ETS'yi benimseyen ülkelere kıyasla daha büyük olduğu belirtilmelidir. Ancak, ETS'nin benimsenmesi ile karbon emisyonunun azaltılması arasındaki ilişkiyi etkileyebilecek başka potansiyel faktörler de bulunmaktadır. Bu nedenle, ETS etkilerini dikkatli bir şekilde anlamak için çok değişkenli regresyon modelleri kullandık.

Çevresel Kuznets eğrisi (EKC) modelinin oluşturulması. EKC hipotezini test etmek için öncelikle EKC modelini ülke düzeyinde ampirik olarak inceledik. Özellikle, önceki çalışmalar model spesifikasyonunda farklı ölçütler ve vekiller kullanmıştır. Örneğin, Churchill ve diğerleri³⁹ EKC regresyon modelinde kontrol değişkenleri olarak ülkenin nüfusunu ve ticari faaliyetlerini dikkate almış, Zafar ve diğerleri^{(40) ise} modele ticaretin serbestleşmesini dahil etmiştir. Bazı çalışmalar da EKC'nin Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi ülkeler gibi gelişmiş ülkelerde geçerli sonucuna varmıştır⁽³⁹⁾⁽⁸⁴⁾⁽⁸⁾⁽³⁵⁾. Bu nedenle, sonuçlar modele dahil edilen kontrol değişkenlerine duyarlıdır^{71,86}. Mevcut literatüre uygun olarak, EKC modeli ampirik olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$E = F(Y, Y^2, Z)$$

Burada E kişi başına karbon emisyonu, Y kişi başına GSYİH ve Z kontrol değişkenleri kümesidir. Önceki çalışmaları takip ederek, hem bağımlı hem de bağımsız değişkenleri logladık. Yukarıda bahsedilen formül böylece aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\ln(CO_2)_{i(t)} = \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP)_{i(t)} + \beta_2 \ln(GDP^2)_{i(t)} + \beta_3 \ln(TRADE)_{i(t)} + \beta_4 \ln(POP)_{i(t)} + u_{i(t)}$$

Burada $\ln(CO_2)_{i(t)}$ ülkesinin t yılındaki kişi başına karbon emisyonunu, $\ln(GDP)_{i(t)}$ ülkesinin t yılındaki kişi başına GSYİH'sini $\ln(GDP^2)_{i(t)}$ ve $\ln(TRADE)_{i(t)}$ ülkesinin t yılındaki ticaretini ve $\ln(POP)_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki nüfusunu etmektedir.

Literatürü takip ederek regresyon analizini gerçekleştirdik ve katsayıların anlamlılığını test ettik⁷³. $\beta_1 > 0$ ve $\beta_2 < 0$ ve p-değerlerinin %10'un altında olduğu durumlar için, ekonomik büyüme ve karbon emisyonları arasındaki ters U şeklindeki ilişki için EKC hipotezi karşılanmıştır. Bu koşul sağlandığında, GSYH'nin dönüm noktasını (GSYH*) aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

$$GSYH^* = e^{\frac{-\beta_1}{2\beta_2}}$$

1960-2020 yıllarını kapsayan verilere dayanarak, yanlılığı azaltmak için kişi başına düşen GSYH'si 1.000 ABD dolarının (1960 yılındaki ABD doları değeri) ve nüfusu 5 milyonun altında olan ülkeler hariç tüm ülkeler için EKC hipotezini test ettik. Genel olarak, prosedür sonrasında 26 ülkenin EKC hipotezini karşıladığını ve

ekonomik büyümeleri ile karbon emisyonları arasında ters U şeklinde bir ilişki vardır. Tablo 1, istatistikleriyle birlikte bu ülkelerin bir listesini sunmaktadır.

