

Arastırma Makalesi

Türkiye'de Büyüme, Kentleşme, Sanayileşme ve Çevresel Bozulma Arasındaki Bağlantıların Yeniden Araştırılması: Ekolojik Modernleşme Teorisinden Yeni Kanıtlar

Reinvestigating The Linkages Among Growth, Urbanization, Industrialization and Environmental Degradation in Türkiye: Fresh Evidence from Ecological Modernization Theory

<p>Burhan DURGUN Arş. Gör. Dr., Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi burhan.durgun@dicle.edu.tr https://orcid.org/0000-0001-7742-6059</p>	<p>Ahmet Vedat KOÇAL Dr. Öğr. Üyesi, Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ahmetvedatk@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-3017-5832</p>
---	--

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
16.01.2025	28.02.2025

Öz

İnsanlığın ekonomik yaşayışı ile çevresi arasındaki ilişkiye dair incelemeler ve önermeler sunan iktisat yaklaşımlarından biri olarak ekolojik modernleşme teorisi, serbest piyasa düzeni ile çevresel varlık arasında bir denge kurulabileceği varsayımına dayanmaktadır. Teori, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teknolojik yenileşmenin, kamu politikalarının, insan davranışının ve kentleşme süreçlerinin çevresel duyarlılığı gözetir biçimde sürdürülmeleri halinde çevresel iyileştirmenin mümkün olabileceğini savunmaktadır. Bu çalışmada da 2053 yılı için karbon nötr hedefi açıklayan Türkiye'de ekolojik modernleşme teorisinin geçerli olup olmadığı araştırılmaktadır. 1965-2023 döneminin ele alındığı ve ARDL yaklaşımının benimsendiği analizlerde büyüme, kentleşme ve sanayileşmenin karbon yoğunluğuna etkisi tahmin edilmiştir. Ampirik bulgular, değişkenler arasında uzun dönem ilişkisini doğrulamıştır. Uzun dönem esnekliklerinde ise Çevresel Kuznets Hipotezinin doğrulandığı ve kentleşme ile çevresel bozulma arasında ters U şekilli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Sanayileşme ile çevresel bozulma arasında ise düz U şekilli bir ilişki ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Yenilenebilir enerjilerin etkisi beklendiği gibi çevre koruyucu çıkmıştır. Son dönemlerde karbon yoğunluğunu azaltan Türkiye'de bu eğilimin güçlendirilmesi gerekmektedir. Karbon nötr hedefine ulaşmada fosil yakıtların payının azaltılıp yenilenebilir enerjilere yatırımların artırılması ve kentlerde sürdürülebilirliğin ön plana alınması önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik modernleşme teorisi, kentleşme, çevresel bozulma, Çevresel Kuznets Eğrisi, ARDL sınır testi

JEL Sınıflaması: O13, O44, Q56

Abstract

As one of the economic approaches that studies and offers propositions on the relationship between humankind's economic life and its environment, the ecological modernization theory depends on the assumption that a balance can be established between the free market order and environmental existence. The theory argues that environmental improvement could be possible if technological innovation, public policies, human behavior and urbanization processes aimed at the use of renewable and clean energy sources are carried out together in an environmentally sensitive manner. This study explores the validity of ecological modernization theory in the context of Türkiye, which has committed to achieving carbon neutrality by the year 2053. In the analyses where the period 1965-2023 is considered and ARDL approach is adopted, the effects of growth, urbanization and industrialization on carbon intensity are estimated. Empirical findings substantiate

Önerilen Atıf /Suggested Citation

Durgun, B. & Koçal, A.V., 2025, Türkiye'de Büyüme, Kentleşme, Sanayileşme ve Çevresel Bozulma Arasındaki Bağlantıların Yeniden Araştırılması: Ekolojik Modernleşme Teorisinden Yeni Kanıtlar, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 60(1), 657-680.

the long-term relationship between the variables. In the long-term elasticities, the environmental Kuznets hypothesis is corroborated, and an inverted U-shaped relationship between urbanization and environmental degradation is observed. A U-shaped relationship between industrialization and environmental degradation is statistically insignificant. The effect of renewable energies is environmentally protective, as anticipated. In order to achieve the objective of carbon neutrality, it is imperative that this trend be strengthened in Türkiye, which has recently reduced its carbon intensity. A crucial aspect of achieving this objective is the reduction of the share of fossil fuels, the increase of investments in renewable energies, and the prioritization of sustainability in urban areas.

Keywords: Ecological modernization theory, urbanization, environmental degradation, Environmental Kuznets Curve, ARDL bounds test

JEL Codes: O13, O44, Q56

1. Giriş

Ekolojik sorun, bir entelektüel, akademik ve politik gündem olarak, 1960'ların ikinci yarısından itibaren özellikle Amerika ve Avrupa'yı kuşatan öğrenci eylemleri sürecinde dikkat çekici bir düzeye ulaşmıştır. II. Dünya Savaşı'nın neden olduğu yıkımın boyutları ile Vietnam Savaşı'nda napalm gibi aynı zamanda çevresel tahribat yaratan bazı silahların kullanımının doğurduğu doğal sonuçlar, ekolojik duyarlılığın gelişiminde önemli rol oynamıştır. Özellikle Soğuk Savaş sürecindeki nükleer silahlanmanın insanlığın varlığını tehdit eder boyutlara ulaşması ve bu kez kitle imha silahları ile yapılacak bir dünya savaşının yakın bir risk haline gelişi, eko-sistemin karşı karşıya bulunduğu sorunları ve korunması arayışını acil bir gündem olarak insanlığın önüne getirmiştir. 1980'lerin başından itibaren ozon tabakasında kirletici gazlar nedeniyle kayda değer boyutta bir inceleme gerçekleştiğine dair bilimsel ölçümler (Farman vd., 1985), ekolojik tahribat kaygısını ve bu konudaki duyarlılığa dayalı gündemi daha da yaygınlaştırmıştır. 1986'da Ukrayna'nın Çernobil nükleer enerji santralinde gerçekleşen patlama ve tüm Avrupa'yı saran radyoaktif serpinti, neden olduğu düşünülen kanserojen etki bakımından küresel bir endişenin konusu olmuş ve fosil yakıtlı ve nükleer reaksiyona dayalı enerji üretimi ile eko-sistem arasındaki çelişki konusundaki farkındalığı ve tepkileri, gelişmekte olan popüler kültürün önemli bir gündemi haline getirmiştir.

2000'lere gelindiğinde, endüstriyel gaz salınımına ve Amazon havzasında olduğu gibi orman yıkımına bağlı olarak atmosferde biriken karbondioksit miktarının sera etkisi yaparak neden olduğu küresel ısınmanın (Mitchell, 1989; Mansfield, 1991) kuraklık ve su kaynaklarının dramatik boyutlarda azalması gibi görünüşleriyle giderek daha fazla hissedilir boyutlara ulaşması ekolojik sorunun insanlığın ortak gündeminde ilk sıraya ulaşmasını sağlamıştır. Nitekim 1987'de imzalanan *Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü*, 1992'de Rio de Janeiro'da düzenlenen *Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı*, bu konferansta imzaya açılıp 1994 yılında yürürlüğe giren *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi*, yine 1994 tarihli *Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi*, 1997'de imzalanan *Kyoto Protokolü* gibi uluslararası sözleşmeler, ekolojik sorunun uluslararası toplumun gündeminde aldığı yerin belgeleri ve göstergeleri olmuştur.

Endüstriyel üretim biçimi ile ekolojik tahribat arasındaki ilişkisellik, üretim biçimlerinde olduğu gibi teknolojik gelişmede de etkili olmuş ve iyileştirmeye dönük arayışlar yoğunlaşmıştır. Kurşunsuz akaryakıt, doğalgaz, hidroelektrik, rüzgar ve güneş tribünleri gibi, yenilenebilir kaynaklara dayalı "yeşil enerji" üretim teknikleri ve nihayet yarı ve tam elektrikli taşıtların piyasaya sürülmesi gibi gelişmeler, endüstriyel üretimde ekolojik sorun temelli yenilikçi teknolojik gelişmelerin bazı örneklerini oluşturmuştur.

İklim kriziyle birlikte, sadece eko-sistem üstünde değil, günlük yaşam üzerindeki etkileri de giderek belirginleşen çevresel yıkıma karşı medyatik, politik ve teknolojik alanlarda yükselen ilgi, entelektüel ve bilimsel çevrelerde de yansımaları bulmuştur. Ekolojik sorunlara karşı eleştirilerle başlayıp zamanla çeşitli akımlar etrafında başlı başına bir ideolojik inşa sürecine giren ekoloji temelli düşünsel üretimler, insani etkilerin sonuçlarını jeolojik-klimatolojik bir çağ olarak öneren antroposentrik yaklaşımda (Crutzen ve Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Gürbüz, 2013) olduğu gibi kuramsal yazının konusu olmaya başlamıştır.

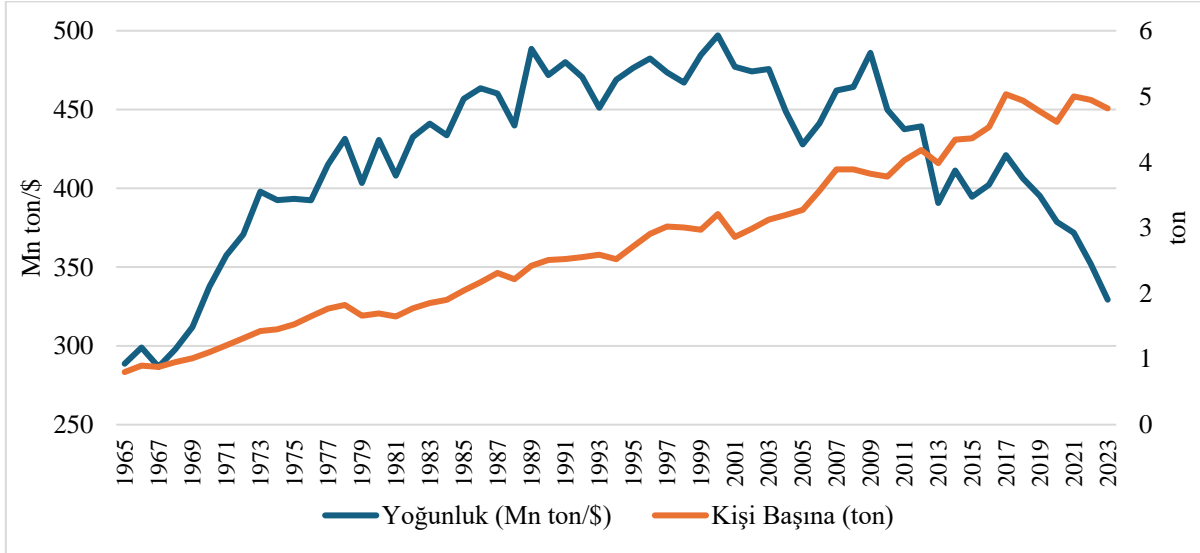
Özellikle sosyalist, anarşist ve feminist ana akımlarda görüldüğü üzere, ekolojik temayı merkeze alan güncel felsefi eğilimlerden biri de liberal düşünce geleneği içerisinde ortaya çıkmış, "ekolojik modernleşme teorisi" olarak adlandırılan bir kategoriyi oluşturan yorumcular (Spaargaren, 2000; Buttel, 2000; Mol, 2002, 2010), ekolojik sorunu kapitalizmle ve sanayiye dayalı ekonomik üretim biçimiyle ilişkilendiren eleştirel yaklaşımlardan farklı olarak serbest piyasaya ve sanayileşmeye dayalı sistem içerisinde teknolojik, davranışsal ve hukuksal alanlarda iyileştirmeler yoluyla çevresel çözümün mümkün olduğunu savunmuşlardır.

