

ÇEVRESEL KUZNETS EĞRİSİ HİPOTEZİNİN GEÇERLİLİĞİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Taha Bahadır SARAÇ¹ Tuba AKAR² 

Özet

Bu çalışma, ekonomik büyüme ile çevresel kalite arasındaki karmaşık etkileşimi açıklayan Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezinin Türkiye özelindeki geçerliliğini ampirik olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. Türkiye literatürü incelendiğinde, ÇKE hipotezini sınanan mevcut çalışmaların doğrusal varsayımlara dayanması ve yapısal dönüşümleri dışsal kabul etmesi nedeniyle oldukça farklı sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Literatürdeki bu metodolojik eksikliği gidermek adına bu çalışmada doğrusal olmayan ekonometrik bir yaklaşım benimsenmektedir. Bu kapsamda, 1960-2023 dönemini kapsayan zaman serisi verileri kullanılarak "Markov Rejim Değişim" modeli uygulanmıştır. Analizden elde edilen bulgular, Türkiye’de ÇKE hipotezinde öngörülen geleneksel "ters-U" biçimindeki ilişkinin ampirik olarak doğrulanmadığını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, Türkiye’de gelir ve çevre arasındaki ilişkinin sınırlı bir dönemde "N" tipi bir eğilim sergilediğine işaret etmektedir. Bu durum, kirliliğin gelir artışıyla bir noktada düşüşe geçse bile, daha ileri aşamalarda yeniden yükselme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Ayrıca, incelenen tüm dönem boyunca enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğu, dolayısıyla enerji yoğun üretimin çevresel sürdürülebilirlik önünde temel bir engel teşkil ettiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Kuznets Eğrisi, Markov Rejim Değişim Modeli, Türkiye

THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE HYPOTHESIS AND ITS VALIDITY IN TÜRKİYE

Abstract

This study aims to empirically examine the validity of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis in the case of Türkiye, focusing on the complex relationship between economic growth and environmental quality. A review of the existing literature on Türkiye reveals highly mixed findings, largely due to the reliance on linear assumptions and the treatment of structural transformations as exogenous factors. To address this methodological limitation, the present study adopts a nonlinear econometric framework. In this context, a Markov Regime-Switching model is employed using annual time-series data covering the period from 1960 to 2023. The empirical findings do not support the conventional inverted U-shaped relationship predicted by the EKC hypothesis for Türkiye. Instead, the results indicate that the relationship between income and environmental quality exhibits an N-shaped pattern during a limited period. This suggests that although environmental degradation may decline beyond a certain income threshold, it has the potential to increase again at more advanced stages of economic development. Furthermore, energy consumption is found to have a statistically significant and positive impact on environmental degradation throughout the entire sample period, implying that energy-intensive production remains a major obstacle to environmental sustainability in Türkiye.

Key Words: Environmental Kuznets Curve, Markov Regime-Switching Model, Türkiye

¹Prof. Dr., Hitit Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, Çorum, Türkiye, tahabahadirsarac@hitit.edu.tr, 0000-0001-6911-854X

²Doç.Dr., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İİBF, İktisat bölümü, Karaman, Türkiye, ttunen@kmu.edu.tr, 0000-0003-1354-5678

Giriş

İktisadi büyüme, toplumların refah seviyesini artırırken aynı zamanda gelir eşitsizliği, çevre kirliliği ve doğal kaynakların aşırı kullanımı gibi sosyal ve çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu çok boyutlu sürecin gelir dağılımı üzerindeki etkisini ilk kez sistematik olarak ele alan Simon Kuznets (1955), gelir düzeyinin artmasıyla birlikte eşitsizlikte önce artış, ardından azalış görülebileceğini öne sürmüştür. Bu ilişki literatürde “Kuznets Eğrisi” olarak yer edinmiştir. Bu yaklaşım zamanla çevresel alana da uyarlanmış ve çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik “Çevresel Kuznets Eğrisi” hipotezi literatüre kazandırılmıştır (Grossman&Krueger, 1991; Stern, 2004). ÇKE hipotezine göre, ekonomik büyümenin başlangıç aşamalarında çevresel bozulma artış göstermekte; ancak kişi başına düşen gelir belirli bir eşiği geçtikten sonra, çevresel kalite yeniden iyileşmeye başlamaktadır. Bu süreçte ölçek etkisi (üretim hacmindeki artış), kompozisyon etkisi (sektörel dönüşüm) ve teknik etki (temiz teknolojiye geçiş) gibi üç temel mekanizma belirleyici rol oynamaktadır (Grossman&Krueger, 1991). Dolayısıyla, ÇKE yalnızca ekonomik bir ilişki değil; aynı zamanda enerji tüketimi, dış ticaret yapısı ve teknolojik gelişmelerle şekillenen çok boyutlu bir konu haline gelmiştir.

Bu bağlamda konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, özellikle sanayileşmiş ülkelerde yapılan çok sayıdaki ampirik çalışmanın ÇKE hipotezinin geçerliliğini büyük oranda destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Örneğin Jebli, Youssef&Ozturk (2016) tarafından 25 OECD ülkesi üzerinde yürütülen panel veri analizinde, kişi başına düşen gelir ile CO₂ emisyonları arasında ters U biçiminde bir ilişki tespit edilmiştir. Aynı çalışmada, yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ salınımını azaltma yönünde etkili olduğu, buna karşın fosil kaynaklı enerji tüketiminin çevresel baskıyı artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgular, sürdürülebilir kalkınma politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik verilmesi gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, ÇKE hipotezinin geçerliliği yalnızca gelir düzeyiyle değil, enerji kullanım biçimi, dış ticaretin niteliği ve teknolojik ilerleme ile de doğrudan ilişkilidir. Saboori&Sulaiman (2013) tarafından Malezya özelinde gerçekleştirdiği çalışmada, toplam enerji tüketimi ile CO₂ emisyonları arasında ÇKE hipotezine uygun bir ilişki bulunmazken, enerji türleri ayrıştırıldığında (petrol, kömür, doğalgaz, elektrik vb.) ters U şeklindeki ilişki doğrulanabilmiştir. Bu durum, ÇKE analizlerinde kullanılan verilerin ayrıntı düzeyinin ve yapısal ayrımların analitik geçerlilik açısından büyük önem taşıdığını göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise bu ilişkinin daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Özellikle enerji verimliliği düşük, çevre düzenlemeleri yetersiz ve ekonomik büyümenin daha çok çevreye zarar veren sektörler üzerinden gerçekleştiği ülkelerde, ÇKE hipotezinin geçerliliği sınırlı kalabilmektedir. Türkiye örneği bu bağlamda incelendiğinde; Türkiye ekonomisi için ÇKE hipotezinin geçerliliğine yönelik yapılan çalışmaların, kullanılan veri setleri, ekonometrik yöntem, incelenen dönem ve çevresel kirlilik göstergeleri açısından farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Örneğin Atıcı & Kurt (2007) tarafından yapılan bir analizde, Türkiye’de dış ticaret hacminin genişlemesiyle birlikte kişi başına CO₂ emisyonlarının da arttığı, ancak gelir seviyesi belirli bir noktaya ulaştığında emisyonlarda azalma gözlendiği ortaya konmuştur. Bu sonuç, ÇKE hipotezini kısmen doğrularken, dış ticaretin kompozisyonunun çevresel etkileri belirlemede kritik bir rol oynadığını da ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Beşe & Kalaycı (2019) tarafından Türkiye, Mısır ve Kenya’yı kapsayan bir karşılaştırmalı analizde, Türkiye’de ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonları arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiş; enerji tüketimi ile emisyonlar arasında ise nedensellik ilişkisi bulunmamıştır. Doğan & Karay (2019) ise Türkiye’de enerji yoğunluğundaki artışın çevresel bozulmayı artırdığını, buna karşın yenilenebilir enerji kullanımının CO₂ emisyonlarını azalttığını ortaya koymuşlardır.

Diğer taraftan, çevre dostu teknolojilerin ve çevresel patentlerin teşvik edilmesi de ÇKE hipotezinin geçerliliğini ortaya koyan bir durumdur. Çağlar (2022), Türkiye’de çevresel patentlerin artışının çevresel bozulmayı sınırlayabileceğini ve çevre üzerindeki baskıyı azaltabileceğini ileri sürmüştür. Bu bağlamda teknolojik inovasyonun, ekonomik büyüme ile çevresel koruma arasında uzlaşmayı mümkün kılan temel bir unsur olduğu anlaşılmaktadır. Son olarak, bölgesel analizler de ÇKE hipotezine dair literatürü çeşitlendirmektedir. Saraç & Yağlıkara (2017), Karadeniz Ekonomik İşbirliği (BSEC) ülkeleri üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, ÇKE ilişkisinin ülke bazında farklılık gösterdiğini ve ekonomik büyümenin çevresel sonuçlarının sadece gelir düzeyine değil, politika tercihlerine, sektörel yapıya ve çevresel düzenlemelere de bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu durum, ÇKE hipotezinin tek başına evrensel geçerliliği olan bir model olmadığını, ülke bağlamında esnek biçimde uygulanması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, ÇKE yalnızca teorik bir hipotez olmaktan öte; kalkınma stratejileri, enerji ve ticaret politikaları, çevresel düzenlemeler ve teknolojik gelişmelerle iç içe geçmiş çok katmanlı bir yapıyı temsil etmektedir. Bu durum, konuya ilişkin çalışmaların yeni değişkenlerle çeşitlenmesine ve literatürün gelişimine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, Türkiye üzerine yapılan ÇKE çalışmalarının incelenmesi, literatürde üç önemli eksikliğin bulunduğunu göstermektedir. Birincisi, mevcut çalışmaların büyük bölümü ARDL, eşbütünleşme, VAR ve panel veri analizleri gibi doğrusal ya da parametrelerin zaman boyunca sabit kaldığını varsayan yöntemlere dayanmaktadır. Oysa Türkiye ekonomisi incelenen dönemde petrol krizleri, 1980 ekonomik dönüşümü, 1994 ve 2001 krizleri, küresel finansal kriz ve son yıllardaki enerji dönüşümü gibi birçok yapısal değişim yaşamıştır. Bu nedenle ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin zaman içerisinde sabit kalması beklenmemektedir. İkincisi, Türkiye literatüründe ÇKE’nin geçerliliğine ilişkin bulgular oldukça heterojendir. Bazı çalışmalar ters-U şeklindeki geleneksel ÇKE hipotezini desteklerken, bazıları N veya M biçimli ilişkiler tespit etmiş, bazıları ise hipotezin geçerli olmadığı sonucuna ulaşmıştır. Bu durum, ilişkinin rejime bağlı olarak değişebileceğine işaret etmektedir. Üçüncüsü, Türkiye için yapılan mevcut çalışmaların büyük çoğunluğu yapısal kırılmaları ve olası rejim değişimlerini doğrudan modelleyememektedir. Bu bağlamda bu çalışmanın temel katkısı, söz konusu eksiklikleri gidermek amacıyla ÇKE hipotezini Türkiye için ilk kez Markov Rejim Değişim Modeli çerçevesinde değerlendirmesidir. Markov Rejim Değişim Modeli, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin farklı dönemlerde farklı parametreler altında gerçekleşebileceğini kabul etmekte ve yapısal dönüşümleri modele içsel olarak dahil etmektedir. Böylece geleneksel doğrusal modellerin göz ardı ettiği rejim farklılıkları ve geçiş dinamikleri analiz edilebilmektedir. Özellikle ekonomik krizler, enerji politikalarındaki değişimler ve dışı açılma süreçleri gibi olayların çevresel sonuçlarının farklı rejimlerde nasıl değiştiği daha sağlıklı biçimde ortaya konulabilmektedir. Bu çerçevede çalışma, politika yapıcılara da önemli çıkarımlar sunmaktadır. Elde edilen bulgular, ekonomik büyüme ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin zaman boyunca sabit olmadığını, aksine ekonomik koşullara bağlı olarak farklı biçimlerde ortaya çıkabildiğini göstermektedir. Bu sonuç, çevresel sürdürülebilirliğin yalnızca gelir artışına bırakılmaması gerektiğini ve çevre politikalarının ekonomik konjonktüre duyarlı şekilde tasarlanmasının önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerindeki kalıcı etkilerinin belirlenmesi, Türkiye’nin yeşil dönüşüm, enerji verimliliği ve düşük karbonlu büyüme politikalarına yönelik daha etkin stratejiler geliştirmesine katkı sağlayabilecek önemli kanıtlar sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, yalnızca ÇKE hipotezinin geçerliliğini test etmekle kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma politikalarının tasarımına yönelik yeni ampirik bulgular sağlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda dört bölüm şeklinde hazırlanan çalışmanın birinci bölümde teorik çerçeve sunulmakta, ikinci bölümde konuya ilişkin literatür özetlenmekte, üçüncü bölümde ise