Regresyon modeli oluşturma. ETS'nin EKC ilişkisi üzerindeki etkilerini test ettik. Örnekler arasındaki farklılıkları gözlemlemek için örnekler ayrıştırılmış ve ayrıştırılmamış ülkeler olarak ikiye ayrılmış ve her grup ETS katılım durumuna göre alt kategorilere ayrılmıştır. Bu, ayrıştırılmış/ayrıştırılmamış örneklem üzerindeki ETS etkilerini belirgin bir şekilde gözlemlememizi sağladı. Regresyon modeli için, eksik değişkenlerden kaynaklanan olası içsellik sorununu da dikkate aldık. Yani, karbondioksit emisyonunu potansiyel olarak etkileyebilecek endüstriyel yapı, teknik düzey, tüketim yapısı ve diğerleri gibi başka faktörler de vardır. Bu nedenle, EKC modelinde kontrol edilen ticaret ve nüfus değişkenlerine ek olarak, sağlamlık amacıyla aşağıdaki kontrol değişkenlerini topladık ve elde ettik: Ar-Ge harcamaları (GSYH ile ölçeklendirilmiş), yenilenebilir enerji tüketimi (toplam enerji tüketimi ile ölçeklendirilmiş), tüketici fiyat endeksi, tüketim harcamaları (GSYH ile ölçeklendirilmiş). Tüm değişkenler Dünya Bankası veri tabanından alınmıştır.

Regresyon modelini yukarıda bahsedilen kontrol değişkenleri dahil edilerek çalıştırdık. Yeni sonuçlar Tablo 3'te raporlanmıştır. Regresyon modeli spesifikasyonu aşağıdaki gibidir:

$$\text{Ayrıştırılmış örnekler: } \ln(CO_2)_{i(t)} = \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP)_{i(t)} + \beta_2 \ln(TRADE)_{i(t)} + \beta_3 \ln(POP)_{i(t)} + \beta_4 CPI_{i(t)} + \beta_5 R\&D_{i(t)} + \beta_6 RENEW_{i(t)} + \beta_7 CONS_{i(t)} + u_{i(t)}$$

$$\text{Ayrıştırılmamış örnekler: } \ln(CO_2)_{i(t)} = \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP)_{i(t)} + \beta_2 \ln(TRADE)_{i(t)} + \beta_3 \ln(POP)_{i(t)} + \beta_4 CPI_{i(t)} + \beta_5 R\&D_{i(t)} + \beta_6 RENEW_{i(t)} + \beta_7 CONS_{i(t)} + u_{i(t)}$$

Burada $\ln(CO_2)_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki kişi başına karbon emisyonunu, $\ln(GDP)_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki kişi başına GSYİH'sini, $\ln(TRADE)_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki ticaretini ve $\ln(POP)_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki nüfusunu, $CPI_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki Tüketici Fiyat (TÜFE) R&D'siyle i ülkesinin t yılındaki GSYİH'sine göre ölçeklendirilmiş Ar-Ge harcamalarını, $RENEW_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki toplam enerji tüketimine göre ölçeklendirilmiş yenilenebilir enerji tüketimini ve $CONS_{i(t)}$ i ülkesinin t yılındaki GSYİH'sine göre ölçeklendirilmiş tüketim harcamalarını

Regresyon sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Bu hipotezle tutarlı olarak, dönüm noktasından önce ETS'nin benimsenmesinin ekonomik kalkınma ile karbon emisyonları arasındaki pozitif ilişkiyi azaltabileceği sonucuna varabiliriz. Ayrıca, dönüm noktasından sonra ETS'nin benimsenmesinin, bir ülkenin kişi başına GSYİH'si ile kişi başına karbon emisyonları arasındaki negatif ilişkiyi daha da yoğunlaştırdığını gözlemledik.

Veri kullanılabilirliği

Bu çalışmada analiz edilen ve oluşturulan veri seti, makul bir talep üzerine ilgili yazardan talep edilebilir. Ülke düzeyindeki ham karbon emisyon verileri kamuya açık alandan elde edilmiştir: our world in data (https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions?source=post_page_47fa6c394991). Diğer veriler kamuya açıktır.

Kod kullanılabilirliği

Ham veriler, SAS kodu (birleştirme için) ve STATA kodu (regresyonu çalıştırmak için) ilgili yazardan talep edilebilir.