Çevresel alanda yukarıda sunulan tarihsel gelişmeler ve kuramsal birikim ışığında, ekolojik modernleşme teorisini Türkiye'nin 1965-2023 dönemi özelinde test etmeyi amaçlayan bu çalışma büyüme, kentleşme ve

sanayileşmenin çevresel bozulma üzerinde monoton olmayan bir etkide bulunabileceği varsayımına dayanmaktadır. Çalışmanın ampirik bölümünde çevresel bozulma göstergesi olarak üretimde karbon yoğunluğu kullanılmıştır. Bu göstergeyle karbon nötr hedefine uygun olarak üretimde dekarbonizasyon süreci izlenebilmektedir.

Çevresel bozulmanın belirleyicilerinin araştırıldığı çalışmalarda sıklıkla başvuru kişi başına karbon emisyonu yerine bu çalışmada daha kapsamlı bir gösterge olduğu düşünülen üretimde karbon yoğunluğuna başvurulmasının önemi kıyaslama yapıldığında ortaya çıkmaktadır. Her iki göstergenin zaman içindeki değişimi aralarındaki farkı net bir şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 1’de 1965-2023 döneminde kişi başına karbon emisyonu ve üretimde karbon yoğunluğunun eğilimleri gösterilmektedir. Kişi başına karbon emisyonu bazı yıllarda küçük düşüşler yaşanmasına rağmen genel olarak bir artış eğilimi göstermektedir. Karbon yoğunluğu ise zirveyi gördüğü 2000 yılına kadar artmış ve bu yıldan sonra dalgalı bir şekilde de olsa düşüş eğilimine girmiştir. İlk yıllardaki hızlı artışın 1973 petrol kriziyle yavaşladığı görülmektedir. Petrol krizlerinden sonra tüm dünyada yenilenebilir enerjilere yönelim ve artan verimlilik karbon yoğunluğu eğrisini ilk olarak yavaşlatmış daha sonra yönünü aşağı doğru çevirmiştir. Bu yönseme ters U şeklini andırmaktadır. Her ne kadar kişi başına karbon emisyonunda 5 katın üzerinde bir artış yaşanmış olsa da büyüme sürecinde karbon yoğunluğunun yarım asır önceki seviyesinin altında olması ve mevcut eğilimin devam etmesi durumunda daha da aşağıya gelebilecek olması Türkiye’nin karbon nötr hedefine ulaşmasında olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilmektedir.

Şekil 1: Türkiye’de Karbon Emisyonu ve Karbon Yoğunluğu (1965-2023)



Kaynak: The Energy Institute, The World Bank-WDI.

Çevre ekonomisi literatüründe birçok çalışmanın öznesini oluşturan çevresel bozulmanın makro belirleyicileri konusunda farklı bir çevresel bozulma göstergesi kullanılarak büyüme, kentleşme ve sanayileşmenin çevre üzerinde doğrusal olmayan etkilerinin araştırılması çalışmanın özgün değerini oluşturmaktadır. Bu bağlamda mevcut çalışma gelir düzeyinin, kentleşmenin ve sanayileşmenin çevre üzerindeki etkisinin monoton mu yoksa değişken mi olduğunu; yenilenebilir enerjilerin üretimde karbon yoğunluğu üzerindeki etkisinin nasıl olduğunu ve ayrıca bu değişkenler arasında nedensel bağlantıların olup olmadığını değerlendirmektedir.

Yukarıdaki sorulara cevap aranan bu çalışmada sonraki bölümlerde sırasıyla teorik tartışmalar, ampirik literatür özeti, veri ve yöntem, analiz bulguları ve son olarak genel değerlendirmenin ve politika önermelerinin yapıldığı sonuç bölümüne yer verilmiştir.

2. Teorik Arka Plan: Ekolojik Modernleşme Teorisi

Erken örnekleri 1960’lı yıllardan itibaren görülmekle birlikte ekolojik sorunun spesifik olarak kuramsal metinlerin konusunu oluşturmaya başlaması konunun 1980’li yıllarda popülerleşmesi süreciyle bağlantılıdır. Ekolojik sorunun gündem belirleyici niteliği, akademik yaşamda da etkisini göstermeye başlamış ve giderek ekolojik sorun temelli bir literatürün temelleri atılmıştır. Bu kapsamda, ekolojik sorunsalın mevcut siyasal ideolojiler etrafında yorumlanmasını içeren metinler, Eko-Liberalizm, Eko-Marksizm, Eko-Anarşizm ve Eko-Feminizm gibi yeni alt akımların kaynaklarını oluşturmuş ve giderek *Ekolojizm* diye adlandırılan yeni bir ideoloji kategorisinin inşasına evrilmişlerdir.

Ekolojik sorunu liberal düşünce çerçevesi içerisinde ele alan ve bu çerçevede ekolojik sorunun çözümünü mevcut serbest piyasa sisteminin iyileştirilmesi etrafında arayan teorik yaklaşımlardan biri, *ekolojik modernleşme teorisi* diye adlandırılan akım olmuştur. Savaş karşıtı muhalif gençlik hareketlerinin, sosyalist devrimlerin ve anti-kolonyal mücadelelerin etkilediği, 1960'ların siyasal ortamında yükselen, ekolojik sorunu kapitalizmin sınırsız büyümeye ve tüketime dayalı doğası iddiasına dayandıran, kapitalizmin ekolojik soruna yönelik faaliyetlerinin yeşillendirmeden öteye geçemediğini savunan (Jänicke, 2008: 557), dolayısıyla, çözüm için de kapitalist üretim biçiminin tasfiyesini öneren sol eleştiriye (Koçal, 2022) karşı liberal düşünce çerçevesinde bir yanıt geliştirme çabası olarak değerlendirilebilecek yaklaşım, liberal düşünce ile ekolojik kaygılar arasında bir uzlaşma aramaktadır. Bu yönüyle, ortaya çıktığı döneme özgü sosyo-politik ortamın doğurduğu pragmatik koşulları yansıtan yaklaşım, kapitalizmin ekolojik sorunlarla baş edebilme imkanlarına sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır (Warner, 2010: 540). Bu bağlamda, ekolojik modernleşme teorisinin ortaya çıkışının, Sovyetler Birliği başta olmak üzere sosyalist rejimlerin kapitalizmin ürettiği çevresel yıkıma alternatif üretmek bir yana, Soğuk Savaş sürecinde özellikle nükleer silahlanma ve ağır sanayileşme politikalarıyla ekolojik tahribatta endüstriyel yarı-küre ile yarışa girmiş olmaları ve nihayet 1980'lerden itibaren dağılmalarını takiben, kapitalizmle ekolojik sorun arasındaki doğal bağlantıya dair Sosyalist eleştirelliğin pratik geçerliliğini yitirmiş olmasıyla kronolojik ve teorik bir ilişkisi olduğunu söylemek mümkündür.

Ekolojik modernleşme teorisi, çevre sosyolojisi alanında modern toplumların çevresel değişikliklere nasıl tepki verdiğini incelemeyi ve açıklamayı amaçlayan bir sosyal değişim yaklaşımıdır (Mol, 2000: 45). Bu çerçevede, toplumsal ve kurumsal yapıların ekolojik sorunların çözümüne yönelik olarak yeniden yapılandırılmasına odaklanan bir anlayışı yansıtmaktadır (Spaargaren ve Mol, 2009: 68). Teorinin odağında endüstriyel üretimin ve çevre korumanın birbirlerini dışlayan süreçler olmadığı varsayımı bulunmaktadır. Teori, modernleşmenin ve sanayileşmenin getirdiği çevre krizinin ancak mevcut modern toplumların ve kurumların daha fazla modernleştirilmesiyle aşılabileceği önermesinden hareket etmektedir (Spaargaren, 2000: 56). Buna göre, modernleşme ve endüstrileşme, neden oldukları çevresel sorunların çözümlerini yine kendi işleyişleriyle üretme olanağına sahiptirler. Çağımızın ve geleceğin ekolojik sorunları modernleşmeden ve endüstrileşmeden kaynaklandığına göre, bu sorunların çözümleri, yine modernleşme ve endüstrileşme alanlarındaki değişimler sayesinde üretilebilir (Buttel, 2000: 61, 63). Bu haliyle, ekolojik modernleşmenin gerçekleştirilebilirliği, çevreye zararlı unsurların azaltılmasını sağlamaya dönük teknolojik gelişme, hukuksal düzenleme ve insan davranışı unsurlarına dayanmaktadır (Bailey vd., 2011: 682). Böylece, çevreyle uyumlu bir sanayileşmenin imkanı şu koşullara bağlı olmaktadır (Cohen, 1997: 109):

- Çevre sorumluluğu bilincinin kuruluşlarda ve işletmelerde kurumsallaşması,
- Temiz teknolojilerin sanayide kullanımının yaygınlaşması,
- Sanayicilerin, işletme ve üretim planlamalarını, çevresel riskleri gözeterek yapma ve bunlara karşı önlemleri de planlarına dahil etme alışkanlığı kazanmaları,
- İşletmeleri çevresel duyarlılığa uygun davranmaya ve yenileşmeye teşvik eden yasal düzenleme ve devlet uygulamaları.