ekonometrik yöntem ve analiz sonuçları ele alınmaktadır. Elde edilen bulguların değerlendirildiği sonuç bölümü ile de çalışma tamamlanmaktadır.

1. Teorik Çerçeve

ÇKE hipotezi, entelektüel kökenlerini, 1971 Nobel Ekonomi ödülü sahibi Simon Kuznets'in 1955 yılındaki araştırmasından almaktadır. Kuznets, bu çalışmada, ekonomik kalkınma ilerledikçe gelir eşitsizliğinin başlangıçta artacağını, ancak belirli bir gelişmişlik düzeyine ulaşıldığında azalmaya başlayacağını, yani ekonomik kalkınma ile gelir eşitsizliği arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğunu ileri sürmüştür. Bu hipotez, Kuznets'in Almanya, İngiltere ve ABD gibi ülkelerin veri setleriyle yaptığı zaman serisi analizlerine dayanmaktadır. 1990'lı yıllarla birlikte, Kuznets'in bu temel fikri çevresel alana uyarlanmış, gelir eşitsizliği değişkeninin yerini çevresel bozulma almış ve hipoteze konu olan ters U ilişkisi korunmuştur. Bu uyarlama, özellikle Grossman & Krueger'in (1991, 1995) ampirik araştırmaları ve Panayotou'nun (1993) resmi kavramsallaştırmasıyla akademik çevrelerde önemli bir ilgi görmüştür. Bu çerçevede geliştirilen ÇKE hipotezinin temel ilkesi, çevresel kirliliğin ekonomik büyüme ile başlangıçta artış göstermesi, ancak belirli bir “dönüm noktasına” veya “eşik seviyesine” ulaşıldığında bu eğilimin tersine dönerek, kişi başına düşen gelir artmaya devam ettikçe çevresel kalitenin iyileşmeye başlaması ve kirlilik seviyelerinin azalması beklentisidir. Bu varsayım, yeterli ekonomik kalkınmanın sonunda çevresel sorunları ele alma araçlarını ve toplumsal istekliliği sağlayarak, ekonomik büyümeyi bir çevresel kirleticiden potansiyel bir çözüme dönüştüreceği fikrine dayanmaktadır (Başar & Temurlenk, 2007; Yıldız, 2022; Pata, 2018; Ekinci, 2024).

Bununla birlikte, ÇKE'nin teorik olarak öngördüğü ters U şekli, eğer evrensel bir geçerliliğe sahip olmuş olsaydı, politika yapıcılar tarafından “önce büyü, sonra temizle” stratejisi olarak yorumlanabilirdi. Diğer bir deyişle, bu yaklaşım, çevresel iyileşmenin belirli bir ekonomik kalkınma düzeyine ulaşıldığında kendiliğinden gerçekleşecek otomatik bir sonuç olduğu yanılgısını yaratabilirdi. Ancak, Saraç & Yağlıkara'nın (2017) ifade ettiği gibi çevresel kalite yalnızca gelirle ilgili değil, aksine politika müdahaleleri, teknolojik gelişmeler ve daha temiz bir çevreye yönelik toplumsal tercihlerden büyük ölçüde etkilenmektedir (Başar & Temurlenk, 2007; Saraç & Yağlıkara, 2017). Bu durum, ÇKE'nin gelecekteki çevresel sonuçlar için kesin bir reçete sunan normatif bir modelden ziyade, belirli koşullar altında gözlemlenen geçmiş ilişkileri tanımlayan bir araç olarak daha çok işlev gördüğü anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, politika yapıcılar için zorunluluk, sadece belirli gelir eşiklerine ulaşmayı beklemekten ziyade, ekonomik büyüme stratejilerinin yanı sıra sağlam çevre politikalarını aktif olarak uygulamaya ve çevre dostu teknolojileri teşvik etmeye kaymaktadır. Bu yaklaşım, çevresel iyileşmenin kendiliğinden bir kaçınılmazlık değil, bilinçli ve kararlı bir tercih olduğunu güçlü bir şekilde vurgulamaktadır.

ÇKE hipotezinin işleyiş mekanizması ise üç temel unsur üzerine kuruludur: Ölçek etkisi, kompozisyon etkisi ve teknik etki. Ölçek etkisi, ekonomik faaliyetlerin genişlemesiyle birlikte çevresel yükün artmasını ifade etmektedir. Buna göre, büyümenin ilk dönemlerinde sanayi üretimi ve enerji tüketimi yoğunlaşmakta, bu da karbon salımı, atık oluşumu ve doğal kaynakların tükenmesini hızlandırmaktadır. Kompozisyon etkisi ise, ekonomik yapının sektörel olarak dönüşmesini temsil eder ve bu yaklaşıma göre sanayiden hizmetler sektörüne geçiş, çevresel bozulmanın azalmasına katkı sağlayabilmektedir. Teknik etki ise, belirli bir gelir düzeyine ulaşıldığında temiz teknolojilere geçişin hızlanması, enerji verimliliğinin artması ve çevreci üretim süreçlerinin benimsenmesiyle çevresel kalitenin yeniden artabileceğini öngörmektedir (Stern, 2004; Dasguptavd., 2002). Ancak ÇKE hipotezinin bu kuramsal çerçevesi ampirik çalışmalarla sındığında, bulgular büyük ölçüde farklı sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Örneğin Grossman&Krueger (1991), NAFTA kapsamındaki ülkeler için

yaptıkları çalışmada SO₂ konsantrasyonunun gelirle önce arttığını, ardından düştüğünü göstermiştir. Benzer şekilde, Shafik&Bandyopadhyay (1992) ile Selden & Song (1994), farklı çevresel göstergeler üzerinde ters U biçiminde ilişkiler tespit etmişlerdir. Ancak bu bulgular her çevresel değişken ve her ülke grubu için tutarlı değildir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu ilişkinin daha karmaşık olduğu ve çoğu zaman ÇKE'nin geçerli olmadığı tespit edilmiştir (Lieb, 2003).

Bazı araştırmalarda ÇKE hipotezine alternatif olarak N şekilli ilişkiler öne sürülmüştür. Bu yaklaşım, çevresel bozulmanın büyümenin ileri aşamalarında tekrar artabileceğini savunmaktadır (Martínez-Zarzoso&Bengochea-Moranco, 2004). Gelişmişlik düzeyi arttıkça tüketim alışkanlıklarının çeşitlenmesi, çevre üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri artırabilir. Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirliğin yalnızca ekonomik gelişmeyle sağlanamayacağı, aynı zamanda kurumsal kapasite, çevre hukuku, bilinç düzeyi ve uluslararası işbirliğiyle desteklenmesi gerektiği ileri sürülmektedir (Dasgupta vd., 2002; Antweiler, Copeland& Taylor, 2001). Bir diğer önemli boyut ise dış ticaret ve küreselleşmenin ÇKE hipotezindeki rolüdür. Bu kapsamda geliştirilmiş olan Kirlilik Cenneti Hipotezi, gelişmiş ülkelerdeki sıkı çevre kurallarının, kirli üretim süreçlerinin çevresel düzenlemeleri zayıf ülkelere taşınmasına neden olduğunu öne sürmektedir (Copeland& Taylor, 2004). Bu durumda gelişmekte olan ülkeler, büyüme sürecinde yalnızca kendi üretim faaliyetlerinden değil, aynı zamanda dış kaynaklı çevresel yüklerden de etkilenir. Türkiye örneğinde olduğu gibi, ihracat kompozisyonunun enerji yoğun ve çevreyi kirlletici sektörlere dayanması ÇKE'nin geçerliliğini sınırlandırabilir (Çağlar, 2022). Diğer taraftan ÇKE'nin çevre sorunlarının büyümeyle çözülebileceğini şeklinde ifade edilebilen iyimser sayılabilecek bu görüşü eleştirilmekte ve iklim krizinin doğası gereği daha yapısal ve radikal müdahalelere ihtiyaç duyduğu şeklinde görüşlerde ileri sürülmektedir. Bu eleştirilere göre büyüme odaklı kalkınma modelleri, ekolojik eşiklerin aşılmasına, biyoçeşitlilik kaybına ve geri döndürülemez doğa tahribatına neden olabilmekte ve bu nedenle de çevresel sürdürülebilirlik hedefleri yalnızca ÇKE varsayımına dayanmamalı, yeşil dönüşüm, döngüsel ekonomi ve düşük karbon stratejileriyle bütüncül olarak desteklenmesi gerekmektedir (Jackson, 2009; Rockström vd., 2009). Sonuç olarak, ÇKE hipotezi, ekonomik büyüme ile çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi anlamak için iyi bir başlangıç olarak kabul edilmekte fakat bu teori, çevre sorunlarının zamanla kendiliğinden düzeleceğini garanti etmemektedir. ÇKE hipotezinin geçerli olabilmesi için; etkili çevre politikaları, şeffaf yönetim, çevreye duyarlı yatırımlar, yeşil finansman ve toplumda çevre bilincinin oluşması gibi birçok şartın bir arada olması gerekir. Bu nedenle ÇKE hipotezi sadece ekonomik bir konu değil, aynı zamanda yönetim ve kurumsal yapı ile de ilgilidir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, bu hipotezin geçerliliğini test etmek ve çevreye verilen zararların büyüme planlarında nasıl ele alındığının belirlenmesi önemlidir.