Alındı: 11 Kasım 2022; Kabul edildi: 13 Ocak 2023

Published online: 17 January 2023

Referanslar

- Abbasi, K. R., Hussain, K., Redulescu, M. & Ozturk, I. Doğal kaynakların tükenmesi ve ekonomik büyüme Birleşik Krallık'ın karbon nötrlüğü hedefine ulaşıyor mu? Sürdürülebilir kalkınmaya doğru ilerleyen bir yol. *Resour. Policy* **74**, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102341> (2021).
- Zafar, M. W., Saeed, A., Zaidi, S. A. H. & Waheed, . Doğal kaynaklar, yenilenebilir enerji tüketimi ve çevre kalitesi arasındaki bağlantılar: Sürdürülebilir kalkınmaya giden yol. *Sürdürülebilir. Dev.* **29**, 353-362. <https://doi.org/10.1002/sd.2151> (2021).
- Benavides, M., Ovalle, K., Torres, C. & Vines, T. Ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji ve metan emisyonları: Avusturya'da bir çevresel kuznets eğrisi var mı? *Int. J. Energy Econ. Policy* **7**, 259-267 (2017).
- Kuznets, S. Ekonomik büyüme ve gelir eşitsizliği. *Am. Econ. Rev.* **45**, 1-28 (1955).
- Shafik, N. Ekonomik kalkınma ve çevresel kalite: Ekonometrik bir analiz. *Oxf. Econ. Pap.* **46**, 757-773. https://doi.org/10.1093/oepp/46/Supplement_1.757 (1994).
- Grossman, G. M. & Krueger, A. B. Ekonomik büyüme ve çevre. *Q. J. Econ.* **110**, 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443> (1995).
- Ozcan, B. & Ozturk, I. Gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimi-ekonomik büyüme bağlantısı: Bir bootstrap panel nedensellik testi. *Yenileme. Sürdürülebilir. Energy Rev.* **104**, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.020> (2019).
- Alpanda, S. & Peralta-Alva, A. Petrol krizi, enerji tasarrufu sağlayan teknolojik değişim ve 1973-74 borsa çöküşü. *Rev. Econ. Dyn.* **13**, 824-842. <https://doi.org/10.1016/j.red.2010.04.003> (2010).
- Acheampong, A. O. Ekonomik büyüme, CO2 emisyonları ve enerji tüketimi: Ne neye neden olur ve nerede? *Energy Econ.* **74**, 677-692. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.07.022> (2018).
- Riti, J. S., Song, D., Shu, Y. & Kamah, M. Çin'de CO2 emisyonu ve ekonomik büyümenin ayrıştırılması: Çevresel Kuznets eğrisinin analizinde tahmin sonuçlarında tutarlılık var mı? *J. Clean. Prod.* **166**, 1448-1461. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.117> (2017).
- Apergis, N. & Ozturk, I. Asya ülkelerinde çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin test edilmesi. *Ekoloji. Indic.* **52**, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.11.026> (2015).