Sonuçta, ekolojik modernleşme teorisi, liberalizmin özellikle ekonomik ilkelerinin uygulamada ortaya çıkardığı çevresel sonuçlar konusunda kötümser eleştirilere ve yaklaşımlara karşı kuramsal bir yanıt çabası olarak değerlendirilebilmektedir.

2.1. Ekolojik Modernleşmenin Teknolojik Unsuru: Teknolojik Yenileşmenin Çevresel Etkisi

Ekolojik modernleşme teorisyenlerine göre, serbest piyasa ve çevresel iyileşme, kategorik olarak çelişik, karşıt, birinin varlığında diğersinin yokluğu gereken taraflar olmak durumunda değildirler. Çevresel sorun, serbest piyasanın doğasından değil, teknolojinin sunduğu mevcut olanakların sınırlarından kaynaklanmaktadır. Belirleyici olan, teknolojinin geldiği düzey ve sunduğu imkanlardır. Bu yönüyle, ekolojik modernleşme teorisi, çevre sorunlarının çözümünde bilime ve teknolojiye merkezi bir rol atfetmektedir (Gibbs, 2000). Buna göre, üretim süreçlerinde çevresel bakımdan temiz bir teknoloji hem ekonomik hem de politik olarak mümkündür (Fisher ve Freudenburg, 2001: 702). Bir teknolojik buluş olarak buhar makinesinin, tekstil üretimine uygulanışını takiben Endüstri Devrimi'nde oynadığı role benzer biçimde, serbest piyasa, çevresel açıdan iyileştirici yenilikçi teknolojik gelişmeleri de içselleştirebilir ve güneş panelleri, rüzgar tribünleri örneklerinde olduğu gibi bir girişim ve yatırım aracı olarak etkinleştirebilir. Böylece, çevreci teknolojik yenilikler, bir yandan çevresel koşulların iyileşmesinde fiziksel etkiler üretirken aynı anda yeni girişim ve yatırım araçları ile istihdam alanları oluşturarak refahın artışına da katkı sunabilir. Nitekim enerji üretiminde yenilenebilir

kaynakların kullanımını sağlayan araçlar, ekolojik modernleşme düşüncesinin yaşama uygulanması olarak değerlendirilebilmektedir. Bu araçların kullanımı, fosil yakıt kullanımını azaltacağı ve böylece karbon emisyonunu düşüreceği için çevresel soruna belirleyici düzeyde bir çözüm sağlamaktadır. Buradan hareketle, ekolojik modernleşme teorisinin çevre sorunlarının azaltılmasına yönelik temel yaklaşımının, çevre sorununun kaynağı olarak üretimi hedefe koyan toptancı yaklaşımlar yerine üretim birimi başına bozulma miktarının düşürülmesi ve böylece üretimin çevre açısından da verimliliğinin sağlanması olduğu söylenebilmektedir (Kurucu, 2015: 1, 31-32).

2.2. Ekolojik Modernleşmenin Ekonomik Unsuru: Ekonomik Faaliyetlerin Çevresel Etkisi

Ekolojik modernleşmenin ekonomik unsuru, en basit biçimde üretim süreçleri başta olmak üzere, ekonomik faaliyetlerin çevresel korumaya uygun biçimde yürütülmesini tanımlamaktadır. Nitekim, ekolojik modernleşme teorisinin temel amacı, rekabet baskısıyla güdülenen modernleşme dürtüsünün çevreye duyarlı bir teknolojiye duyulan ihtiyaçla ilişkilendirilmesidir (Jänicke, 2000: 1). Buna göre, sanayi sektöründe çevresel bir verimlilik anlayışının oluşturulabilmesi için üç temel yöntem önerilebilir (Şahin, 2022: 254):

- Fosil yakıt gibi kirletici materyaller yerine yenilenebilir enerji kaynağı alternatiflerinin kullanımı
- Atık oluşturma düzeyinin düşürülmesi ve geri dönüşüm düzeyinin artırılması ve
- Hammadde-enerji yoğun faaliyetlerden, çevresel bozulma etkisi daha az olan bilgi ve hizmet yoğun alanlara doğru yeni üretim modellerine ve ürünlere yönelim. Çünkü, ekolojik modernleşmenin gerçekleştirilebilirliği, makroekonomik önlemlerin sektörel alanda etkili olabilmesine bağlı olmaktadır.

Bu çerçevede, sanayileşmenin mevcut durumunda işletmelerde çevresel yönetim birimlerinin oluşturulmasının, işletmelerin ve faaliyetlerinin çevreyle uyumlulaştırılmasını gözeten vergilendirmelerin ve özellikle sigortacılık sektöründe, çevresel varlıkların korunmasına yönelik uygulamaların artırılması gibi yeniliklerin, özellikle sanayi alanında üretimin ekolojik dönüşümünün sağlanmasında teşvik edici etkiler üretmesi beklenebilir (Mol, 2010: 63-68).

2.3. Ekolojik Modernleşmenin Politik ve Hukuksal Unsuru: Kamu Politikalarının ve Uygulamalarının Çevresel Etkisi

Ekolojik modernleşme literatürünün, serbest piyasa ve sanayileşme süreçleri ile çevresel korunmayı uzlaşabilir ve birlikte yürütülebilir etkinlikler olarak tanımlamak üzere önerdiği “sürdürülebilir kalkınma” formülü, günümüzde liberal ülkelerin karar vericileri ve politika yürütücüleri tarafından benimsenmiş ve bir kuramsal önermeyi ifade eden anlamının ötesinde evrensel bir ekonomi politikasını ifade eden bir terim olmuştur. Nitekim “sürdürülebilir kalkınma” terimi, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından 1987’deki kullanımının ardından gelişmiş sanayi ülkelerinin ekonomik ve çevresel politikalarının yol haritası haline gelmiştir (Sezgin, 2012: 220). Serbest piyasa ekonomisinin çevresel etkenleri gözeterek sürdürülebileceğini savunan ekolojik modernleşme teorisine göre, “yeşil” bir gelecek ancak iş dünyası üstünde çevre sorunlarının dikkate alınmasını sağlayacak bir baskı uygulanarak mümkün olabilmektedir (Mol, 1997: 145). Bu bağlamda, karar verici ve ekolojik modernleşme yazınının çevresel açıdan sürdürülebilir bir sanayileşme için karar verici ve yürütücü aktörlerin rollerine dair öngörülerini temel olarak şu biçimde sıralanabilmektedir (Gouldson ve Murphy, 1996: 14):

- Kamu otoritesi çevre koruma ve ekonomi faaliyetlerinin birbirlerine ket vurmaktan ilerleyebilen süreçler olması için gereken düzenleyici müdahalelerde bulunmalıdır.
- Diğer politika alanlarının hedefleri, çevre politikası hedefleriyle bütünleştirilmelidir.
- Çevresel korunma için üretimde ve politikada alternatif ve yenilikçi önlemler araştırılmalıdır.
- Temiz teknolojinin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması desteklenmelidir.

Bu temel önermeleri ışığında, ekolojik modernleşme teorisinin çevresel iyileşmenin sağlanabilirliği konusunda belirleyici görevi ve sorumluluğu piyasa aktörlerinden çok kamu otoritesine yüklediğini söylemek mümkündür. Buna göre, piyasa aktörlerinin ve genel olarak toplumun, fosil yakıtlar gibi geleneksel kirletici etkenlerden kaçınma ile temiz enerji ve teknoloji kullanımı başta olmak üzere, ekolojik modernleşme teorisinin önerdiği çevresel davranışa yöneliminin kamu otoritesinin bu konuda sağlayacağı sevk edici düzenleme ve politikalarla mümkün olduğu varsayılmaktadır.

2.4. Ekolojik Modernleşmenin Davranışsal Unsuru: Ekolojik Bilinç ve Davranış Biçiminin Çevresel Etkisi

Ekolojik modernleşme teorisi, modernleşmenin ve sanayileşmenin çevre açısından riskler ürettiğinin kabulüyle birlikte teknolojik yeniliklerin, bu alanlarda iyileştirici dönüşümler sağlayacağı varsayımına ve dolayısıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve temiz teknolojilerin kullanımı açısından insanların modern toplumun sürdürülebilirliğinin çevre koruma bilincine ve davranışına sahip olmaları gerektiği önerisine dayanmaktadır (Bakır ve Bahtiyar, 2013: 1365).

2.5. Ekolojik Modernleşmenin Mekansal Unsuru: Kentleşme Düzeyinin Çevresel Etkisi

Ekolojik modernleşme teorisyenleri, özellikle Marksist ve ekolojist metinlerde olduğu gibi kentleşme düzeyi ile çevresel yıkım arasında doğrusal bağıntı olduğuna dair eleştirel yaklaşıma kategorik olarak katılmamaktadırlar. Buna göre, kentleşmenin çevre üzerindeki etkileri farklı kentsel gelişim düzeylerine göre değişkenlik göstermektedir. Ekonomik büyümenin öncelikli gündemi oluşturduğu toplumlarda kentleşme düzeyi, çevresel kaygılarla başlı başına ilişkilendirilerek çözülmesi gereken bir sorun olarak algılanmasa da ekonomik, eğitsel ve özellikle teknolojik bakımlardan belirli bir gelişmişlik düzeyine ilerlemiş toplumlarda öncelikli gündemler sıralamasında giderek yukarı yönlü hareket etmektedir. Bu bağlamda, kentleşme düzeyinin toplumların ekonomik, kültürel ve teknolojik gelişmişlik eğrisinde, bir noktaya kadar çevreyi tahrip edici etki gösterirken optimal ekonomik doyuma ulaşılan noktadan itibaren çevre koşullarının düzelme eğilimine gireceği bir yenileşme eğilimi göstereceği varsayılmaktadır (Muhammad vd., 2020). Bu doğrultuda sunulan kuramsal yaklaşımlar kapsamında kentsel çevresel geçişler teorisi diye adlandırılan önermeye göre (Marcotullio, 2018) enerji verimli yapılar, arıtmaya yönelik altyapı sistemleri, elektrikli veya biyo-enerjili araçların kullanımı başta olmak üzere toplu taşımının yaygınlaştırılması kentleşme temelli karbon ayak izinin azaltılmasında önemli iyileşmeler olarak önerilmektedir (Marcotullio ve Lee, 2003). Nitekim Cenova'ya dair bir çalışmada (Scanu, 2015), yerelleşme, merkezi ve yerel yönetimler arasında politika bütünlüğü, akıllı kente yönelik yasal düzenlemeler ve teknolojik ve kurumsal yenilikler gibi etkenlerin sanayi kentlerine özgü kentleşme süreçlerinde ekolojik modernleşme ölçütlerinin elde edilebileceğinin doğrulandığı ileri sürülmektedir.