2. Literatür Özeti

ÇKE hipotezini sınamaya yönelik birçok ampirik çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar modele, ülke veya ülke grubuna, kullanılan kirlilik göstergelerine, sektörel düzeyde olup olmamasına bağlı olarak farklılaşmakta ve farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Çalışmaların bazılarında ise gelir ve çevresel kirlilik arasındaki ilişkinin ters U şeklinden ziyade N şeklinde olduğu kabul edilmektedir. Avusturya için ekonomik kalkınma ile karbondioksit (CO₂) emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmada GSYİH ile CO₂ emisyonları arasında N şeklinde bir ilişkinin, 1960-1999 dönemi için var olduğunu ortaya koymuşlardır. Wang vd. (2023) tarafından 56 ülkeyi kapsayan çalışma ise gelir eşitsizliğinin ekonomik büyüme ile karbon emisyonları arasındaki ilişkinin ters U şeklinden N şekline dönüştürdüğünü göstermektedir. N şeklinde kubik bir ÇKE'nin varlığını kanıtlayan farklı çalışmalar da bulunmaktadır (Dai vd. 2022; Liu vd.,2021). Örneğin, yeni sanayileşmiş ülkeler üzerine yapılan bir çalışmada (İnci, 2023), panelin geneli için ters U şeklinde Kuznets Eğrisinin

varlığının ve yine panelin genelinde N biçiminde ÇKE'nin varlığının kanıtlanamadığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Giyamfi vd. (2021) yapılan bir başka çalışmada ise E7 ülkelerinde N şeklinde bir ÇKE'nin varlığını doğrulamamakta ancak ters U şeklinde bir ÇKE'nin geçerliliğini doğrulamaktadır. Yenilenebilir enerji ve yenilenemeyen enerji, CO₂ emisyonlarıyla pozitif ve anlamlı bir ilişkiye sahipken, kısa vadeli sonuçlar ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji, yenilenemeyen enerji ve CO₂ emisyonları arasında anlamlı bir ilişki olmadığını göstermektedir.

ÇKE hipotezinin Türkiye için geçerliliğini araştıran bazı çalışma örnekleri ve özetleri ise Tablo 1'de yer almaktadır. Genel olarak, pek çok çalışma hipotezin Türkiye için geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre Yurtkuran (2021), 1995–2016 dönemini farklı ekonometrik testlerle incelemiş ve ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu belirtmiştir. Ancak Türkiye'nin, CO₂ emisyonlarını azaltmak için gerekli büyüme seviyesine henüz ulaşmadığı, ayrıca lojistik sektörünün emisyonları artırdığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, Çağlar (2022) ve Uğur (2022), ARDL yöntemini kullanarak hipotezin geçerli olduğunu göstermiştir. Naimoğlu vd. (2022), kısa dönemde ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu bulurken, Özbek & Oğul (2023) ile Yıldız'da (2022) çalışmalarında ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu belirlemişlerdir. Acaroğlu vd. (2023) ise ticari açıklığın CO₂ emisyonlarını artırdığını, ancak uzun vadede ekolojik ayak izini azalttığını ve ÇKE hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ojaghlou vd. (2023), ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonları arasında N şeklinde bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Polat & Ergün (2023) ise kişi başı GSYH, ekonomik ve sosyal küreselleşmenin emisyonları artırdığını; buna karşılık GSYH'nin karesi ve politik küreselleşmenin emisyonları azalttığını belirtmişlerdir. Moalla'nın 2023 ve 2024 yıllarına ait iki farklı çalışmada, ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarını artırdığı, ancak sürdürülebilir yatırımların bu etkiyi azaltabileceği ifade edilmiştir. Her iki çalışmada da ÇKE hipotezi desteklenmiştir. İkinci (2024), ÇKE hipotezinin sabit bir yapıda olmadığını, dönemlere göre U, ters U, N ve M gibi farklı şekillerde ortaya çıkabileceğini belirtirken; Özyakışır&Çamkaya (2025) ÇKE hipotezinin uzun dönemde hipotezin geçerli olduğunu; Kazak & Kazak (2022) ise ÇKE hipotezinin geçerli olmadığını ileri sürmüşlerdir. Bu farklılıklar, kullanılan yöntem ve dönemlere bağlı olarak ÇKE hipotezinin geçerliliğine yönelik değişebilecek sonuçların ortaya çıkabileceğini göstermektedir.

Tablo 1. Literatür Özeti

Yazar(lar)	Kapsanan Dönem	Ekonometrik Yöntem	Sonuçlar
Gürlük ve Karaer (2004)	1975-2000	Regresyon Analizi	TersU biçiminde çevresel Kuznets eğrisinin geçerli olduğunu belirlemişlerdir.
Başar ve Temurlenk (2007)	1950-2000	Regresyon Analizi	ÇKE hipotezinin geçerli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.
Atıcı ve Kurt (2007)	1968-2000	Regresyon Analizi	Milli gelirin bir birim artmasının kişi başına düşen CO ₂ miktarını 2.69 kg artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.
Saatçi ve Dumrul (2007)	1950-2007	Yapısal Kırılmalı Eşbütünleşme Analizi	TersU biçiminde çevresel Kuznets eğrisinin geçerli olduğunu belirlemişlerdir.
Halıcıoğlu (2008)	1960-2005	ARDL	Gelir, dış ticaret ve enerji tüketiminin CO ₂ emisyon miktarını belirlediği tespit etmiştir.
Akbostancı vd. (2009)	1968-2003, 1992-2001	Eşbütünleşme ve Panel Veri Analizi	Zaman serisi analizi sonucuna göre CO ₂ ile gelir arasında artan bir ilişki olduğunu, 58 şehir merkezinin yer aldığı panel veri analizine göre ise gelir ile SO ₂ ve PM10 emisyonları arasında N biçiminde bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Arı ve Zeren (2011)	2000-2005	Panel Veri Analizi	Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Akdeniz ülkelerini kapsayan çalışmalarında CO ₂ emisyonu ile kişi başına gelir

			arasındaki ilişkinin N şeklinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Koçak (2014)	1960-2010	ARDL	ÇKE hipotezinin uzun dönemde geçerli olmadığı fakat enerji tüketiminin uzun dönemde CO ₂ miktarını artırdığı sonucuna ulaşmıştır.
Tutulmaz (2015)	1968-2007	Eşbütünleşme Analizi	TersU biçiminde ÇKE'nin geçerli olduğunu belirlemişlerdir.
Balıbey (2015)	1974-2011	Eşbütünleşme ve VAR Analizi	Ekonomik büyümenin çevrenin bozulmasına neden olduğunu tespit etmiştir.
Albayrak ve Gökçe (2015)	1975-2010	Eşbütünleşme Analizi	Çevresel kirlilik ile gelir arasında tersU biçiminde bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmıştır.
Bölük ve Mert (2015)	1961-2010	Eşbütünleşme Analizi	CO ₂ emisyon miktarı ile gelir arasında U biçiminde bir ilişki olduğunu ve hidro enerji kaynaklarının kullanımının CO ₂ miktarını azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.
Yurttagüler ve Kutlu (2017)	1960-2011	Eşbütünleşme Analizi	N biçiminde ÇKE'nin geçerli olduğunu belirlemişlerdir.
Güney (2018)	1960-2016	ARDL	ÇKE hipotezinin geçerli olduğu ve enerji tüketiminin, finansal gelişmenin ve sanayi sektörünün CO ₂ emisyonunu artırdığını sonuçlarına ulaşmıştır.
Pata (2018)	1974-2014	Gregory-Hansen ve Hatemi-J Eşbütünleşme Analizleri ARDL, FMOLS, CCR	Ekonomik büyüme, finansal gelişme ve kentleşme çevresel bozulmayı artırırken, toplam yenilenebilir enerji tüketimi, hidroelektrik tüketimi ve alternatif enerji tüketiminin CO ₂ emisyonları üzerinde hiçbir etkisi olmadığını belirlemiştir.
Beşe ve Kalaycı (2019)	1971-2014	VAR Analizi	ÇKE hipotezinin geçerli olmadığı belirlemişlerdir.
Çetin ve Saygın (2019)	1960-2014	ARDL	Uzun dönemde ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymuşlardır.
Doğan ve Karay (2019)	1971-2015	ARDL	Kısa ve uzun dönemde ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu tespit etmişlerdir.
Manga ve Akar (2020)	1998-2014 (Akdeniz Ülkeleri)	Panel ARDL	ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu tespit etmişlerdir.
Öcal vd. (2020)	1968-2016	ARDL	Ekonomik büyüme ve ticari açıklıktaki artışın çevresel bozulmaya neden olduğunu belirlemişlerdir.
Ceylan ve Karaağaç (2020)	1960-2014	Gregory Hansen Eşbütünleşme Analizi	ÇKE'nin N biçiminde olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Güzel (2021)	1960-2015	ARDL	CO ₂ emisyon miktarı ile gelir arasında N biçiminde bir ilişki olduğunu tespit etmiştir.
Emek ve Özçelebi (2021)	1960-2015	ARDL	TersU şeklinde bir ilişkinin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1’de Türkiye özelinde çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen ampirik araştırmalar yöntemsel ve bulgusal açıdan değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışmalar, 1950 ile 2024 yılları arasındaki farklı dönemleri kapsamakta olup, ÇKE hipotezinin geçerliliğini test eden geniş bir literatürü temsil etmektedir. Oluşturulan bu literatür yöntemsel açıdan incelendiğinde, en çok tercih edilen analiz teknikleri arasında ARDL (AutoRegressive