12. Bilgili, F., Koçak, E. & Bulut, Ü. Yenilenebilir enerji tüketiminin CO2 emisyonları üzerindeki dinamik etkisi: A revisited environmental Kuznets Curve approach. *Yenileme. Sürdürülebilir. Energy Rev.* **54**, 838-845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080> (2016).
13. Chow, G. C. & Li, J. Çevresel Kuznets eğrisi: CO2 için kesin ekonometrik kanıt. *Pac. Econ. Rev.* **19**, 1-7. <https://doi.org/10.1111/1468-0106.12048> (2014).
14. Destek, M. A., Ulucak, R. & Dogan, E. AB ülkeleri için çevresel Kuznets eğrisinin analizi: Ekolojik ayak izinin rolü. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **25**, 29387-29396. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2911-4>, [PubMed:30128968](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30128968/) (2018).
15. El Montasser, G., Ajmi, A. N. & Nguyen, D. K. Yapısal kırılmalarla karbon emisyonları-gelir ilişkileri: Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri örneği. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **25**, 2869-2878. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0725-4>, [PubMed:29143264](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29143264/) (2018).
16. Hao, Y., Liu, Y., Weng, J. H. & Gao, Y. Çin'de kömür tüketimi için çevresel Kuznets eğrisi var mı? Mekânsal ekonometrik analizden yeni kanıtlar. *Energy* **114**, 1214-1223. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.075> (2016).
17. Paudel, K. P., Zapata, H. & Susanto, D. Su kirliliği için çevresel Kuznets eğrisinin ampirik bir testi. *Environ. Resour. Econ.* **31**, 325-348. <https://doi.org/10.1007/s10640-005-1544-5> (2005).
18. Shahbaz, M., Solarin, S. A., Hammoudeh, S. & Shahzad, S. J. H. Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Analizinde Sınır Testi Yaklaşımı: Amerika Birleşik Devletleri'nde Biyokütle Enerji Tüketiminin Yapısal Kırılmalarındaki Rolü, (2017).
19. Thompson, A. Su kirliliği için çevresel Kuznets eğrisi: Sınır ülkeleri örneği. *Mod. Econ.* **05**, 66-69. <https://doi.org/10.4236/me.2014.51008> (2014).
20. Wang, S. & Liu, X. Çin'in şehir düzeyinde enerjiyle ilişkili CO2 emisyonları: Mekansal-zamansal örüntüler ve itici güçler. *Appl. Energy* **200**, 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.085> (2017).
21. Carson, R. T., Jeon, Y. & McCubbin, D. R. Hava kirliliği emisyonları ve gelir arasındaki ilişki: ABD verileri. *Çevre. Dev. Econ.* **2**, 433-450. <https://doi.org/10.1017/S1355770X97000235> (1997).
22. Cropper, M. & Griffiths, C. Nüfus artışı ve çevresel kalitenin etkileşimi. *Am. Econ. Rev.* **84**, 250-254 (1994).
23. Onafowora, O. A. & Owoye, O. Çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin analizine sınır testi yaklaşımı. *Enerji Ekonomisi*. **44**, 47-62. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.03.025> (2014).
24. Sarkodie, S. A. & Strezov, V. Avustralya, Çin, Gana ve ABD için çevresel Kuznets eğrisi ve çevresel sürdürülebilirlik eğrisi hipotezinin ampirik çalışması. *J. Clean. Prod.* **201**, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.039> (2018).
25. Stern, D. I., Common, M. S. & Barbier, E. B. Ekonomik büyüme ve çevresel bozulma: Çevresel Kuznets eğrisi ve sürdürülebilir kalkınma. *World Dev.* **24**, 1151-1160. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(96\)00032-0](https://doi.org/10.1016/0305-750X(96)00032-0) (1996).
26. Tsurumi, T. & Managi, S. Çevresel Kuznets eğrisinin ayrıştırılması: Ölçek, teknik ve kompozisyon etkileri. *Çevre. Econ. Policy Stud.* **11**, 19-36. <https://doi.org/10.1007/s10018-009-0159-4> (2010).
27. Wang, H. & Wheeler, D. *Endojen Uygulama ve Çin'in Kirlilik Harcı Sisteminin Etkinliği* (Cilt 2336) (Dünya Bankası Yayınları, 2000).
28. He, S. & diğerleri. Çin'in enerji tüketiminden kaynaklanan NOx emisyonlarının ekonomik etkenlerinin haritalanması. *J. Clean. Prod.* **241**, 118130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118130> (2019).
29. Wang, Q. & Zhang, F. Araştırma ve geliştirme yatırımlarının artırılması ekonomik büyümenin karbon emisyonu artışından ayrışmasını sağlar mı? BRICS ülkeleri üzerine ampirik bir analiz. *J. Clean. Prod.* **252**, 119853. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119853> (2020).
30. Jones, C. I. & Klenow, P. J. GSYİH'nin ötesinde mi? Ülkeler ve zaman arasında refah. *Am. Econ. Rev.* **106**, 2426-2457. <https://doi.org/10.1257/aer.20110236> (2016).
31. Lahiani, A., Meftah-Wali, S., Shahbaz, M. & Vo, X. V. Finansal gelişme yenilenebilir enerji tüketimini ABD'de karbon nötrlüğüne ulaşmak için etkiler mi? *Energy Policy* **158**, 112524. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112524> (2021).