3. Ampirik Literatür

Kalkınmanın ilk safhalarında ikinci plana atılan temiz çevre talebi özellikle refah belli bir düzeye eriştikten sonra toplum tarafından daha yüksek sesle dile getirilmektedir. Grossman ve Krueger (1991) refah ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi analiz ettikleri çalışmalarında Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi olarak adlandırılan bağlantıyı açığa çıkarmışlardır. ÇKE hipotezi bir ekonomide gelir arttıkça önce çevresel bozulmanın artacağını ancak belli bir dönüm noktasından sonra gelir artışının çevresel bozulmayı azaltacağını ifade etmektedir. Ters U şeklinde bir yön izleyen bu ilişki ismini Kuznets'in (1955) gelir eşitsizliği ile ekonomik büyüme arasında tespit ettiği ilişkiye benzerliğinden almaktadır (Panayotou, 1993).

Çalışmanın literatür özetlemesinde ilk olarak literatürde sıklıkla çalışılan çevre-büyüme ilişkisi hakkında önceki çalışmaların bulguları irdelenmiştir. Daha sonra çalışmanın modelinde yer alan diğer değişkenleri kullanan çalışmalara geçilmiştir.

Çevre ekonomisi alanında sıkça test edilen hipotezlerden biri olan ÇKE hipotezi literatüründe tek veya çok ülkenin ele alındığı araştırmalarla birlikte model ve metodoloji farkı ortaya koyarak konuyu inceleyen çalışmalar da mevcuttur. Hacmi her geçen gün artan bu literatürdeki çalışmaları tek tek özetlemek yerine ÇKE hipotezinin doğrulanma sıklığı hakkında bilgi vermek daha kapsamlı olmaktadır. Bu konu üzerine yapılan bibliyometrik araştırmalarda hipoteze uygun olarak ters U şeklinde, düz U şeklinde, kübik terimler eklenerek N veya ters N şeklinde, doğrusal olarak artan/azalan veya nötral etkinin doğrulandığı çalışmalar tasnif edilmektedir.

İçerik analizinin yapıldığı yakın zamanlı çalışmalardan birinde Lau vd. (2023), ÇKE hipotezi üzerine yaptıkları betimleyici analizde 3918 çalışmayı ele almışlardır. Çalışmanın 23 Temmuz 2021 tarihine kadar yapılmış yayınları incelemiş olması ve makale sayısında son yıllardaki yukarı yönlü parabolik eğilim konu üzerine yapılan çalışmaların sayısının hızla arttığı fikrini vermektedir. ÇKE araştırmalarının yapıldığı ülke sıralaması Çin, ABD, Türkiye, Pakistan ve Avustralya şeklinde sıralanmaktadır. Bu sonucun bu ülkelerin hem dünya ekonomisindeki rolleri hem de yüksek karbon emisyonlarından sorumlu olmalarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Benzer bir çalışma Sarkodie ve Strezov (2019) tarafından yapılmış ve ilk beş ülke arasında Pakistan'ın yerine İngiltere'nin olduğu raporlanmıştır. Her iki çalışmada da en sık kullanılan anahtar kelimelerin ÇKE, Çin, CO2 emisyonu, enerji tüketimi, ekonomik büyüme olduğu tespit edilmiştir.

Bir başka bibliyometrik çalışmada Naveed vd. (2022), doğrulanmış 1654 çalışma içindeki etkili 100 çalışma arasından 94 ampirik çalışmayı incelemişlerdir. Çalışmaların %62'sinde ters U, %14'ünde U, %15'inde N, ters N, M ve Q şekilli ilişki doğrulanırken %9'unda ÇKE hipotezi doğrulanmamıştır. Üçte birinde zaman serisi analizi kullanılmış ve bu çalışmaların yarısında ARDL sınır testi yöntemi tercih edilmiştir. Çevresel bozulma göstergelerinde ise çalışmaların büyük çoğunluğunda CO2 emisyonu kullanılırken bu göstergesi sülfür dioksit, ekolojik ayak izi, sera gazı emisyonu gibi göstergeler izlemiştir. Kontrol değişkenlerinde ise nüfus ve ticari açıklık ön plana çıkmaktadır.

1998-2022 döneminde yazılan 200'den fazla makaleyi kritik eden Leal ve Marquez (2022), çalışmaların yarısının çevresel bozulma değişkeni olarak karbon emisyonunu kullandığını, modele en sıklıkta enerji tüketiminin eklendiğini ve bu değişkenin de zamanla farklı enerji türlerine ayrıştırıldığını, yöntem olarak ARDL, FMOLS ve ortak ilişkili etkiler yaklaşımlarının ağır bastığını tespit etmişlerdir. Yazarlar, ÇKE'nin ilk aşamalarındaki hasarın onarılamaz seviyede olabileceğinden dolayı teknolojik ilerleme, enerji geçişi ve iklim finansmanının göz önünde bulundurulması gerektiğini ileri sürmektedirler.

Shahbaz ve Sinha (2019), yaptıkları literatür taramasından elde edilen sonuçlarda konu ile ilgili çalışmalarda genel olarak ters U şekilli bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca modellemelerde ticari açıklık, fosil yakıt enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji tüketimi ön plana çıkmaktadır. Yazarlar, daha çok az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde rastlanan ÇKE hipotezinin geçersizliğini çevresel talebin gelir esnekliğinin ve çevresel farkındalığın düşük olmasıyla açıklamaktadırlar. Geçiş, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde ise ÇKE hipotezinin geçerliliği çevre kalitesi talebinin gelir esnekliğinin yüksek ve artmakta olması ve çevre bilinci düzeyinin yüksek olmasıyla ilgili olmaktadır. Panayotou (1993), mülkiyet haklarının tanımlanması, çevresel dışsallıkların içselleştirildiği ve çevreye zarar veren enerji yoğun endüstrilere sağlanan sübvansiyonların kaldırıldığı durumda ÇKE eğrisinin dikliğinin azalacağını belirtmektedir.

Çevresel bozulmanın belirleyicilerini tespit etmeyi amaçlayan araştırmacılar büyüme haricindeki değişkenlere de yoğun ilgi göstermişlerdir. Bu çalışmada odaklanılan sanayileşme, kentleşme ve yenilenebilir enerji de yine literatürde sıkça araştırma modeline dahil edilmiş değişkenlerdir. Bu değişkenlerin etkilerinin araştırıldığı literatür her geçen gün genişlemektedir. Bu konuda daha çok mevcut çalışmanın modeliyle de uyumlu olan seçilmiş literatürün özeti aşağıda verilmiştir.

İlk olarak York vd. (2003), 146 ülkeyi inceledikleri çalışmalarında modernleşmenin göstergesi olan kentleşmenin ve sanayi sektörünün hem karbon emisyonlarını hem de enerji ayak izini monoton bir şekilde arttırdığını tespit etmişlerdir. Farhani ve Ozturk (2015), 1971-2012 dönemi için Tunus'u inceledikleri çalışmada büyümenin karbon emisyonunu artırıcı etkisinin monoton olduğunu yani ÇKE hipotezinin doğrulanmadığını ve kentleşmenin çevre kirlenici etkisini raporlamışlardır. 10 Güneydoğu Asya ülkesinin 1988-2011 dönemini inceleyen Brahmasrene ve Lee (2016), uzun dönemde karbon emisyonlarını sanayileşme ve kentleşmenin artırıp turizmin azalttığını, ayrıca büyüme ve küreselleşmenin emisyonlara etkisinin anlamsız olduğunu bulmuşlardır. Liu ve Bae (2018), Çin'in 1970-2015 dönemini ele almış ve büyüme, sanayileşme, kentleşme, yenilenebilir enerji ve karbon emisyonu bağlantılarını araştırmışlardır. Büyüme, sanayileşme ve kentleşmenin çevresel bozulmayı arttırdığını ve temiz enerjilerin azalttığını bildirdikleri çalışmada büyümeyi teşvik etmesi nedeniyle kentsel yoğunluktaki artışın daha sürdürülebilir bir kimliğe kavuşturulması ve bunun yanında sanayi yapısının çevre için optimize edilmesi gerektiğini ileri sürmektedirler.

McGee ve York (2018), 1960-2010 yılları arasında düşük veya orta gelirli 102 ülkeyi inceledikleri çalışmada veri setini farklı ülke grubu ve dönemlere ayırıp çeşitli yöntemlerle analiz etmişlerdir. Yazarlara göre kentleşmedeki azalma emisyonları, kentleşmenin emisyonları artırmasından çok daha büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu durumu birçok en az gelişmiş ülkede fosil yakıtı dayalı altyapı eksikliği nedeniyle, kırsaldan kente göçün bu ülkelerde gelişmiş ülkelere kıyasla farklı işlemeden kaynaklanabileceğiyle açıklamışlardır. Farooq vd. (2019), Hindistan'da 1975-2018 döneminde karbon emisyonları üzerinde sanayileşme, kentleşme ve enerji tüketiminin rolünü incelemişlerdir. Sanayileşmenin emisyon azaltıcı etkisinin anlamsız bulunduğu çalışmada enerji tüketimi ve kentleşmenin karbon emisyonlarını arttırdığı tespit edilmiştir. Majeed ve Tauqir (2020), 1990-2014 döneminde 156 ülke için toplu ve gelir gruplarına göre ayrıştırarak büyüme, kentleşme, sanayileşme, finansal gelişme ve enerji tüketiminin karbon emisyonlarına etkisini değerlendirmişlerdir. Kentleşme ve sanayileşmenin tüm gruplarda karbon emisyonunu arttırdığı ve ÇKE hipotezinin geçerli olduğu çalışmada ekolojik modernleşme teorisi doğrulanmamıştır.