Distributed Lag) modelleri öne çıkmaktadır. Özellikle 2000 sonrası yapılan birçok çalışmada ARDL tercih edilerek uzun ve kısa dönem ilişkiler test edilmiştir. Bununla birlikte eşbütünleşme analizleri, panel veri analizleri, VAR analizleri, FMOLS, CCR ve Gregory-Hansen gibi ekonometrik teknikler de kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik, çalışmalarda kullanılan veri dönemleri, değişken setleri ve hipotez test yöntemlerinin farklılığını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda oluşturulan literatür özetindeki çalışmalar incelendiğinde; Gürlük ve Karaer (2004), Saatçi ve Dumrul (2007), Tutulmaz (2015), Albayrak ve Gökçe (2015), Çetin ve Saygın (2019), Doğan ve Karay (2019), Manga ve Akar (2020), Yurtkuran (2021), Çağlar (2022), Uğur (2022), Özbek ve Oğul (2023), Yıldız (2022), Moalla (2024) ve Özyakışır ve Çamkaya (2025) Türkiye’de uzun dönemde geçerli olduğu sonucuna ulaştıkları görülmektedir. Bu çalışmaların ortak noktası, ekonomik büyümenin başlangıçta çevresel bozulmayı artırdığı, fakat belirli bir gelir düzeyinden sonra kirliliğin azalma eğilimine girdiğidir. Bununla birlikte, bazı araştırmalar hipotezin biçiminin yalnızca ters U değil, aynı zamanda N şeklinde seyrettiğini göstermektedir. Akbostancı vd. (2009), Arı ve Zeren (2011), Yurttagüler ve Kutlu (2017), Ceylan ve Karaağaç (2020), Güzel (2021) ve Ojaghlou vd. (2023) bu doğrultuda bulgular sunmuştur. Ayrıca Ekinci (2024), ilişkinin tek bir formda sabitlenemeyeceğini, dönemsel olarak U, ters U, N veya M biçiminde değişebileceğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, ekonomik gelişme ile çevresel kalite arasındaki ilişkinin durağan bir yapıdan ziyade dinamik ve çok katmanlı bir süreç olduğunu göstermektedir. Öte yandan, Başar ve Temurlenk (2007), Koçak (2014), Balıbey (2015), Beşe ve Kalaycı (2019), Emek ve Özçelebi (2021) ile Kazak ve Kazak (2022) gibi bazı çalışmalar, ÇKE hipotezinin geçerli olmadığını ya da yalnızca kısa dönemde anlamlı olduğunu belirtmiştir. Bu farklılıkların, kullanılan ekonometrik yöntemlerin yapısal kırılmaları dikkate alıp almamasından, veri seti farklılıklarından ve analiz dönemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmaların çoğunda ortak bulgular ise enerji tüketimi, ticari açıklık ve sanayileşmenin CO₂ emisyonları üzerindeki belirleyici rolüdür. Halıcıoğlu (2008), Koçak (2014), Güney (2018), Öcal vd. (2020) ve Acaroğlu vd. (2023) enerji tüketiminin ve ticari açıklığın emisyonları artırdığını ortaya koymuş; Balıbey (2015) ve Moalla (2023) ekonomik büyümenin doğrudan çevresel bozulmaya yol açtığını vurgulamıştır. Buna karşılık yenilenebilir enerji kullanımının çevresel kaliteyi artırıcı rolüne dair güçlü bulgular da mevcuttur. Bölük ve Mert (2015) hidro enerji kullanımının CO₂ emisyonlarını düşürdüğünü; Pata (2018) yenilenebilir enerji tüketiminin etkisiz olduğunu; Acaroğlu vd. (2023) ise hidroelektriğin emisyonları azalttığını ancak ekolojik ayak izi üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermiştir. Ayrıca finansal gelişme, kentleşme ve küreselleşme gibi sosyo-ekonomik değişkenler de literatürde öne çıkmıştır. Pata (2018), finansal gelişme ve kentleşmenin çevresel bozulmayı artırdığını tespit etmiş; Polat ve Ergün (2023) ekonomik ve sosyal küreselleşmenin emisyonları artırıcı, politik küreselleşmenin ise azaltıcı etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, çevre-ekonomi ilişkisinin yalnızca gelir düzeyine indirgenemeyeceğini, çok boyutlu sosyo-ekonomik faktörlerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak literatür incelendiğinde, Türkiye’de yapılan çalışmaların büyük bölümü ÇKE hipotezini desteklemekle birlikte, ilişkinin biçimi (ters U, N veya M) ve geçerliliğinin süresi konusunda ortak bir görüş bulunmamaktadır. Ancak enerji tüketimi, ticaret ve sanayileşmenin çevresel bozulmayı artırdığı; yenilenebilir enerji ve çevre dostu teknolojilerin ise bu süreci yavaşlatıcı bir etkiye sahip olduğu literatürün güçlü ortak noktasıdır. Bu durum, sürdürülebilir büyüme stratejilerinde enerji yapısının dönüştürülmesi, yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması ve küresel entegrasyon politikalarının çevresel kaygılarla dengelenmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

3. Ekonometrik Analiz

3.1. Model ve Veri Seti

Çalışmada ÇKE hipotezinin geçerliliğini araştırmak için Çetin ve Saygın (2019), Shahbaz vd. (2014), Güzel (2021) ve Dinda (2004)'nın çalışmaları doğrultusunda değişkenlerin doğal logaritması alınmış biçiminde yer aldığı (1) numaralı model oluşturulmuştur.

$$\ln CO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln Y_t^2 + \beta_3 \ln Y_t^3 + \beta_4 \ln EK_t + \beta_5 \ln TA_t + \mu_t \quad (1)$$

(1) numaralı modele göre;

- $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ → CO₂ ile gelir arasında ilişki yoktur.

- $\beta_1 > 0$ ve $\beta_2 = \beta_3 = 0$ → CO₂ ile gelir arasındaki ilişki doğrusaldır.

- $\beta_1 < 0$ ve $\beta_2 = \beta_3 = 0$ → CO₂ ile gelir arasındaki ilişki negatiftir.

- $\beta_1 > 0$ ve $\beta_2 < 0, \beta_3 = 0$ → CO₂ ile gelir arasında “Ters U” şeklindedir ve ÇKE hipotezi geçerlidir.

- $\beta_1 < 0$ ve $\beta_2 > 0, \beta_3 = 0$ → CO₂ ile gelir arasında “U” şeklindedir.

- $\beta_1 > 0$ ve $\beta_2 < 0, \beta_3 > 0$ → CO₂ ile gelir arasında “N” şeklindedir.

- $\beta_1 < 0$ ve $\beta_2 > 0, \beta_3 < 0$ → CO₂ ile gelir arasında “Ters N” şeklindedir.

(1) numaralı modelde yer alan değişkenlerin tanımlamaları ise Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Değişkenlere İlişkin Tanımlamalar

Değişkenler	Sembol	Kaynak Erişimi
Kişi başı karbondioksit emisyonu (metrik ton)	$\ln CO_2$	https://ourworldindata.org/
Kişi başına reel GSYH	$\ln Y$	https://data.worldbank.org/
Kişi başına reel GSYH’nin karesi	$\ln Y^2$	https://data.worldbank.org/
Kişi başına reel GSYH’nin küpü	$\ln Y^3$	https://data.worldbank.org/
Kişi başına düşen enerji kullanımı (kg petrol eşdeğeri)	$\ln EK$	https://data.worldbank.org/
Ticari açıklık ((ihracat+ithalat/GSYH)x100)	$\ln TA$	https://data.worldbank.org/

Not: (1) numaralı modelde değişkenlerin yanında yer alan “ln” ifadesi değişkenlere ait serilerin doğal logaritmasının alındığını ve “t” ise zaman boyutunu göstermektedir.

Tablo 2’de yer alan değişkenlere ait serilerin tanımlayıcı istatistikleri ve korelasyon matrisi ise sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler(1960-2023)

İstatistikler	$\ln CO_2$	$\ln Y$	$\ln Y^2$	$\ln Y^3$	$\ln EK$	$\ln TA$
Ortalama	0,870903	9,180278	84,52652	780,5823	6,808630	3,349332
Medyan	1,023319	9,128870	83,33630	760,7670	6,818682	3,556856
Maximum	1,652941	10,17127	103,4547	1052,266	7,546777	4,396547
Minimum	-0,522624	8,355905	69,82115	583,4189	5,920504	1,745170
Standart Sapma	0,619813	0,502970	9,304977	129,4496	0,476628	0,690479
Çarpıklık	-0,580309	0,266223	0,345822	0,424409	-0,190647	-0,577378
Basıklık	2,287546	2,057112	2,096258	2,148271	1,985005	1,996220
Jarque-Bera	4,945666 (0,084346)	3,126765 (0,209427)	3,453656 (0,177848)	3,855830 (0,145451)	3,134933 (0,208573)	6,242760 (0,044096)
Gözlem Sayısı	64	64	64	64	64	64

Not: Parantez içindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir.

Tablo 4. Korelasyon Matrisi (1960-2023)

Korelasyon	$\ln CO_2$	$\ln Y$	$\ln Y^2$	$\ln Y^3$	$\ln EK$	$\ln TA$
$\ln CO_2$	1.000000	0.953829	0.945608	0.936784	0.987756	0.938493
$\ln Y$	0.953829	1.000000	0.999641	0.998576	0.985462	0.897212
$\ln Y^2$	0.953829	0.999641	1.000000	0.999647	0.980939	0.890190
$\ln Y^3$	0.987756	0.998576	0.999647	1.000000	0.975749	0.882549
$\ln EK$	0.987756	0.985462	0.980939	0.975749	1.000000	0.932709
$\ln TA$	0.938493	0.897212	0.890190	0.882549	0.932709	1.000000

Tablo 4’te yer alan korelasyon matrisi, Türkiye’de 1960–2023 dönemi boyunca kullanılan temel ekonomik ve çevresel göstergeler arasındaki ilişkilerin yönünü ve gücünü ortaya koymaktadır. Sonuçlara göre tüm değişkenler arasında pozitif ve istatistiksel olarak oldukça güçlü ilişkiler bulunmaktadır. Korelasyon katsayılarının 0.88 ile 1.00 arasında değişmesi, söz konusu göstergelerin uzun dönemde birbirleriyle yakın hareket ettiğini göstermektedir. Bu durum, ekonomik büyüme süreci ile çevresel bozulmanın çoğunlukla aynı yönde ilerlediğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, en yüksek korelasyon değerleri, ikinci ve üçüncü değişkenler arasında 0.9996 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu sonuca göre, söz konusu iki serinin neredeyse aynı dinamikleri yansıttığı, dolayısıyla birbirine ikame edilebilir veya tamamlayıcı göstergeler oldukları söylenebilir. Benzer şekilde, birinci ve beşinci değişken arasındaki korelasyon katsayısı 0.9877 olup, oldukça güçlü bir ilişkiye işaret etmektedir. Bu bulgu, gelir ile emisyon düzeyleri arasında uzun dönemde güçlü bir eşgüdüm olduğunu desteklemektedir. Buna karşın, altıncı değişkenin diğerleriyle korelasyon katsayıları görece daha düşük düzeydedir (0.8825–0.9384 aralığında). Her ne kadar bu katsayılar yüksek ve pozitif olsa da, altıncı değişkenin diğer göstergelerden kısmen daha bağımsız hareket ettiği söylenebilir. Bu durum, çevresel bozulmayı etkileyen yapısal farklılıklar veya politik uygulamalarla açıklanabilir. Genel olarak, korelasyon matrisinden elde edilen bulgular, Türkiye’de ekonomik büyüme ve çevresel göstergeler arasındaki ilişkinin ÇKE hipotezinde öngörülen ters-U biçiminden ziyade, pozitif yönlü ve sürekli artış eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, gelir seviyesindeki artışın çevresel bozulmayı azaltmak yerine artırıcı yönde etkide bulunduğunu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir politika sorununa işaret ettiğini göstermektedir.