32. Harbaugh, W. T., Levinson, A. & Wilson, D. M. Çevresel Kuznets eğrisi için ampirik kanıtların yeniden incelenmesi. *Rev. Econ. Stat.* **84**, 541-551. <https://doi.org/10.1162/003465302320259538> (2002).
33. Lee, C. C., Chiu, Y. B. & Sun, C. H. Su kirliliği için çevresel Kuznets eğrisi hipotezi: Bölgeler önemli mi? *Energy Policy* **38**, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.004> (2010).
34. Lorente, D. B. & A. Çevresel Kuznets eğrisinde ekonomik büyüme ve enerji düzenlemesi. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **23**, 16478-16494. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6773-3> (2016) ([PubMed:27164892](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27164892/)).
35. Perman, R. & Stern, D. I. Çevresel Kuznets eğrisinin var olmadığına dair panel birim kök ve eşbütünlük testlerinden elde edilen kanıtlar. *Aust. J. Agric. Resour. Econ.* **47**, 325-347. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.00216> (2003).
36. Stern, D. I. Çevresel Kuznets eğrisinin yükselişi ve düşüşü. *Dünya Gelişimi*. **32**, 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004> (2004).
37. Stern, D. I. & Common, M. S. Kükürt için çevresel bir Kuznets eğrisi var mı? *J. Environ. Econ. Manag.* **41**, 162-178. <https://doi.org/10.1006/jeem.2000.1132> (2001).
38. Bo, S. Çevresel Kuznets eğrisi üzerine bir literatür araştırması. *Energy Procedia* **5**, 1322-1325. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.229> (2011).
39. Awaworyi Churchill, S. A., Inekwe, J., Ivanovski, K. & Smyth, R. OECD'de çevresel Kuznets eğrisi: 1870-2014. *Enerji Ekonomisi*. **75**, 389-399. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.09.004> (2018).
40. Zafar, F., Anwar, S., Hussain, Z. & Ahmad, N. Ticaretin serbestleşmesi ve yolsuzluğun Pakistan'da çevresel bozulma üzerindeki etkisi. *J. Financ. Econ.* **1**, 84-89 (2013).
41. Hove, S. & Tursoy, T. Gelişmekte olan ekonomilerde çevresel Kuznets eğrisinin incelenmesi. *J. Clean. Prod.* **236**, 117628. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117628> (2019).
42. Hu, Y., Ren, S., Wang, Y. & Chen, X. Karbon emisyon ticareti programı enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı sağlayabilir mi? Çin'deki sanayi sektöründen kanıtlar. *Energy Econ.* **85**, 104590. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104590> (2020).
43. Jung, H., Song, S., Ahn, Y. H., Hwang, H. & Song, C. K. Emisyon ticareti planlarının kurumsal karbon verimliliği üzerindeki etkileri ve firma düzeyinde tepkiler için çıkarımlar. *Sci. Rep.* **11**, 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91193-4>, [PubMed:34083656](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34083656/) (2021).
44. Jung, H., Song, S. & Song, C. K. Karbon emisyonu düzenlemesi, Yeşil kurullar ve kurumsal çevre sorumluluğu. *Sustainability* **13**, 4463. <https://doi.org/10.3390/su13084463> (2021).
45. Kim, D. H., Suen, Y. B. & Lin, S. C. Karbondioksit emisyonları ve ticaret: Ayrıştırılmış ticaret verilerinden elde edilen kanıtlar. *Energy Econ.* **78**, 13-28. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.08.019> (2019).
46. Wang, X., Huang, J. & Liu, H. Çin'in karbon ticareti politikası karbon nötrliğünün sağlanmasına yardımcı olabilir mi? Beş küre entegre plan perspektifinden politika etkileri üzerine bir çalışma. *J. Environ. Manage.* **305**, 114357. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114357> (2022).
47. Liu, X., Zhang, S. & Bae, J. Yenilenebilir enerji ve tarımın karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisi: Seçilmiş dört ASEAN ülkesinde Kuznets eğrisinin incelenmesi. *J. Clean. Prod.* **164**, 1239-1247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.086> (2017).
48. Xuan, D., Ma, X. & Shang, Y. Çin'in karbon emisyon ticareti politikası karbon emisyonunun azaltılmasını teşvik edebilir mi? *J. Clean. Prod.* **270**, 122383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122383> (2020).
49. Zhang, Y. J., Liang, T., Jin, Y. L. & Shen, B. Karbon ticaretinin Çin'in sanayi sektörlerinde ekonomik çıktı ve karbon emisyonlarının azaltılması üzerindeki etkisi. *Appl. Energy* **260**, 114290. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114290> (2020).
50. Zhu, J., Fan, Y., Deng, X. & Xue, L. Çin'de emisyon ticaretinin neden olduğu düşük karbonlu inovasyon. *Nat. Commun.* **10**, 4088. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12213-6>, [PubMed:31501437](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31501437/) (2019).