İl düzeyinde bir çalışma yürüten Hao vd. (2020), Çin'in 29 ilindeki endüstriyel kirliliği, büyüme, dış ticaret, beşeri sermaye, kentleşme ve enerji yoğunluğu bağlamında incelemişlerdir. Eğitimin çevre koyucu etkisine karşılık diğer değişkenlerin çevre kirlenici olduğunu tespit ettikleri çalışmada ikincil sanayi oranı artışının

kentleşmenin kirletici etkisini arttırdığı fakat üçüncül sanayilerin artışının bu etkiyi azalttığını öne çıkarmışlardır. Pakistan'ı inceleyen Shah vd. (2020), 1980-2017 dönemi için kentleşme, büyüme, ithalat, ihracat, finansal gelişme, enerji yoğunluğu ve karbon emisyonu bağlantılarını değerlendirmişlerdir. Üç farklı modelin test edildiği çalışma, büyümenin etkisinin pozitif ve U şekilli, kentleşmenin karesel terim eklendiğinde de çevre kirletici, hem ithalat hem de ihracatın çevre kirletici ve finansal gelişmenin çevre koruyucu olduğunu göstermiştir. Abbasi vd. (2020), 1992-2017 döneminde 8 Asya ülkesinde kentleşme, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve çevresel bozulma ilişkilerini araştırmışlardır. Ampirik bulgular, tüm değişkenlerin emisyon artırıcı etkisi olduğunu göstermiştir.

Bir başka coğrafyayı ele alan Adebayo vd. (2021), 18 Latin Amerika ülkesinin 1980-2017 döneminde büyüme, kentleşme ve enerji tüketiminin çevresel bozulmayı arttırdığını tespit etmiş ve bu yüzden kentlere akışla birlikte artan enerji talebinin çevre üzerindeki olumsuz etkisinin kontrol edilmesi için yenilenebilir enerji farkındalığının artırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Musah vd. (2021), 16 Batı Afrika ülkesinde ekonomik büyüme, kentleşme, yenilenebilir enerji ve karbon emisyonu ilişkilerini incelemişlerdir. İki farklı gelir grubunda da paralel sonuçların elde edildiği çalışmada kentleşme ve büyümenin çevresel bozulmayı artırıcı etkisine karşılık yenilenebilir enerjilerin azaltıcı rolüne vurgu yapılmıştır. Çevresel bozulmayı orman ayak izindeki artışı göz önüne alarak inceleyen Yilanci vd. (2022), Çin'in 1961-2017 dönemini ele almış ve ekonomik büyümenin orman ayak izini arttırdığı buna karşılık kentleşmenin ve beşeri sermayenin daha çevreci etkiler yarattığını bildirmişlerdir. BRICS ülkeleri özelinde yapılan bir çalışmada Voumik ve Sultana (2022), 1972-2021 dönemini ele almışlardır. Çalışmada, sanayileşme, kentleşme, büyüme ve elektrik tüketiminin çevresel bozulmayı teşvik ettiği, yenilenebilir enerji kullanımının ise çevresel bozulmayı azalttığı tespit edilmiştir. Kantil regresyon yaklaşımını kullanan Latief vd. (2022), Akdeniz Ülkeleri Birliği'ndeki ülkeleri gelir gruplarına göre ayırarak 2001-2016 dönemini incelemişlerdir. Alt-orta ve yüksek-orta gelirli ülkelerde ekolojik modernleşme teorisine uygun olarak kentleşme ile çevresel bozulma arasında ters U şekilli bir ilişki bulunmuşken üst-orta grup ülkelerde ise düz U şekilli bir ilişki doğrulanmıştır. Ayrıca tüm ülke gruplarında ÇKE hipotezinin geçerli olduğu belirtilmiştir.

Çevre değişkeni olarak biyokapasiteyi kullanan Ahmed vd. (2022), Brezilya'nın 1961-2016 dönemini ele almışlardır. Kentleşmenin ve beşeri sermayenin biyokapasiteyi azalttığını, büyümenin ise biyokapasiteyi önce azaltıp sonra arttırdığını tespit etmişlerdir. Kahouli vd. (2022), büyüme, kentleşme, sanayileşme, ticaret, enerji tüketimi ve karbon emisyonu etkileşimlerini Suudi Arabistan'ın 1971-2019 döneminde ARDL yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma bulguları, kısa dönemde enerji tüketimi, sanayileşme ve kentleşmenin uzun dönemde ise tüm değişkenlerin çevre kirliliğine neden olduğunu ortaya koymuştur. Tek ülkeli bir çalışma yürüten Ehigiamusoe vd. (2023), 1970-2019 döneminde Malezya'da sanayileşme, bilgi ve iletişim teknolojileri ve küreselleşmenin çevresel bozulmayla nedensel bağlantılarını araştırmışlardır. Çalışmada sanayileşme, küreselleşme ve bilgi-iletişim teknolojilerinin hem kısa hem de uzun dönemde karbon emisyonlarını arttırdığı, ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerinin ise zayıf olduğu raporlanmıştır. 10 Batı Afrika ülkesini ele alan Prempeh (2024), 1990-2019 döneminde büyüme, küreselleşme, sanayileşme, yenilenebilir enerji, finansal gelişmenin çevresel bozulmaya etkisini incelemiştir. N şekilli Kuznets eğrisinin doğrulandığı çalışmada, finansal gelişme ve yenilenebilir enerjinin çevresel bozulmayı azaltıcı etkisine karşılık, küreselleşme ve sanayileşmenin bozulmayı artırıcı etkisine dikkat çekilmiştir.

Vo vd. (2024), Vietnam'ın 1985-2021 döneminde büyüme, kentleşme ve sanayileşmenin karbon emisyonlarına etkisini değerlendirmişlerdir. ARDL tahmin sonuçları, ÇKE hipotezinin aksine düz U şekilli bir ilişkinin geçerli olduğunu, kentleşmenin kısa dönemdeki kirletici etkisinin uzun dönemde ortadan kalktığını ve sanayileşmenin hem kısa hem de uzun dönemde kirletici olduğunu ortaya koymuştur. Son olarak Qian (2024), 1995-2020 döneminde Çin, Hindistan ve Endonezya'da kentleşme, ulaşım altyapısı, sanayileşme ve çevresel bozulma arasındaki ilişkileri incelemiştir. Yazara göre, kentleşme, sanayi yapısı ve ulaşım altyapısı yatırımları uzun dönemde karbon emisyonlarını arttırırken, yenilenebilir enerji kullanımı azaltmaktadır. Ayrıca değişkenler kurumsal kaliteyle etkileşime girdiğinde karbon emisyonlarını azaltıcı etki ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'ye özgü bazı çalışmalarda da genel olarak ÇKE hipotezinin doğrulandığı ve doğrusal etkilerin kirletici yönde olduğu görülmüştür. Türkiye'yi inceleyen Katircioğlu ve Katircioğlu (2017), ARDL sınır testi ve Maki eşbütünleşme testini kullandıkları çalışmalarında ÇKE hipotezinin geçerli olduğu ve enerji tüketimi ve kentleşmenin karbon emisyonlarını arttırdığı sonucuna varmışlardır. Ozatac vd. (2017), büyüme, kentleşme, enerji tüketimi, finansal gelişme ve ticari açıklığın karbon emisyonuna etkisini ARDL yaklaşımıyla araştırmışlardır. ÇKE hipotezinin doğrulandığı çalışmada finansal gelişme haricindeki değişkenlerin çevresel bozulmayı arttırdığı tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada Pata (2018), 1974-2013 döneminde ekonomik büyüme, kentleşme, sanayileşme, finansal gelişme, enerji tüketimi karbon emisyonu ilişkilerini incelemiştir.

ARDL sınır testi sonuçları, hem kısa hem uzun dönemde ÇKE hipotezinin varlığını desteklemiş ve uzun dönemde kentleşme, sanayileşme, finansal gelişme ve enerji tüketiminin karbon emisyonlarını arttırdığını ortaya koymuştur. Yıldız ve Göktürk (2019), 1986-2015 yılları arasında kentleşme, sanayi üretim endeksi ve enerji kullanımının çevreye etkisini araştırmışlardır. ARDL yaklaşımının benimsendiği çalışmanın sonuçları tüm değişkenlerin etkilerinin kirletici olduğunu göstermiştir. Daha geniş bir gözlem aralığının ele alan Altıntaş (2020) ise 1960-2014 döneminde büyüme ve kentleşmenin karbon emisyonlarına etkisini ARDL yöntemiyle analiz ettiği çalışmasında ÇKE hipotezinin doğrulandığını ve kentleşmenin çevre kirletici olduğunu tespit etmiştir. Son olarak Kekül (2024), Türkiye’de 1980-2021 yılları arasında büyüme, kentleşme, enerji tüketimi ve dış ticaret açığının ekolojik ayak izine etkisini değerlendirmiştir. Çalışma bulguları, büyüme ve enerji tüketiminin kısa ve uzun dönemde çevre kirletici olduğunu ve kentleşmenin çevre koruyucu etkisinin anlamsız olduğunu göstermiştir.

Ampirik literatür, genel olarak değerlendirildiğinde büyümenin emisyonları arttırdığı, ancak bu arttırıcı etkinin bir dönüm noktasından sonra tersine dönebileceğine yönelik kanıtların yani ÇKE hipotezinin doğrulandığı çalışmaların daha ağır bastığı söylenebilmektedir. Büyümenin etkisini doğrusal olarak test eden çalışmalarda ise büyümenin kirletici etkisi vurgulanmaktadır. Kentleşmenin çevresel bozulmaya etkisinde ampirik literatür yine kirletici etkiyi ön plana çıkarmaktadır. Yilanci vd. (2022) çevre koruyucu etkiyi öne sürerken, Latief vd. (2022) gelir grubuna göre ülkelerde farklı eğilimlerin ortaya çıkabileceğini savunmuştur. Vo vd. (2024) ise kentleşmenin kirletici etkisinin kısa dönemle sınırlı kalacağını uzun dönemde bu etkinin kalkacağını ileri sürmektedir. Kentleşme gibi sanayileşmenin de etkisinin genel olarak kirletici olduğu yönünde bir görüş hakimdir. Bunun yanında sanayileşmenin etkisinin anlamsız olabileceğine yönelik kanıtlar da bulunmaktadır. Son olarak yenilenebilir enerjilerin etkisinin karbon salmayan kaynaklar olması nedeniyle doğal olarak çevresel bozulmayı azaltıcı olduğu tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genel olarak kentleşme ve sanayileşmenin modellere doğrusal olarak dahil edildiği görülmektedir. Büyümenin yanında kentleşme ve sanayileşmenin etkilerinde de doğrusal olmayan yapıların olabileceği yani değişkenin etkisinin bir dönüm noktasından sonra değişebileceği varsayımı altında mevcut çalışma literatür boşluğunu doldurmayı amaçlamaktadır. Bunun yanında daha kapsamlı bir karbon göstergesi olan karbon yoğunluğunun çevresel bozulma göstergesi olarak kullanılması mevcut çalışmanın katkısını daha değerli kılmaktadır.