3.2. Ekonometrik Yöntem ve Analiz Sonuçları

Ekonomik ve finansal zaman serileri, genellikle doğrusal olmayan, durağan olmayan ve yapısal kırılmalarla karakterize edilen karmaşık süreçlerdir. Bu bağlamda, sabit parametre ve doğrusal yapı varsayımlarına dayanan geleneksel modeller, bu tür serilerin dinamik doğasını açıklamada yetersiz kalabilmektedir. Özellikle ani krizler, politika değişimleri veya dışsal şoklar gibi durumlar, ekonomik göstergelerin farklı dönemlerde farklı davranış biçimleri göstermesine neden olmaktadır. Bu noktada, zaman serisi analizlerinde yapısal değişimlerin ve doğrusal olmayan dinamiklerin dikkate alınmasının gerekliliği Markov rejim değişim modelleri yaklaşımının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Hamilton, 1989). Markov rejim değişim modelleri, zaman serilerinin farklı dönemlerde farklı yapısal özellikler gösterdiği varsayımıyla çalışan, rejim geçişlerinin olasılıksal olarak tanımlandığı istatistiksel modellerdir. Bu modellerde, ekonomik zaman serisinin parametreleri (örneğin ortalama, varyans) belirli bir zamanda geçerli olan rejime bağlıdır. Ancak bu rejim doğrudan gözlemlenemez; gizli bir değişkendir ve bir Markov zinciri tarafından belirlenmektedir (Kim & Nelson, 1999). Böylece, model içinde yer alan gizli durumlar, zaman içinde belirli olasılıklarla birbirine geçiş yapmaktadır. Bu geçişlerin belirlenmesinde kullanılan Markov zinciri ise sistemin yalnızca bir önceki durumuna bağlı olarak gelecekteki durumunu tahmin etme prensibine dayanmaktadır. Bu durum, modelin hem teorik hem de uygulamalı açıdan oldukça esnek bir yapı sunmasına

imkan vermektedir. Markov rejim değişim modellerinin önemli avantajlarından biri, yapısal kırılmaların doğrudan modele dahil edilmesidir. Geleneksel zaman serisi modellerinde yapısal kırılmalar ya göz ardı edilir ya da modele dışsal olarak dahil edilirken, Markov rejim değişim modelleri bu kırılmaları içsel olarak modelleyebilmektedir. Bu yönüyle, özellikle kriz analizleri, döngüsel dalgalanmalar ve ani rejim değişimlerinin etkilerini anlamada oldukça güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır (Krolzig, 1997). Örneğin bir ülkenin büyüme oranı, kriz döneminde düşük, istikrar döneminde ise yüksek olabilmektedir. Markov rejim değişim modelleri ise bu tür farklı dönemleri rejim olarak isimlendirmekte ve her rejimin kendine özgü özelliklerini istatistiksel olarak tahmin edebilmektedir. Bununla birlikte Markov rejim değişim modellerinin temel yapısı, farklı rejimlerin farklı istatistiksel özelliklere sahip olabileceği kabulüne dayanmaktadır. Her rejimdeki davranış kalıpları (örneğin büyüme hızları, enflasyon oranları, faiz oranları) farklı olabilmektedir. Rejimler arasında geçiş ise belirli geçiş olasılıkları ile tanımlanmaktadır. Bu olasılıklar genellikle sabittir; yani model her zaman noktasında hangi rejimde olunacağına ilişkin belirli bir geçiş yapısına sahiptir. Ancak bazı çalışmalar geçiş olasılıklarının da zamanla değişebileceğini, hatta ekonomik göstergelere bağlı olarak farklılaşabileceğini ileri sürerek modeli daha esnek hâle getirmiştir (Filardo, 1994). Markov rejim modelleri ekonomide çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bunların başında iş döngüsü analizleri gelmektedir. Bunun ilk örneği ise Hamilton (1989) tarafından verilmiş ve Hamilton (1989) ABD ekonomisinin büyüme verilerini analiz ederek genişleme ve durgunluk dönemlerini iki farklı rejim olarak modellemiş ve bu yaklaşım, iş çevrimlerinin belirlenmesi ile yeni bakış açısı kazandırmıştır. Markov rejim modellerinin tahmini için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemlerden biri, EM (Expectation-Maximization) algoritmasıdır. Bu algoritma, gizli rejim durumlarının tahmin edilmesi ve model parametrelerinin güncellenmesi için iteratif bir süreç kullanmaktadır (Hamilton, 1994). Alternatif olarak Bayesyen tahmin yöntemleri de Markov rejim modellerinin uygulanmasında tercih edilmektedir. Bu yöntemler, özellikle küçük örneklemelerle çalışırken daha güvenilir sonuçlar verebilir. Ayrıca modelin rejim olasılıklarının zaman içinde nasıl değiştiğini görmek için filtreleme ve düzgünleştirme tekniklerinden yararlanılmaktadır (Kim & Nelson, 1999). Bu açıklamalara ışığında çalışmada kullanılan Markov rejim modeli (2) numaralı denklem yardımıyla gösterilmiştir.

$$y_t = \alpha_{s_t} + x_t' \beta_{s_t} + \varepsilon_t \varepsilon_t \sim i.i.d. N(0, \sigma_{\varepsilon, s_t}^2) \quad (2)$$

(2) numaralı denklemde y_t ; bağımlı değişkeni (CO_2) x_t ; bağımsız değişkenleri (Y, Y^2, Y^3, EK, TA) göstermektedir. (2) numaralı modelde rejim dönemleri tesadüfi bir değişken olarak kabul edilen s_t tarafından elde edilmekte ve s_t rejim değişkeninin olasılık değeri ise bir önceki rejim dönemine bağlı olarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$P\{s_t = j | s_{t-1} = i\} = \{s_t = j | s_{t-1} = i, s_{t-2} = k \dots\} = p_{ij} \quad (3)$$

(3) numaralı denklem birinci sıra Markov zincirine uyan rejim i 'den rejim j 'ye karşılık gelen Markov zincirini ifade etmektedir. (2) numaralı modeli tahmin etmek için serilerin durağan olmaları gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan değişkenlere ait serilerin birim kök içerip içermedikleri Lee&Strazicich (2003) yapısal kırılmalı birim kök testi ile incelenmiştir. Lee & Strazicich (2003) tarafından geliştirilen yapısal kırılmalı birim kök testi, kırılma tarihlerini veri içerisinde endojen olarak belirlemesi ve bu kırılmaları modelin deterministik bileşenlerine sistematik biçimde entegre etmesi bakımından, geleneksel birim kök testlerine kıyasla önemli metodolojik avantajlar sunmaktadır. Söz konusu test, yapısal kırılmaların göz ardı edilmesi durumunda karşılaşılabilecek şekilde, serinin gerçekte durağan olmasına rağmen birim kök varmış gibi hatalı sonuçlar üretilmesinin önüne geçerek, serinin bütünleşme derecesine ilişkin daha güvenilir ve geçerli çıkarımlar yapılmasına olanak tanımaktadır. Farklı yapısal kırılma senaryolarına (yalnızca sabit terim ya da hem sabit hem trend teriminde kırılma)

uyarlanabilir esnek yapısıyla bu test, özellikle makroekonomik zaman serilerinde sıklıkla gözlenen rejim değişimlerini dikkate alan daha gerçekçi bir analiz çerçevesi sunmakta ve böylelikle ampirik uygulamalarda iktisadi yorumların daha sağlıklı biçimde yapılmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle tercih edilen Lee&Strazicich (2003) testine ilişkin birim kök test sonuçları Tablo 5’te sunulmuş olup; çalışmada kullanılan değişkenlere ait serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdikleri fakat birinci fark değerlerinde birim kök içermedikleri tespit edilmiştir.

Tablo 5. Lee&Strazicich (2003) Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	Düzy Seviyesi		Birinci Fark Seviyesi	
	Test istatistiği	Kırılma Tarihleri	Test istatistiği	Kırılma Tarihleri
$\ln CO_2$	-4,143 (0) -6,932* -6,175** -5,825***	1978; 1993	-7,560 (0) -6,750 -6,108 -5,779	1965; 1968
$\ln Y$	-5,627 (2) -6,691 -6,152 -5,798	1977; 2005	-8,065 (0) -6,750 -6,108 -5,779	1966; 1975
$\ln Y^2$	-5,827 (2) -6,978 -6,288 -5,998	1979; 1999	-8,012 (0) -6,750 -6,108 -5,779	1966; 1975
$\ln Y^3$	-6,052 (2) -6,978 -6,280 -5,998	1979; 1999	-7,656 (0) -6,750 -6,108 -5,779	1965; 1975
$\ln EK$	-5,141 (1) -6,750 -6,108 -5,779	1970; 1980	-8,222 (0) -6,750 -6,108 -5,779	1966; 1972
$\ln TA$	-5,926 (1) -6,750 -6,108 -5,779	1976; 1981	-6,832 (1) -6,963 -6,201 -5,890	1979; 1984

Not: *, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10 önem düzeyindeki kritik değerleri göstermektedir. Parantez içindeki değerler uygun gecikme uzunluğunu ifade etmektedir.

Ayrıca Tablo 5’te Lee&Strazicich (2003) testiyle endojen belirlenen kırılma tarihleri, Türkiye’de büyüme-enerji-dış ticaret-emisyon dinamiklerini etkileyen başlıca iktisadi ve kurumsal dönemeçlerle büyük ölçüde örtüşmektedir. Özellikle düzey serilerinde tespit edilen 1977–1979 kırılmaları, 1970’li yılların ikinci yarısında yaşanan küresel petrol şoklarının (enerji fiyatları ve maliyet yapısı) ve bunun Türkiye’nin enerji tüketimi ile üretim kompozisyonu üzerindeki etkilerinin bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde 1970 ve 1980 kırılmaları, 1970’lerin sonundaki iç ve dış dengesizliklerin birikimi ile 24 Ocak 1980 kararları sonrasında hızlanan dışa açılma ve piyasa temelli dönüşüm sürecinin (üretim yapısı, ticaret hacmi ve enerji talebi) serilerde yarattığı yapısal değişimleri işaret etmektedir. 1993 kırılması ise 1994 krizine giden süreçte artan makroekonomik kırılganlıkların (yüksek enflasyon, kamu açıkları, kur baskısı) büyüme ve emisyon dinamiklerinde trend/sabit bileşeninde sapma üretmesiyle uyumludur. 1999 kırılmaları, 1999 depremi ve izleyen dönemdeki yeniden yapılanma ile ekonomi politikası çerçevesinin dönüşmesi sonucu enerji kullanımı ve üretim düzeyinde oluşan kalıcı etkilerle ilişkilendirilebilir. 2005 kırılması ise 2000’li yıllarda küresel entegrasyonun artmasıyla birlikte büyüme kompozisyonu, ticaret açıklığı ve enerji talebinde

gözlenen ivmelenmenin çevresel baskı kanalı üzerinden serilere yansımaları olarak yorumlanabilir. Bu çerçevede kırılma tarihlerinin iktisadi olarak anlamlandırılması, çevresel bozulma ile gelir arasındaki ilişkinin zaman içinde sabit bir form izlemediğini ve doğrusal yaklaşımların yapısal dönüşümleri göz ardı ederek yanlış sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir.