51. Wei, Y., Gong, P., Zhang, J. & Wang, L. "Büyük Veri Çağı"nda iklim değişikliği politikasına ilişkin kamuoyu görüşlerinin araştırılması - Twitter'a dayalı Avrupa Birliği emisyon ticaret sistemi (EU-ETS) üzerine bir vaka çalışması. *Energy Policy* **158**, 112559. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112559> (2021).
52. Fan, Y., Jia, J. J., Wang, X. & Xu, J. H. AB ETS'deki hangi politika düzenlemeleri karbon fiyatlarını gerçekten etkiledi? *Energy Policy* **103**, 145-164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.008> (2017).
53. Yuan, P., Xiong, X., Lei, L. & Zheng, K. Hyperledger tabanlı emisyon ticaret sistemi üzerine tasarım ve uygulama. *IEEE Erişim* **7**, 6109-6116. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2888929> (2018).
54. ICAP. *Dünya Çapında Emisyon Ticareti: Durum Raporu*, (2021).
55. IPCC. *İklim Değişikliğinin Azaltılması, Değişim, C. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Beşinci Değerlendirme Raporuna Çalışma Grubu III'ün Katkısı* içinde (eds Edenhofer, O. ve diğerleri) (Cambridge Univ., 2014).
56. Sirag, A., Matemilola, B. T., Law, S. H. & Bany-Arifin, A. N. Çevresel Kuznets eğrisi hipotezi var mı? Dinamik panel eşliğinden elde edilen kanıtlar. *J. Environ. Econ. Policy* **7**, 145-165. <https://doi.org/10.1080/21606544.2017.1382395> (2018).
57. Shi, X. ve diğerleri. Çin'de karbon nötrlüğüne ulaşmanın hava kalitesine faydaları. *Sci. Total Environ.* **795**, 148784. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148784> (2021).
58. Wang, J., Gu, F., Liu, Y., Fan, Y. & Guo, J. Avrupa birliği emisyon ticareti programında ticaret davranışları ve karbon fiyatları arasındaki çift yönlü etkileşimler. *J. Cleaner Prod.* **224**, 435-443. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.264> (2019).
59. Panayotou, T. *Ekonomik Kalkınmanın Farklı Aşamalarında Çevresel Bozulmanın Ampirik Testleri ve Politika Analizi* (No. 992927783402676) (Int. Labour Organization, 1993).
60. Akbostancı, E., Türit-Aşık, S. & Tunç, G. İ. Türkiye'de gelir ve çevre arasındaki ilişki: Çevresel bir Kuznets eğrisi var mı? *Energy Policy* **37**, 861-867. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.088> (2009).
61. Atıcı, C. Orta ve Doğu Avrupa'da karbon emisyonları: Çevresel Kuznets eğrisi ve sürdürülebilir kalkınma için çıkarımlar. *Sust. Dev.* **17**, 155-160. <https://doi.org/10.1002/sd.372> (2009).
62. Öztürk, İ. & Acaravci, A. Türkiye'de CO2 emisyonları, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *Yenileme. Sustain. Energy Rev.* **14**, 3220-3225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.005> (2010).
63. Shahbaz, M., Mutascu, M. & Azim, P. Romanya'da çevresel Kuznets eğrisi ve enerji tüketiminin rolü. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **18**, 165-173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.012> (2013).
64. Acaravci, A. & Ozturk, I. Avrupa'da enerji tüketimi, CO2 emisyonları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki üzerine. *Energy* **35**, 5412-5420. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.009> (2010).
65. Baek, J. CO2 emisyonları için çevresel Kuznets eğrisi: Arktik ülkeleri örneği. *Energy Econ.* **50**, 13-17. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.04.010> (2015).
66. Auffhammer, M. & Carson, R. T. İl düzeyindeki bilgileri kullanarak Çin'in CO2 emisyonlarının izleyeceği yolu tahmin etmek. *J. Environ. Econ. Manag.* **55**, 229-247. <https://doi.org/10.1016/j.jeeem.2007.10.002> (2008).
67. Nasir, M. & UrRehman, F. Pakistan'da karbon emisyonları için çevresel Kuznets eğrisi: ampirik bir araştırma. *Energy Policy* **39**, 1857-1864. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.025> (2011).
68. Saboori, B., Sulaiman, J. & Mohd, S. Malezya'da ekonomik büyüme ve CO2 emisyonları: Çevre- mental Kuznets eğrisinin eşbütünleşme analizi. *Energy Policy* **51**, 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.065> (2012).