4. Veri, Model ve Metodoloji

4.1. Veri ve Model

Bu çalışmanın ampirik modellemesi Grossman ve Krueger’in (1991) ÇKE hipotezi, Ehrlich ve Holdren (1971) ve Holdren ve Ehrlich (1974) tarafından geliştirilen IPAT modeli ve Dietz ve Rosa (1994) tarafından revize edilen STIRPAT modeline dayanmaktadır.

Antropojenik faaliyetlerin etkilerinin ölçüldüğü IPAT modeli $I = P \times A \times T$ şeklinde formülize edilmektedir. Matematiksel gösterim çevresel etkinin nüfus, refah ve teknolojinin çarpımıyla elde edilebileceğini ifade etmektedir. STIRPAT (nüfus, refah ve teknoloji üzerinde regresyonla stokastik etkiler) modeli ise hipotez testine olanak tanıyarak (1) numaralı eşitlik şeklinde gösterilmektedir.

$$I = \alpha P^\beta A^\theta T^\gamma \varepsilon \quad (1)$$

Çevresel etkileri yüzdelik değişimlerle yorumlamak için değişkenlerin logaritması alınarak (2) numaralı eşitlikteki forma dönüştürülmektedir.

$$\ln I = \alpha + \beta \ln P + \theta \ln A + \gamma \ln T + \varepsilon \quad (2)$$

Fonksiyonda α , sabit katsayısı β , θ ve γ ekolojik esneklikleri ve ε ise hata terimini göstermektedir. Waggoner ve Ausubel (2002) ise teknoloji değişkenini enerji yoğunluğu (enerji tüketimi/GSYİH) ve karbon verimliliği (CO2 emisyonu/enerji tüketimi) şeklinde ayrıştırıp ImPACT modelini önermişlerdir.

Bu teorik ve deneysel çerçeve ışığında bu çalışmada büyüme, kentleşme, sanayileşme ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel bozulmaya etkisi zaman serisi yöntemleriyle araştırılmıştır. Veri mevcudiyetinin örneklem döneminin belirlenmesinde temel etken olduğu analizlerde Türkiye’nin 1965-2023 yılları arasındaki yıllık verileri kullanılmıştır. Çevresel bozulma değişkeninin temsilcisi üretimde karbon yoğunluğu, büyüme değişkeninin kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla, kentleşmenin kentleşme oranı, sanayileşmenin inşaat sektörünün de dahil edildiği sanayi sektörünün katma değerinin gayrisafi yurt içi hasılaya oranı ve yenilenebilir enerji tüketiminin ise kişi başına hidroelektrik dahil yenilenebilir enerji tüketimidir. Tüm değişkenler doğal logaritmik formlarıyla modele dahil edilmiştir. Analizlerde karbon yoğunluğu $lco2i$, büyüme $lgdp$, kentleşme

lurb, sanayileşme *lind* ve yenilenebilir enerji tüketimi *lrnw* şeklinde gösterilmektedir. Tablo 1’de kullanılan değişkenlerin birimi ve kaynakları gösterilmiştir.

Tablo 1: Değişkenlere İlişkin Ayrıntılar

Kısaltma	Değişken	Birim	Kaynak
<i>lco2i</i>	Karbon Yoğunluğu	Milyon Ton/\$	The Energy Institute
<i>lgdp</i>	Ekonomik Büyüme	Kişi Başına, Sabit (2015), \$	The Worldbank, WDI
<i>lurb</i>	Kentleşme	(Kentsel Nüfus/Toplam Nüfus)X100	The Worldbank, WDI
<i>lind</i>	Sanayileşme (İnşaat Dahil)	Katma Değer, GSYİH %’si	The Worldbank, WDI
<i>lrnw</i>	Yenilenebilir Enerji Tüketimi	Kişi Başına, MegaJoule	The Energy Institute

Karbon yoğunluğunun bağımlı değişken, büyüme, büyümenin karesi, kentleşme, kentleşmenin karesi, sanayileşme ve sanayileşmenin karesinin açıklayıcı değişkenler ve yenilenebilir enerji tüketiminin kontrol değişkeni olarak yer aldığı modelin ekonometrik gösterimi (3) numaralı eşitlikte yer almaktadır:

$$lco2i_t = \beta_0 + \beta_1lgdp_t + \beta_2lgdp_t^2 + \beta_3lurb_t + \beta_4lurb_t^2 + \beta_5lind_t + \beta_6lind_t^2 + \beta_7lrnw_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

Modelde β_0 , otonom katsayıyı β_1 , β_3 , β_5 , sırasıyla büyüme, kentleşme ve sanayileşmenin katsayılarını β_2 , β_4 ve β_6 sırasıyla büyüme, kentleşme ve sanayileşmenin karelerinin katsayılarını, β_7 yenilenebilir enerji tüketiminin katsayısını ve ε_t ise hata terimini göstermektedir.

β_1 , β_3 , β_5 ve β_7 katsayılarının pozitif olması ise sırasıyla büyüme, kentleşme, sanayileşme ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon yoğunluğunu arttırıcı yani çevre kirletici etkisini ifade etmektedir. Aynı şekilde negatif katsayılar çevre kalitesini arttırıcı etkiyi ima etmektedir. Karesel değişkenlerin modele dahil edilmesi değişkenlerin etkilerinin doğrusal değil de parabolik olabileceğini göstermektedir.

($\beta_1 > 0$ ve $\beta_2 < 0$) ise ÇKE hipotezinin doğrulandığı ters U şekilli bir ilişki anlamına gelmektedir.

($\beta_1 < 0$ ve $\beta_2 > 0$) olduğu durumda değişkenlerin çevresel bozulma üzerinde düz U şekilli bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir. Bu durumda değişkenler önce çevre koruyucu etkide bulunurken dönüm noktasından sonra çevreyi kirletmektedir.

($\beta_1 < 0$ ve $\beta_2 < 0$) durumunda değişkenler çevresel kaliteyi arttırıcı etkide bulunmaktadır.

($\beta_1 > 0$ ve $\beta_2 > 0$) şeklinde bir katsayı tahmini değişkenlerin çevreyi sürekli olarak kirlettiği anlamına gelmektedir.

Aynı ilişkiler kentleşme (β_3 ve β_4) ve sanayileşme (β_5 ve β_6) değişkenleri için de geçerlidir.

İlk iki durumda doğrusal olmayan bir ilişki söz konusu iken, son iki durumda bağımlı değişken doğrusal olarak etkilenmektedir. Dönüm noktası $-(\beta_1 / 2\beta_2)$ formülüyle hesaplanmaktadır. Logaritmik serilerde tespit edilen sonucun anti-logaritması alınarak dönüm noktasının gerçek değeri elde edilmektedir.

Değişkenler arasındaki ilişkiyi test etmeden önce kullanılan ampirik yöntemlerin arka planı hakkında bilgi verilmiştir. Değişkenlerin durağanlıkları ADF, DF-GLS, KPSS ve Zivot-Andrews testleriyle sınanırken uzun dönem ilişkileri ARDL sınır testi yardımıyla araştırılmıştır. Ayrıca bu değişkenler arasındaki nedensel bağlantılar vektör hata düzeltme modeli tabanlı Granger nedensellik testiyle incelenmiştir.

4.2. Metodoloji

4.2.1. Durağanlık Analizi

Ekonometrik araştırmalarda kantitatif verilerin güvenilir ve istikrarlı sonuçlar verebilmesi için durağanlıklarının sınanması gerekmektedir. Yapısal kırılmaya izin veren, vermeyen, doğrusal ya da doğrusal olmayan pek çok birim kök sınaması bulunmaktadır. Dickey ve Fuller (1979) tarafından geliştirilen arttırılmış Dickey-Fuller (ADF) sınaması bu anlamda kullanılan temel birim kök testlerinden biridir. Yüksek mertebeden otoregresif süreçlerin varlığı durumunda tercih edilmektedir.

Klasik metotlardan bir diğeri ise trendden arındırılmış serilere uygulanan DF-GLS sınamasıdır. Elliott vd.’nin (1996) geliştirdiği test örneklem boyutunun küçük tutulduğu araştırmalarda iyi ve sağlam sonuçlar vererek testin gücünü göstermektedir (Elliott vd., 1996: 830). Sınama Elliott vd. (1996) çalışmasındaki kritik değerleri dikkate almaktadır.

Durağanlığı tespit etmek amacıyla kullanılan ancak klasik yöntemlere göre ters hipotezi savunan KPSS durağanlık sınavasını Kwiatkowski vd. (1992) geliştirmiştir. Yöntem gözlemlenebilen serilerin deterministik trendle birlikte durağan olduğunu varsaymaktadır. Tek kuyruklu LM (Lagrange Multiplier) sınavasını kullanan test, seriyi deterministik trende, rassal yürüyüşe ve birim kök içermeyen bir hatanın toplamına ayırmaktadır (Kwiatkowski vd., 1992: 159). Sınama Kwiatkowski vd. (1992) çalışmasındaki kritik değerleri dikkate almaktadır.