Birim kök testinin ardından değişkenlere ait serilerin durağan oldukları seviyeler kullanılarak (2) numaralı model tahmin edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Markov Rejim Değişim Modeli Analiz Sonuçları

Değişkenler	Rejim 1 (Gözlem Sayısı: 11)		Rejim 2 (Gözlem Sayısı: 52)	
	Katsayılar	Olasılık Değerleri	Katsayılar	Olasılık Değerleri
$dlnY$	8,2337	0,000	19,2322	0,282
$dlnY^2$	-1,4091	0,000	-1,8890	0,319
$dlnY^3$	0,0619	0,009	0,0625	0,351
$dlnEK$	2,9290	0,000	0,7240	0,000
$dlnTA$	-0,1096	0,022	0,0220	0,284
Sabit	0,0914	0,000	0,0146	0,150
Trend	-0,0032	0,000	-0,0004	0,163
Tanısal Testler				
LR Doğrusallık Testi: 0.0079, Davies Testi Olasılık Değeri: 0.0003, Normallik Testi: 3,133 (0,2087)				
Değişen Varyans Testi: 0,50215 (0,4823), Otokorelasyon Testi: 10,645 (0,1549)				

Not: 1) Parantez içindeki değerler test istatistiklerine ait olasılık değerlerini, “d” ise ilgili değişkene ait serisinin birinci farkının alındığını ifade etmektedir. 2) LR doğrusallık testi ve Davies testi olasılık değeri %5 önem düzeyinde değişkenler arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu göstermektedir. 3) Modelde %5 anlamlılık düzeyinde hata terimleri normal dağılmakta, değişen varyans ve otokorelasyon bulunmamaktadır. 3) Rejim sayısının belirlenmesinde 2, 3 ve 4 rejimli Markov Switching modelleri karşılaştırılmıştır. Model seçimi yapılırken Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Schwarz Bilgi Kriteri (SIC), Hannan-Quinn Bilgi Kriteri (HQ) ve modelin iktisadi yorumlanabilirliği birlikte dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, iki rejimli modelin hem bilgi kriterleri açısından daha uygun olduğunu hem de rejimlerin ekonomik olarak daha anlamlı biçimde yorumlanabildiğini göstermektedir. Üç ve dört rejimli modellerde bazı rejimlerin çok kısa dönemleri temsil etmesi ve parametre tahminlerinin istikrarsızlaşması nedeniyle, çalışmada iki rejimli model tercih edilmiştir. 4) Sabit terim katsayısının düşük olduğu dönem rejim 2 (daralma), diğer dönem ise rejim 1 (genişleme) olarak oluşturulmuştur. 5) Markov Rejim Değişim modellerinde parametreler belirli alt örneklemeler üzerinde ayrı ayrı tahmin edilmemektedir. Model parametreleri tüm örneklem kullanılarak maksimum olabilirlik yöntemiyle eşanlı olarak tahmin edilmekte, ardından filtrelenmiş ve düzgünleştirilmiş olasılıklar yardımıyla her gözlemin ait olduğu rejim belirlenmektedir (Hamilton, 1989; Kim ve Nelson, 1999). Dolayısıyla Rejim 1'in yaklaşık 11 yılı kapsaması, modelin yalnızca 11 gözlem üzerinden tahmin edildiği anlamına gelmemektedir. Bununla birlikte, ilgili rejimin örneklem içerisindeki payının düşük olması, bu rejime ilişkin katsayıların yorumlanmasında ihtiyatlı olunmasını da gerektirmektedir.

Tablo 6'daki sonuçlara göre rejim 1'de $dlnCO_2$ değişkenini %5 anlamlılık düzeyinde, $dlnY$, $dlnY^3$, $dlnEK$ değişkenlerinin pozitif; $dlnY^2$ ve $dlnTA$ değişkenlerinin ise negatif düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Rejim 2'de ise $dlnCO_2$ değişkenini sadece $dlnEK$ değişkeninin %5 anlamlılık düzeyinde pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar çalışmanın kapsadığı dönem içerisinde sadece 11 yılı kapsayan dönemde CO_2 ile gelir arasında N şeklinde bir ilişki olduğunu, diğer dönemler de ise CO_2 ile gelir arasında herhangi bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte Tablo 6'daki sonuçlar, Türkiye'de ÇKE hipotezinin tek tip ve zamanlar arası sabit bir ters-U ilişkisi üretmediğini göstermektedir. Rejim 1'in sınırlı bir dönemi kapsamaması (11 yıl) ve bu rejimde $dlnY$, $dlnY^2$, $dlnY^3$ katsayılarının birlikte N-biçimli bir ilişkiye işaret etmesi, Türkiye için N-biçimli ÇKE bulgusu rapor eden çalışmalarla (örn. Akbostancı vd., 2009; Yurttagüler ve Kutlu, 2017; Güzel, 2021; Ojaghlou vd., 2023) uyumludur. Bu uyum, ÇKE biçiminin dönemsel olarak değişebileceğini vurgulayan yaklaşımları da desteklemektedir (Ekinci, 2024). Öte yandan, dönemin büyük bölümünde baskın olan Rejim 2'de gelir değişkenlerinin istatistiksel olarak anlamsız kalması ve yalnızca enerji tüketiminin CO_2 emisyonlarını pozitif yönde etkilemesi, Türkiye literatüründe enerji tüketimi/enerji yoğunluğu kanalının çevresel bozulmanın temel belirleyicisi olduğunu gösteren bulgularla tutarlıdır (Halıcıoğlu, 2008; Koçak, 2014; Güney, 2018; Öcal vd., 2020). Dolayısıyla

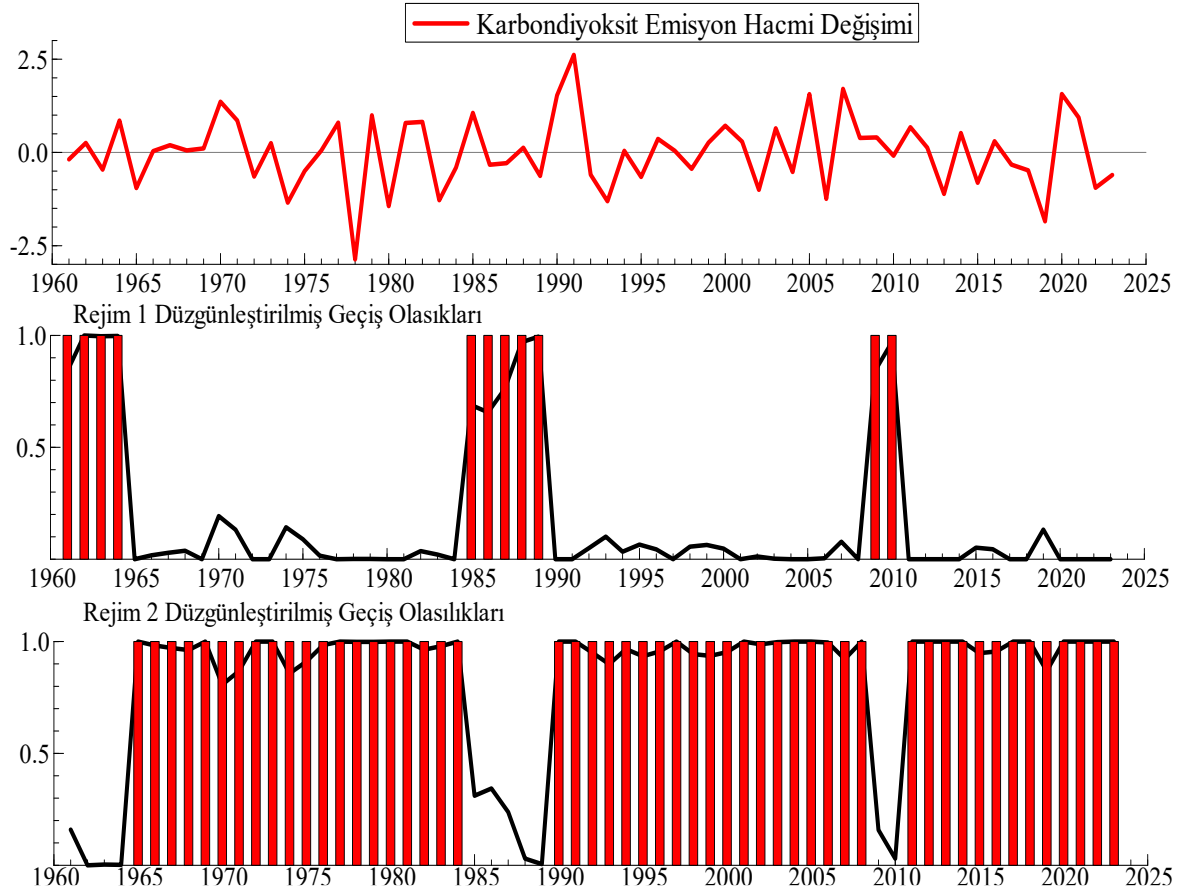
çalışma, ‘önce büyü sonra temizle’ şeklinde özetlenebilen otomatik iyileşme varsayımının Türkiye için genellenemeyeceğini; çevresel iyileşmenin, büyümenin kompozisyonu ve özellikle enerji yapısındaki dönüşümle (yenilenebilir payının artması, verimlilik, temiz teknoloji) yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 6’daki sonuçlar ışığında söz konusu rejimlere ilişkin rejim geçiş olasılıkları matrisi ve dönem özellikleri ise Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Geçiş Olasılıkları Matrisi ve Dönem Özellikleri

Geçiş Olasılıkları Matrisi		
Rejimler	Rejim1	Rejim 2
Rejim 1	0,64342	0,06839
Rejim 2	0,35658	0,93161
Dönem Özellikleri		
Dönemler	Gözlem Sayısı ve Dönemler	Ortalama Süre (Yıl)
Rejim 1	11 (1961-1964, 1985-1989, 2009-2010)	3,67
Rejim 2	52 (1965-1984, 1990-2008, 2011-2023)	17,33