69. Tiwari, A. K., Shahbaz, M. & AdnanHye, Q. M. Çevresel Kuznets eğrisi ve Hindistan'da kömür tüketiminin rolü: Açık bir ekonomide eşbütünleşme ve nedensellik analizi. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **18**, 519-527. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.031> (2013).
70. Kohl, W. L. *İkinci Petrol Krizinden Sonra: Avrupa, Amerika ve Japonya'da Enerji Politikaları*, (1982).
71. Carson, R. T. Çevresel Kuznets eğrisi: Ampirik düzenlilik ve teorik yapı arayışı. *Rev. Environ. Ekonomi. Politika* **4**, 3-23. <https://doi.org/10.1093/reep/rep021> (2010).
72. Du, G., Yu, M., Sun, C. & Han, Z. Emisyon ticareti politikasının pilot bölgeler ve komşu bölgeler üzerindeki yeşil inovasyon etkisi: Mekânsal ekonometrik modele dayalı bir analizi. *Energy Policy* **156**, 112431. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112431> (2021).
73. Doğan, E. & Inglesi-Lotz, R. Ekonomik yapının çevresel Kuznets eğrisi (EKC) hipotezine etkisi: Avrupa ülkelerinden kanıtlar. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **27**, 12717-12724. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07878-2>, [PubMed: 32008192](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32008192/) (2020).
74. ICAP. *Dünya Çapında Emisyon Ticareti: Durum Raporu*, (2020).
75. Wang, X., Teng, F., Wang, G., Zhou, S. & Cai, B. Çin'de ETS ve ETS dışı sanayi sektörlerinde karbon kaçağı incelemesi. *Kaynak. Conserv. Recy.* **129**, 424-431. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.017> (2018).
76. Jia, Z. Gizli fayda: Emisyon ticareti programı ve alt işletmelerin iş performansı. *Energy Econom.* **117**, 106488. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106488> (2023).
77. Yao, S., Yu, X., Yan, S. & Wen, S. Heterojen emisyon ticareti planları ve yeşil inovasyon. *Energy Policy* **155**, 112367. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112367> (2021).
78. Zhao, Z., Zhou, S., Wang, S., Ye, C. & Wu, T. Karbon emisyonları ticareti pilot politikasının endüstriyel yapının iyileştirilmesi üzerindeki etkisi. *Sürdürülebilirlik* **14**, 10818. <https://doi.org/10.3390/su141710818> (2022).
79. Guo, J. ve diğerleri. Firma düzeyinde işlemlere dayalı olarak ETS ticaret kârının emisyon azaltımları üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. *Nat. Commun.* **11**, 2078. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15996-1>, [PubMed: 32350279](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32350279/) (2020).
80. Mehling, M. A., Metcalf, G. E. & Stavins, R. N. Heterojen iklim politikalarını birbirine bağlamak (Paris anlaşmasıyla tutarlı). *Environ. Law* **48**, 647-698. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3040676> (2018).
81. Mehling, M. A., Metcalf, G. E. & Stavins, R. N. Küresel azaltımı ilerletmek için iklim politikalarını birbirine bağlamak. *Science* **359**, 997-998. <https://doi.org/10.1126/science.aar5988>, [PubMed: 29496871](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29496871/) (2018).
82. Zhang, H., Zhang, R., Li, G., Li, W. & Choi, Y. Çin'in emisyon ticaret sistemi, yüksek emisyonlu endüstriyel alt sektörlerde düşük karbonlu ekonomisinin gelişimini sağladı mı? *Sustainability* **12**, 5370. <https://doi.org/10.3390/su12135370> (2020).
83. Ritchie, H. & Roser, M. CO₂ ve sera gazı emisyonları. *Verilerle Dünyamız* (2020).
84. Álvarez-Herranz, A., Balsalobre, D., Cantos, J. M. & Shahbaz, M. Enerji yenilikleri - sera gazı emisyonları bağlantısı: OECD ülkelerinden yeni ampirik kanıtlar. *Energy Policy* **101**, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.11.030> (2017).
85. Martínez-Zarzoso, I. & Bengochea-Morancho, A. CO2 için çevresel Kuznets eğrisinin havuzlanmış ortalama grup tahmini. *Ekonomi. Lett.* **82**, 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2003.07.008> (2004).
86. Sheldon, T. L. Karbon emisyonları ve ekonomik büyüme: Bir tekrarlama ve genişletme. *Energy Econ.* **82**, 85-88. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.016> (2019).