ADF, DF-GLS ve KPSS gibi sınamalar temel birim kök testleri olmasına rağmen zaman serilerinde meydana gelen politika değişimleri, krizler ya da doğal afetler gibi yapısal kırılmaları (düzey değişimleri) içermemektedir. Düzey değişimlerinin dikkate alınmaması birim kök içermeyen serileri birim köklü gibi gösterebilmekte ve buna bağlı olarak da güvenilir olmayan yanlış (sapmalı) sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu bağlamda geliştirilen, yapısal değişimi içsel olarak belirleyen ve tek kırılmaya izin veren sınamalardan biri Zivot-Andrews (1992) birim kök testidir. Testte ortalamadaki kırılmayı DU ile; eğimdeki kırılmayı ise DT ile temsil eden kukla değişkenler bulunmaktadır. Kırılma noktasının belirlenebilmesi için olası tüm kırılma tarihleri dikkate alınmaktadır. Modelde yer alan α katsayısını minimum yapan t istatistiği kırılma tarihi olarak kabul edilmektedir (Glynn vd., 2007: 68). Testin en geniş modeli (4) numaralı denklemle ifade edilmektedir (Zivot ve Andrews, 1992: 254).

$$y_t = \mu + \beta t + \alpha y_{t-1} + \theta_1 DU(\lambda) + \theta_2 DT(\lambda) + \sum_{i=1}^k c_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (4)$$

4.2.2. ARDL Sınır Testi

Durağan olmayan seriler arasındaki uzun dönem denge ilişkisini tespit etmek için genellikle kökleşik sınamalar kullanılsa da aynı mertebeden durağanlık göstermeyen serilerin varlığı durumunda bu testler yeterli olmamaktadır. Bu bağlamda Gecikmesi Dağıtılmış Ototegresif Sınır Testi (ARDL) Pesaran ve Pesaran (1997) ile Pesaran vd. (2001) tarafından literatüre kazandırılmıştır. İkinci mertebeye $I(2)$ hariç farklı seviyede $I(0)$ ve/veya $I(1)$ durağanlık gösteren seriler için kullanılabilir. Kısıtsız hata düzeltme modeli kullanan test otokorelasyon ve endojenite problemlerine karşı tutarlı sonuçlar vermektedir (Pesaran ve Shin, 1999). F test istatistiğini kullanan sınama eşbütünleşmenin geçerliliğini test etmek için bir alt ve üst sınır kullanmaktadır. Bu çalışmada Δ fark işlemcisi ve m gecikme sayısı olmak üzere sınavanın modeli (5) numaralı denklem şeklindedir.

$$\begin{aligned} \Delta lco2i = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} \Delta lco2i_{t-i} + \sum_{i=0}^m \alpha_{2i} \Delta l gdp_{t-i} + \sum_{i=0}^m \alpha_{3i} \Delta l gdp_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^m \alpha_{4i} \Delta lurb_{t-i} + \\ & \sum_{i=0}^m \alpha_{5i} \Delta lurb_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^m \alpha_{6i} \Delta lind_{t-i} + \sum_{i=0}^m \alpha_{7i} \Delta lind_{t-i}^2 + \sum_{i=0}^m \alpha_{8i} \Delta lrnw_{t-i} + \delta_1 lco2i_{t-1} + \\ & \delta_2 l gdp_{t-1} + \delta_3 l gdp_{t-1}^2 + \delta_4 lurb_{t-1} + \delta_5 lurb_{t-1}^2 + \delta_6 lind_{t-1} + \delta_7 lind_{t-1}^2 + \delta_8 lrnw_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (5)$$

4.2.3. VECM Tabanlı Granger Nedensellik Testi

Ekonomik değişkenler arasında etkileyen ve etkilenen değişken ayrımı iktisat teorisine göre yapılmaktayken birbirlerine karşı düzenli bir etkide bulunup bulunmadıkları nedensellik testleri ile belirlemektedir. Nedenselliğin varlığı ile değişkenler arasındaki ilişkinin yönü de tespit edilmiş olmaktadır. Birinci mertebeden durağan seriler eşbütünleşik ise aralarındaki nedensellik ilişkisinin belirlenebilmesi için klasik yöntemlerden biri olan ve Granger (1988) tarafından geliştirilen vektör hata düzeltme modeli tabanlı (VECM) Granger nedensellik testi uygulanabilmektedir. Modelin geçerliliği için denklemde yer alan hata düzeltme teriminin hem istatistiksel olarak anlamlı çıkması hem de katsayı işaretinin negatif saptanmış olması gerekmektedir. Gecikme uzunluğu konusunda hassas olan sınama uzun ve kısa dönem nedensellikleri verebilmektedir. Testin genel modeli, (6) ve (7) numaralı denklemlerle ifade edilmektedir.

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{k-1} \alpha_{1i} \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^{k-1} \alpha_{2i} \Delta x_{t-i} + \delta_1 ECT_{t-1} + z_{1t} \quad (6)$$

$$\Delta x_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_{1i} \Delta x_{t-i} + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_{2i} \Delta y_{t-i} + \delta_2 ECT_{t-1} + z_{2t} \quad (7)$$

5. Analiz Bulguları

Analizde kullanılan değişkenlerin durağan olup olmadıkları ilk olarak ADF ve DF-GLS birim kök testi ve KPSS durağanlık testiyle araştırılmıştır. Tablo 2'deki ADF testi sonuçları tüm değişkenlerin seviye değerlerinin birim kök barındırdığını, birinci farkları alındığında ise $lurb$ ve $lurb^2$ değişkenlerinin yine birim köklü olduğunu diğer değişkenlerin ise %1 anlamlılık düzeyinde durağan olduğunu göstermiştir. DF-GLS birim kök testi bulguları da ADF birim kök testi sonuçlarıyla paralellik gösterirken farklı olarak $lurb$ ve $lurb^2$ değişkenlerinin birinci farkında %10 anlamlılık düzeyinde durağan olduğunu ima etmektedir.

KPSS durağanlık testi sonuçlarına bakıldığında, $lco2i$, $l gdp$, $l gdp^2$, $lurb$ ve $lurb^2$ değişkenleri için seviyelerinde durağan olmadıkları ancak birinci farklarında durağan oldukları görülmektedir. $lind$, $lind^2$ ve $lrnw$

değişkenlerinin seviye değerleri için hesaplanan test istatistiği %1 kritik değerinden küçük olduğu için seviyelerinde durağan oldukları söylenebilmektedir.

ADF, DF-GLS ve KPSS testleri genel olarak değerlendirildiğinde tüm testler *lco2i*, *lgdp* ve *lgdp*² değişkenlerinin birinci farklarında durağan olduğunu yani I(1) sürecine tabi olduğunu, *lurb* ve *lurb*² değişkenlerinin ADF testine göre I(2); DF-GLS ve KPSS testlerine göre I(1) sürecine tabi olduğunu, son olarak *lind*, *lind*² ve *lrnw* değişkenleri için KPSS testi I(0) sürecine ADF ve DF-GLS testleri ise I(1) sürecine tabi olduğunu ima etmektedir. DF-GLS ve KPSS testi ADF testine göre daha üstün oldukları için bu testlerin sonuçlarına güvenerek değişkenler arasında ikinci farkında durağan seri olmadığı sonucuna varılabilir. Yine de şüpheleri gidermek için yapısal kırılmaların olması durumunda durağanlığın değişip değişmediğinin incelenmesi daha faydalı olacaktır.

Tablo 2: ADF, DF-GLS ve KPSS Testi Sonuçları

Değişken	ADF		DF-GLS		KPSS	
	I0	I1	I0	I1	I0	I1
<i>lco2i</i>	-0.640	-9.834	-0.431	-9.897	0.272	0.041
<i>lgdp</i>	-1.589	-7.598	-1.774	-7.216	0.224	0.065
<i>lgdp</i> ²	-1.217	-7.567	-1.417	-7.256	0.238	0.081
<i>lurb</i>	-0.981	-3.134	-1.130	-2.960	0.230	0.075
<i>lurb</i> ²	-1.008	-3.064	-1.220	-2.867	0.225	0.082
<i>lind</i>	-2.428	-7.551	-1.627	-7.398	0.169	0.088
<i>lind</i> ²	-2.344	-7.501	-1.649	-7.352	0.166	0.084
<i>lrnw</i>	-2.816	-8.579	-2.691	-8.730	0.177	0.078
%1	-4.127		-3.740		0.216	
%5	-3.491		-3.164		0.146	
%10	-3.174		-2.866		0.119	

Analizlerde kullanılan değişkenlerde ele alınan dönem içinde meydana gelmiş olan yapısal değişimler durağanlığı veya durağandırlığı etkileyebilmektedir. Bu itibarla değişkenlerin durağanlığı son olarak Zivot-Andrews tek yapısal kırılmalı birim kök testiyle sınanmıştır. Tablo 3'teki sonuçlara göre *lurb* ve *lurb*² değişkenleri seviye değerlerinde yapısal kırılmayla birlikte durağandır. Diğer değişkenler ise fark durağan bir süreç izlemektedir. Kırılma yılları dikkate alındığında 1999 yılı göze çarpmaktadır. Hem gayrisafi yurt içi hasılda hem de sanayi sektörü katma değerindeki kırılma 1999 depremiyle ilintilidir. Yenilenebilir enerji tüketiminde 1975 yılında yaşanan kırılmanın nedeninin hemen öncesinde yaşanan 1973 petrol krizi olması muhtemeldir. Tüm dünyada olduğu gibi enerji arz güvenliği yaşayan ve alternatif enerji arayışına giren Türkiye'nin özellikle hidroelektrik santral yatırımlarını arttırdığı ve biyokütle kullanımına yöneldiği dönem bu değişkende bir kırılma yaşattır. Kentleşme oranında 1981 yılında yaşanan kırılma 24 Ocak kararları sonrası liberalleşme adımlarıyla büyük şehirlerde sanayi üretiminin artması ve tarımda makineleşmeyle köyden kente yoğun bir şekilde göç dalgasından kaynaklanmaktadır. Son olarak karbon yoğunluğunda yaşanan 2010 yılındaki kırılmanın nedenleri arasında yenilenebilir enerji yatırımlarının teşvik edilmesiyle temiz enerjilerin birincil enerjiler içindeki oranının artması ve 2008 krizinden sonra enerji verimliliğine önem verilmesi sayılabilmektedir.

Durağanlık analizi genel olarak değerlendirildiğinde değişkenlerin seviyesinde veya birinci farkında durağan oldukları yani I(2) sürecine tabi olan bir değişken olmadığı ifade edilebilmektedir. Bu durumda değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkileri ARDL sınır testiyle araştırılabilmektedir.