Markov Rejim Değişim modellerinde rejimler kronolojik dönemleri değil, değişkenler arasındaki ilişkinin benzer istatistiksel özellikler gösterdiği durumları temsil etmektedir. Bu nedenle aynı rejime atanan dönemlerin ekonomik, siyasi veya kurumsal açıdan birbirine benzer olması zorunlu değildir. Örneğin modelde 1961-1964, 1985-1989 ve 2009-2010 yıllarının aynı rejimde yer alması, bu dönemlerde Türkiye ekonomisinin aynı yapısal özelliklere sahip olduğunu değil; ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari açıklık ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkinin benzer parametrelerle açıklanabildiğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle Markov modeli zaman eksenindeki komşuluğu değil, gözlemlerin rejim karakteristiklerine olan benzerliğini esas almaktadır. Bu nedenle birbirinden oldukça uzak yıllar aynı rejimde yer alabilirken, ardışık yıllar farklı rejimlerde bulunabilmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, söz konusu dönemlerde gelir-emisyon ilişkisinin N tipi bir yapı sergilediğini ve çevresel bozulmanın ekonomik büyümeye verdiği tepkinin diğer dönemlerden farklılaştığını göstermektedir. Dolayısıyla rejimler tarihsel dönem sınıflandırmaları olarak değil, çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin farklı dinamiklerini temsil eden istatistiksel durumlar olarak yorumlanmalıdır. Bu bilgiler ışığında Tablo 7’deki sonuçlar incelendiğinde, $dlnCO_2$ değişkenin rejim 1’de iken tekrar rejim 1’de kalma olasılığı %64,342 iken, rejim 2’ye geçme olasılığı %35,658’dir. $dlnCO_2$ değişkeninin rejim 2’de iken tekrar rejim 1’e geçme olasılığı %6,839 iken, rejim 2’de kalma olasılığı ise %93,161’dir. Rejim 2 daha düşük sabit terim katsayısına göre belirlendiğinden çalışmanın kapsadığı dönemden elde edilen bilgilere göre $dlnCO_2$ değişkenin genişleme dönemine girme olasılığının düşük olduğunu göstermektedir. Son olarak modelden elde edilen düzgünleştirilmiş geçiş olasılıkları ise Grafik 1’de ifade edilmiştir.

Grafik 1. Düzgünleştirilmiş Geçiş Olasılıkları

Üç alt grafikten oluşan Grafik 1'de Türkiye'nin 1960–2023 dönemine ait karbondioksit emisyon hacmi değişimleri ile Markov rejim değişim modelinden elde edilen düzgünleştirilmiş geçiş olasılıkları sunulmaktadır. Grafik 1 incelendiğinde CO₂ emisyonlarındaki değişim dalgalı bir seyir izlediği ve özellikle 1970'li yıllarda küresel petrol krizlerinin etkisiyle artış ve azalışların keskinleştiği, 1980'de ise belirgin bir düşüş yaşandığı dikkat çekmektedir. 1990 sonrası dönemde ise dalgalanmalar devam etmiş, 2000'lerden itibaren ise emisyon hacmindeki değişimler görece daha yüksek seviyelerde seyretmiştir. Geçiş olasılıklarının yer aldığı Grafik 1'deki orta ve alt grafiklerde Rejim 1'in baskın olduğu dönemler sınırlı olup 1960-1965, 1985-1990 ve 2010 yılı civarında kısa süreli geçişler şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu dönemler, daha kırılgan ve istikrarsız emisyon dinamiklerini temsil etmektedir. Buna karşılık, Rejim 2 uzun dönem boyunca baskın konumda olup özellikle 1965 sonrası, 1990'lı yıllar ve 2000 sonrası dönemde güçlü biçimde gözlemlenmektedir. Bu durum, Türkiye'nin ekonomik büyüme sürecinde artan enerji talebi ve sanayileşme eğilimi ile paralellik göstermektedir.

Özetle elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, Türkiye'de çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin homojen olmadığını, dönemsel olarak farklı rejimlere ayrıştığını ortaya koymaktadır. Özellikle uzun dönemli eğilimde Rejim 2'nin baskınlığı, emisyon artışlarının sürdürülebilirlik tartışmaları açısından kritik olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, ÇKE hipotezinde öngörülen tek tip tersU biçimli ilişkinin Türkiye için geçerli olmadığını; bunun yerine, bazı dönemlerde Nbiçimli bir yapının ortaya çıkabileceğini desteklemektedir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

ÇKE hipotezi, teknolojik ve yapısal dönüşümlerin zamanla ölçek etkisinin yarattığı çevresel zararları dengeleyerek, çevresel kaliteyi artırabileceğini öne sürmektedir. Ancak bu hipotezin geçerliliği, ülke özelindeki yapısal özelliklere, politika tercihi ve veri setine bağlı olarak farklılık arz etmektedir (Çağlar, 2022 ve Albayrak ve Gökçe, 2015). Zira konu ile ilgili Türkiye’yi konu alan çalışmalar incelendiğinde ulaşılan sonuçlar açısından bu farklılıklar görülebilmekte ve konu ile ilgili tam bir görüş birliğinin oluşmadığı tespit edilmektedir. Bu bağlamda hazırlanan bu çalışmada ise Türkiye’de ÇKE hipotezinin geçerliliği, doğrusal modellerin göz ardı edebileceği rejim değişimlerini ve yapısal farklılıkları dikkate alabilmek amacıyla doğrusal olmayan bir ekonometrik yaklaşım çerçevesinde incelenmiştir. Böylece Türkiye ekonomisinin geçirdiği yapısal dönüşümler, krizler ve makroekonomik şoklar içsel olarak modellenmiş ve büyüme-çevre ilişkisinin asimetrik ve rejim duyarlı yapısı vurgulanmaya çalışılmıştır.

Elde edilen bulgular, 1960-2023 döneminin tamamında ÇKE hipotezinin öngördüğü ters-U biçimindeki ilişkinin geçerli olmadığını göstermektedir. Sonuçlar, yalnızca farklı dönemlerden oluşan toplam 11 yıllık sınırlı bir zaman diliminde CO₂ emisyonları ile gelir arasında N biçiminde bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Ayrıca enerji tüketiminin, incelenen tüm dönem boyunca çevresel bozulmayı temsil eden CO₂ emisyonları üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. CO₂ ile gelir arasındaki N biçimindeki tespit edilen bu ilişki ekonomik büyümenin ilk aşamalarında kirliliğin arttığı, belirli bir gelir seviyesinden sonra kirliliğin azaldığı, ancak ileri ekonomik büyüme aşamalarında kirliliğin tekrar yükselişe geçtiği bir süreci göstermektedir. Bu sonuç Türkiye’de ekonomik büyümenin çevresel iyileşme için tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Bu sonuç karşısında Türkiye’de, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, ekonomik büyümenin enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması ve çevresel etkileri minimize eden teknolojilerin benimsenmesini teşvik eden politika yaklaşımları öncelikli olarak değerlendirilmelidir.

Bununla beraber hazırlanan bu çalışma literatüre çeşitli açılardan katkı sunmaktadır. Öncelikle Türkiye’de ÇKE hipotezini inceleyen çalışmaların büyük bölümü ARDL, eşbütünleşme ve VAR gibi doğrusal yöntemlere dayanırken, bu çalışmada çevre-büyüme ilişkisinin rejim bağımlı yapısı Markov Rejim Değişim Modeli yardımıyla analiz edilmiştir. Böylece ilişkinin zaman içerisinde sabit olmadığı ve farklı dönemlerde farklı dinamikler sergileyebildiği ortaya konulmuştur. İkinci olarak çalışma, 1960-2023 dönemini kapsayan uzun zaman boyutu sayesinde Türkiye ekonomisinde yaşanan yapısal dönüşümlerin çevresel sonuçlarını bütüncül biçimde değerlendirmektedir. Üçüncü olarak elde edilen bulgular, Türkiye için ÇKE ilişkisinin yalnızca ters-U biçiminde değerlendirilmesinin yetersiz olduğunu ve ilişkinin dönemsel olarak farklı şekillerde ortaya çıkabileceğini göstererek son dönem literatürde yer alan N biçimli ilişki bulgularını desteklemektedir.

Araştırmadan elde edilen sonuçlar politika yapımcılar açısından da önemli çıkarımlar sunmaktadır. Bulgular, çevresel iyileşmenin yalnızca gelir artışına bağlı olarak gerçekleşmeyeceğini ve ekonomik büyümenin tek başına çevresel sürdürülebilirliği garanti etmediğini göstermektedir. Bu nedenle sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılabilmesi için ekonomik büyüme politikalarının enerji verimliliği uygulamaları, yenilenebilir enerji yatırımları, düşük karbonlu üretim teknolojileri ve etkin çevre politikaları ile desteklenmesi gerekmektedir. Özellikle enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerindeki kalıcı etkisi dikkate alındığında, Türkiye’nin yeşil dönüşüm sürecini hızlandırması ve çevresel kaygıları kalkınma stratejilerinin merkezine yerleştirmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda çalışmanın bulguları,

çevre politikalarının ekonomik konjonktüre duyarlı biçimde tasarlanması gerektiğini ve çevresel sürdürülebilirliğin kendiliğinden ortaya çıkacak bir sonuç değil, bilinçli politika tercihlerinin ürünü olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede eko-iovasyonların, Ar-Ge yatırımlarının, çevresel patentlerin ve çevreci teknolojilerin devlet yardımları, vergi muafiyetleri gibi mekanizmalarla desteklenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla tek tip politikalar yerine makroekonomik konjonktüre göre esneklik sağlayabilen, rejim tutarlı ve sürdürülebilir kalkınma stratejileri önem arz etmektedir.

Bununla birlikte çalışma bazı sınırlılıklar içermektedir. İlk olarak çevresel bozulmanın göstergesi olarak yalnızca kişi başına CO₂ emisyonları kullanılmıştır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda ekolojik ayak izi, karbon ayak izi veya çevresel performans göstergeleri gibi alternatif değişkenlerin kullanılması daha kapsamlı sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayabilir. İkinci olarak çalışmada rejim geçişlerinin yalnızca modelin içsel dinamikleri tarafından belirlendiği varsayılmıştır. Gelecek çalışmalarda enerji fiyatları, teknolojik gelişmeler, çevre düzenlemeleri veya kurumsal kalite gibi değişkenlere bağlı zamanla değişen geçiş olasılıklarına sahip Markov modellerinin kullanılması, çevre-büyüme ilişkisinin altında yatan mekanizmaların daha ayrıntılı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bu yönüyle çalışma, Türkiye’de çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin doğrusal olmayan yapısını ortaya koyarken, gelecekte yapılacak araştırmalar için de önemli bir zemin oluşturmaktadır.