Teşekkür

Bu çalışma Ulsan Ulusal Bilim ve Teknoloji Enstitüsü [hibe numarası 1.220092.01] ve Kore Çevre Sanayi ve Teknoloji Enstitüsü KEITI tarafından Kore Çevre Bakanlığı (MOE) tarafından finanse edilen "Yeni İklim Rejimi için İklim Değişikliği Ar-Ge Projesi" [Hibe Numarası 1485018907] aracılığıyla desteklenmiştir.

Yazar katkıları

H.J. ve C.S. makalenin ana metnini yazmış ve H.J. regresyon analizini gerçekleştirmiştir. Tüm yazarlar makaleyi gözden geçirmiştir.

Rekabet eden çıkarlar

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Ek bilgi

Ek Bilgi Çevrimiçi versiyon, [https://doi.org/ 10.1038/s41598-023-28154-6](https://doi.org/10.1038/s41598-023-28154-6) adresinde bulunan ek materyalleri içerir.

Yazışmalar ve materyal talepleri C.-K.S. adresine gönderilmelidir.

Yeniden basım ve izin bilgilerine www.nature.com/reprints adresinden ulaşılabilir.

Yayıncının notu Springer Nature, yayınlanan haritalardaki yetki iddiaları ve kurumsal bağlantılar konusunda tarafsız kalmaktadır.



Açık Erişim Bu makale, Creative Commons Attribution 4.0 Uluslararası Lisansı altında lisanslanmıştır ve bu lisans, herhangi bir ortam veya ortamda kullanım, paylaşım, uyarlama, dağıtım ve çoğaltmaya izin verir.

formatında, orijinal yazar(lar)a ve kaynağa uygun şekilde atıfta bulunduğunuz, Creative Commons lisansına bir bağlantı verdiğiniz ve değişiklik yapıp yapılmadığını belirttiğiniz sürece kullanabilirsiniz. Bu makalede yer alan görseller veya diğer üçüncü taraf materyalleri, aksi belirtilmediği sürece, makalenin Creative Commons lisansına dahildir. Materyal, makalenin Creative Commons lisansına dahil değilse ve kullanım amacınız yasal düzenlemeler tarafından izin verilmiyorsa veya izin verilen aşıyorsa, doğrudan telif hakkı sahibinden izin almanız gerekecektir. Bu lisansın bir kopyasını görüntülemek için <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> adresini ziyaret edin.

© Yazar(lar) 2023