Kaynakça

- Acaroğlu, H., Kartal, M. H. & Márquez, F. P. G. (2023). Testing The Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Terms of Ecological Footprint and CO₂ Emissions Through Energy Diversification for Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 63289-63304.
- Akbostancı, E., Türüt-Aşık, S. & Tunç, G. İ. (2009). The Relationship Between Income and Environment in Turkey: Is There an Environmental Kuznets Curve?. *Energy Policy*, 37(3), 861-867.
- Albayrak, E. N., & Gökçe, A. (2015). Ekonomik Büyüme ve Çevresel Kirlilik İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisi ve Türkiye Örneği. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 4(2), 279-301.
- Antweiler, W., Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2001). Is Free Trade Good For The Environment?. *American Economic Review*, 91(4), 877-908.
- Arı, A. & Zeren, F. (2011). CO₂ Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi. *Yönetim ve Ekonomi*, 18(2), 37-47.
- Atıcı, C. & Kurt, F. (2007). Türkiye’nin Dış Ticareti ve Çevre Kirliliği: Çevresel Kuznets Eğrisi Yaklaşımı. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 13(1-2), 61-69.
- Balıbey, M. (2015). Relationships Among CO₂ Emissions, Economic Growth and Foreign Direct Investment and The Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Turkey. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(4), 1042-1049.
- Başar, S. & Temurlenk, M. S. (2007). Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 1-12.
- Beşe, E. & Kalaycı, S. (2019). Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis: Evidence from Egypt, Kenya and Turkey. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(6), 479-491.
- Bölük, G. & Mert, M. (2015). The Renewable Energy, Growth and Environmental Kuznets Curve in Turkey: An ARDL Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595.
- Ceylan, R. & Karaağaç, G. E. (2020). Türkiye’de Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Test Edilmesi: Yapısal Kırılmalı Eşbütünleşme Testi ile Hata Düzeltme Modelinden Kanıtlar. *Pamukkale Journal of Eurasian Socioeconomic Studies*, 7(2), 75-85.
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, Growth, and The Environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1), 7-71.
- Çağlar, A. E. (2022). Türkiye’de Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Araştırılmasında Çevresel Patentlerin Rolü: Genişletilmiş ARDL ile Kanıtlar. *Ömer Halis Demir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(4), 913-929.

- Çetin, M. & Saygın, S. (2019). Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi'nin Ampirik Analizi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 26(2), 529-546.
- Doğan, N. & Karay, M. (2019). The Impact of Renewable Energy Consumption and Energy Intensity on CO₂ Emissions from Fuel Combustions for the Case of Turkey: A Cointegration Analysis. *Bil Türk Ekonomi ve İlişkili Çalışmalar Dergisi*, 1(2), 169-187.
- Dai, Y., Zhang, H., Cheng, J., Jiang, X., Ji, X. & Zhu, D. (2022). Whether Ecological Measures Have Influenced The Environmental Kuznets Curve (EKC)? An analysis using land footprint in the Weihe River Basin, China. *Ecological Indicators*, 139, 108891.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H. & Wheeler, D. (2002). Confronting The Environmental Kuznets Curve. *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147-168.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49, 431-455.
- Ekinci, Y. (2024). Sürdürülebilir Çevre için Geçmiş Bakış: Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisinin Dönemsel Analizi. *Journal of Economic sand Research*, 5(1), 81-97.
- Emek, Ö. F. & Özçelebi, O. (2021). Türkiye'de Çevresel Kuznets Hipotezinin Geçerliliği Bağlamında Karbon Emisyonu (CO₂) ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Hatemi-J ve Zamanla Değişken Nedensellik. *Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(2), 364-386.
- Filardo, A. J. (1994). Business Cycle Phases and Their Transitional Dynamics. *Journal of Business & Economic Statistics*, 12(3), 299-308.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement (No. w3914). *National Bureau of Economic Research*.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and The Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.
- Gürlük, S. & Karaer, F. (2004). Türkiye'de Ekonomik Büyüme ile Çevre Kirliliği İlişkinin İncelenmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 10(1), 43-54.
- Güney, A. (2018). Genişletilmiş Kuznets Eğrisinin Türkiye İçin Yeniden Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(3), 745-761.
- Güzel, F. (2021). Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Türkiye Ekonomisinde Geçerliliğinin Analizi. *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 30, 59-76.
- Gyamfi, B.A., Bein, M. A., Bekun, F. V., Yaw, S. S. & Vo, X. V. (2021). Assessment of the Environmental Implications of Energy Consumption for Sustainable Development in G7 Countries. *OPEC Energy Review*, 45(3), 320-340.
- Halıcıoğlu, F. (2008, November). An Econometric Study of CO₂ Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey. MPRA Paper No. 11457
- Hamilton, J. D. (1989). A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and The Business Cycle. *Econometrica*, 57(2), 357-384.
- Hamilton, J. D. (1994). Time Series Analysis. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
- İnci, T. (2023). Evaluation of the Relationship Between Energy Consumption, Economic Growth, and Carbon Emissions in the Context of the N-Shaped Environmental Kuznets Curve: Newly Industrialized Countries (NICs). *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41(3), 453-469.
- Jackson, T. (2009). Prosperity without Growth: Economics for a Finite Planet. Earthscan. London.
- Jebli, M.B., Youssef S. B. & Öztürk, İ. (2016). Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis: The Role of Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Trade in OECD Countries. *Ecological Indicators*, 60, 824-831.
- Kazak, S. & Kazak, H. (2022). Türkiye'de CO₂ İçin Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Geçerliliği: Ampirik Bir Analiz. *JAV Studies*, 2, 161-179.
- Kim, C. & Nelson, C. (1999). State-Space Models with Regime-Switching: Classical and Gibbs-Sampling Approaches with Applications. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Koçak, E. (2014). Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Geçerliliği: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 2(3), 62-73.
- Krolzig, H.M. (1997). Markov Switching Vector Autoregressions Modelling: Statistical Inference and Application to Business Cycle Analysis. Springer, Berlin.
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28.

- Lee, J. & Strazicizh, M. C. (2003). Minimum Lagrange Multiplier Unit Root Test with Two Structural Breaks. *The Review of Economics and Statistics*, 85(4), 1082-1089.
- Liu, Y., Mabee, W., & Zhang, H. (2021). Conserving Fertilizer in China's Rural-Agricultural Development: The Reversal Shifts and the County-Specific EKC Evidence from Hubei. *Cleaner Environmental Systems*, 3, 100050, 1-10.
- Lieb, C. M. (2003). The Environmental Kuznets Curve: A Survey of the Empirical Evidence and of Possible Causes. *University of Heidelberg Discussion Paper Series*, No. 391.
- Manga, M. & Akar, P. G. (2020). Ekonomik Büyüme, Karbon Emisyonu ve İnsani Gelişmişlik Arasındaki İlişki: Seçilmiş Akdeniz Ülkeleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17 (1), 405-419.
- Martínez-Zarzoso, I., & Bengochea-Morancho, A. (2004). Pooled Mean Group Estimation of an Environmental Kuznets Curve for CO₂. *Economics Letters*, 82(1), 121-126.
- Moalla, M. (2023). Enerji Tüketimi, CO₂ Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye için ARDL Analizi. *Kent Akademisi Dergisi*, 16, 19-37.
- Moalla, M. (2024). Reinvestigating The Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis with Agri-environmental Indicators for Sustainable Growth in the 100th Anniversary of The Republic of Turkey. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 16(Özel Sayı), 50-61.
- Naimoğlu, M. (2022). Testing The Environmental Kuznets Curve Hypothesis Under Structural Breaks: The Case of Turkey. *Alanya Akademik Bakış Dergisi*, 6(3), 3069-3084.
- Oğul, B. (2023). Çevresel Kalitenin Belirleyicilerinin Ekonometrik Analizi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41(1), 147-166.
- Ojaghlou, M. & Ugurlu, E. (2023). Urbanization and Climate Change: Environmental Kuznets Curve (EKC) and Stirpat Analysis for Turkey. *Journal of Scientific Papers Economics & Sociology*, 16(1), 259-270.
- Öcal, O., Altınöz, B. & Aslan, A. (2020). The Effects of Economic Growth and Energy Consumption on Ecological Footprint and Carbon Emissions: Evidence from Turkey. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 5(3), 667-681.
- Özbek, S. & Oğul, B. (2022). Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Geçerliliği: Türkiye Üzerine Ampirik Bir Çalışma. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 14(25), 35-46.
- Özyakışır, D. & Çamkaya, S. (2025). Türkiye’de Göçmen Dövizleri ve CO₂ Emisyonları İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Çerçevesinde Bir Analiz. *International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences*, 8(3), 63-78.
- Panayotou, T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development (No. 929). *International Labour Organization*.
- Pata, U.K. (2018). Renewable Energy Consumption, Urbanization, Financial Development, Income and CO₂ Emissions in Turkey: Testing EKC Hypothesis with Structural Breaks. *Journal of Cleaner Production*, 187, 770-779.
- Polat, M. A. & Ergün, S. (2023). Türkiye’de Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Ekonomik Büyüme ve Farklı Küreselleşme Türleri Bakımından Analizi. *İstanbul İktisat Dergisi*, 73(1), 107-142.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., & Falkenmark, M. (2009). A Safe Operating Space for Humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- Saatçi, M. & Dumrul, Y. (2011). Çevre Kirliliği ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisinin Türk Ekonomisi için Yapısal Kırılmalı Eş-Bütünleşme yöntemiyle Tahmini, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 37, 65-86.
- Saboori, B. & Sulaiman, J. (2013). Environmental Degradation, Economic Growth and Energy Consumption: Evidence of The Environmental Kuznets Curve in Malaysia. *Energy Policy*, 60, 892-905.
- Saraç, Ş. & Yağlıkara, A. (2017). Environmental Kuznets Curve: The Evidence from BSEC Countries. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 17(2), 255-264.
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162.

- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence (No. WPS 904). *World Bank*.
- Shahbaz, M., Khraief, N., Uddin, G.S.&Öztürk, İlhan (2014). Environmental Kuznets Curve in an Open Economy: A Bounds Testing and Causality Analysis for Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 325-336.
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of The Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439.
- Tutulmaz, O. (2015). Environmental Kuznets Curve Time Series Application for Turkey: Why Controversial Results Exists for Similiar Models”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 73-81.
- Uğur, M. S. (2022). The Relationship Between Foreign Direct Investment, Economic Growth, Energy Consumption and CO₂ Emissions: Evidence from ARDL Model with A Structural Break for Turkey. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 22(3), 337-352.
- Wang, Q., Yang, T., & Li, R. (2023). Does Income Inequality Reshape the Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis? A Nonlinear Panel Data Analysis. *Environmental Research*, 216, 114575.
- Yıldız, Ş. (2022). Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Türkiye İçin Geçerliliğinin Analizi. *Üçüncü Sektör Sosyo Ekonomi Dergisi*, 57(4), 3176-3191.
- Yurttagüler, İ. & Kutlu, S. (2017). An Econometric Analysis of The Environmental Kuznets Curve: The Case of Turkey. *Alphanumeric Journal*, 5(1), 115-126.
- Yurtkuran, S. (2021). Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Geçerliliği ve Yeşil Lojistik: Türkiye Örneği. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(45), 171-201.
- <https://www.enerji.gov.tr/anasayfa> (Erişim tarihi: 27.09.2025)