Tablo 3: Zivot-Andrews Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	I0		I1	
	t-İst.	Kırılma Yılı	t-İst.	Kırılma Yılı
<i>lco2i</i>	-2.136	2010	-10.072***	2006
<i>lgdp</i>	-4.550	1999	-7.764***	1977
<i>lgdp²</i>	-4.538	1999	-7.725***	2003
<i>lurb</i>	-14.441***	1981	-4.368	1991
<i>lurb²</i>	-13.617***	1981	-4.470	1981
<i>lind</i>	-4.570	1999	-7.315***	1990
<i>lind²</i>	-4.579	1999	-7.353***	1990
<i>lrnw</i>	-4.795	1975	-8.876***	1977
%1			-5.57	
%5			-5.08	
%10			-4.82	

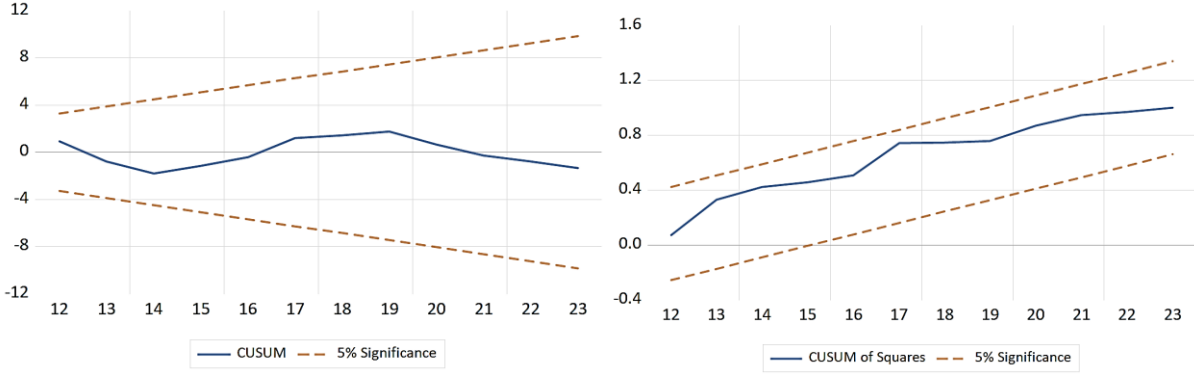
Not: ***, %1 seviyesinde anlamlılığı simgelemektedir.

Tablo 4'te ARDL sınır testi sonuçları sunulmuştur. Yapısal kırılmalı test sonucunda tespit edilen 2010 yılı modele kukla değişken olarak eklenmiştir. Panel A'daki sonuçlara göre hesaplanan F test istatistiğinin değeri %1 üst kritik değerinden büyük olduğu için değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olduğu sonucuna varılmaktadır. Panel B'de uzun dönemde bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki esneklikler yer almaktadır. Katsayılara göre büyüme karbon yoğunluğunu arttırmaktadır. Ancak karesel terimin negatif olması bu etkinin tersine döneceğini ifade etmektedir. Bu bulgu Türkiye'de ÇKE hipotezini doğrulamaktadır. Kentleşmenin etkisinde de aynı durum söz konusu olmaktadır. Kentleşmenin arttığı ilk dönemlerde çevre kirliliğinde artış yaşanırken daha sonra bu etki çevre koruyucu olmaktadır. Ters U şekilli ilişki ekolojik modernleşme teorisiyle uyumludur. Sanayileşmede ise tespit edilen U şekilli ilişki istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Son olarak yenilenebilir enerji tüketiminde artış olması yani temiz enerji kaynaklarının enerji dengesinde daha büyük miktarlarda yer bulması karbon yoğunluğunu azaltıcı etki yaratmaktadır.

Kısa dönem dinamiklerinin verildiği Panel C'de hata düzeltme parametresi negatif ve anlamlı olarak tespit edilmiştir. Uzun dönemde meydana gelen dengesizliklerin yaklaşık %80'i takip eden yılda düzeliş uzun dönem dengesine yakınsamaktadır. Son olarak Panel D diagnostik test sonuçlarını göstermektedir. Test sonuçları hata terimlerinin normal dağıldığını (Jarque-Bera), otokorelasyon bulunmadığını (Breusch-Godfrey), sabit varyanslı olduğu (Breusch-Pagan-Godfrey) ve model spesifikasyon probleminin (Ramsey) olmadığını ima etmektedir. ARDL modelinin katsayı istikrarı CUSUM ve CUSUMQ testleriyle analiz edilmiştir. Şekil 2'de yer alan eğriler anlamlılık aralığında seyrettiği için uzun dönem katsayılarının istikrarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4: ARDL (1,0,3,0,0,3,1,1) Sonuçları

Panel A: Sınır Testi				
	Kritik Değerler	0.10	0.05	0.01
F = 5.3892***	I(0)	2.551	2.956	3.870
k=7	I(1)	3.716	4.230	5.338
Panel B: Uzun Dönem Katsayıları				
Değişken	Katsayı	St. Hata	t-İst.	Olasılık
<i>lgdp</i>	9.7077	1.6142	6.0138	0.0000
<i>lgdp</i> ²	-0.5342	0.0954	-5.6023	0.0000
<i>lurb</i>	9.6765	3.9130	2.4729	0.0168
<i>lurb</i> ²	-1.2532	0.5006	-2.5032	0.0156
<i>lind</i>	-2.4894	4.4846	-0.5551	0.5813
<i>lind</i> ²	0.4024	0.6842	0.5881	0.5591
<i>lrnw</i>	-0.0787	0.0312	-2.5267	0.0147
Panel C: Kısa Dönem Dinamikleri				
Değişken	Katsayı	St. Hata	t-İst.	Olasılık
<i>ect(-1)</i>	-0.7974	0.1118	-7.1310	0.0000
Δ <i>lgdp</i> ²	-0.4380	0.0612	-7.1571	0.0000
Δ <i>gdp</i> ² (-1)	-0.0210	0.0055	-3.8163	0.0004
Δ <i>lgdp</i> ² (-2)	-0.0153	0.0057	-2.6898	0.0099
Δ <i>lind</i>	-7.3287	2.0620	-3.5541	0.0009
Δ <i>lind</i> (-1)	0.0862	0.0704	1.2258	0.2265
Δ <i>lind</i> (-2)	-0.1174	0.0683	-1.7184	0.0924
Δ <i>lind</i> ²	1.0952	0.3115	3.5164	0.0010
Δ <i>lrnw</i>	-0.1072	0.0165	-6.5043	0.0000
<i>kukla (2010)</i>	0.0043	0.0120	0.3545	0.7246
<i>c</i>	-41.4257	5.8177	-7.1206	0.0000
@ <i>trend</i>	0.0007	0.0004	1.5824	0.1204
Panel D: Diagnostik Testler				
Test	İstatistik	Olasılık		
χ^2_{JB}	0.8781	0.6446		
χ^2_{BG}	2.9708	0.2264		
χ^2_{BPG}	20.0088	0.3323		
χ^2_{RR}	1.7156	0.1981		
<i>CUSUM</i>	<i>Stabil</i>	<i>(Şekil 2)</i>		
<i>CUSUMQ</i>	<i>Stabil</i>	<i>(Şekil 2)</i>		

Şekil 2: CUSUM ve CUSUMQ Testleri Sonuçları

Açıklayıcı değişkenlerin karbon yoğunluğuyla olan parabolik ilişkilerindeki dönüm noktaları kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla için 8832 \$ iken kentleşme oranı için %47,5 olarak hesaplanmıştır. Dönüm noktalarının denk geldiği yıllar büyümede 2011, kentleşmede 1983 yılları şeklinde belirlenmiştir. İstatistiksel olarak anlamsız bulunan sanayileşmenin dönüm noktasının matematiksel formülasyonla %22 olarak tespit edildiği ve bu oranın da 1971 yılında geçildiği söylenebilmektedir.

Değişkenler arasındaki nedensel bağlantıların değerlendirilmesinde vektör hata düzeltme modelini baz alan Granger nedensellik testi kullanılmıştır. Tablo 5'teki sonuçlara göre kısa dönemde büyümeden karbon yoğunluğuna, kentleşmeden karbon yoğunluğuna, sanayileşmeden karbon yoğunluğuna ve sanayileşmeden kentleşmeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Uzun dönem nedensellik ilişkilerinde ise nedensel bağlantının doğrulanabilmesi için tahmin edilen parametrenin negatif ve anlamlı olması gerekmektedir. Tablodaki sonuçlara göre, sadece tüm değişkenlerden karbon yoğunluğuna doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

Tablo 5: VECM Tabanlı Granger Nedensellik Testi Sonuçları

Nedensellik Yönü	Kısa Dönem Nedensellikler (χ^2)					Uzun Dönem Nedensellikler (t)
	\leftarrow	$lco2i_{t-1}$	$lgdp_{t-1}$	$lurb_{t-1}$	$lind_{t-1}$	$lrnw_{t-1}$
$lco2i_t$	-	6.2606** (0.0437)	10.9641*** (0.0042)	6.2745** (0.0434)	0.0424 (0.9790)	-0.0460*** [-3.2035]
$lgdp_t$	0.8384 (0.6576)	-	3.9074 (0.1418)	1.6607 (0.4359)	1.8986 (0.3870)	0.0383 [2.7997]
$lurb_t$	0.3043 (0.8589)	1.8362 (0.3993)	-	6.2291** (0.0444)	1.4805 (0.4770)	0.0014 [1.2411]
$lind_t$	2.8227 (0.2438)	1.4430 (0.4860)	3.4332 (0.1797)	-	2.1306 (0.3446)	-0.0201 [-1.0731]
$lrnw_t$	0.2933 (0.8636)	0.2420 (0.8860)	1.4329 (0.4885)	0.9235 (0.6302)	-	0.0248 [0.3164]

Not: ** ve ***, sırasıyla %5 ve %1 seviyesinde anlamlılığı simgelemektedir. Parantez içindeki değerler olasılık değerleri, köşeli parantez içindeki değerler t istatistikleridir.

6. Tartışma

Analizlerden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında araştırma modelinin özgünlüğünden kaynaklı olarak literatürdeki herhangi bir çalışmayla tamamen örtüşmediği söylenebilmektedir. ÇKE hipotezinin doğrulanması literatürdeki genel eğilimle uyumlu olmuştur. Literatürle uyumlu olan bir başka sonuç ise yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel bozulmayı azaltıcı etkisidir. Kentleşmenin etkisi Latief vd.'nin (2022) çalışmasıyla uyumlu çıkmıştır. Ayrıca karesel terimlerin eklenmesiyle parabolik ilişkilerin ortaya çıkması hem çevre kirlenmesi hem de çevre koruyucu etkinin zaman içinde dönüşerek yaşandığını göstermektedir.

Büyümenin kirlenici etkisinin yerini telafi edici etkiye bıraktığı dönüm noktası analizlerde 2011 yılı olarak tespit edilmiştir. Yapısal kırılmayı dikkate alan birim kök testinde karbon yoğunluğu için belirlenen kırılma noktasının 2010 yılı olması da dönüm noktasını bir anlamda desteklemektedir. Dönüm noktasının oluşmasında etken olarak ulusal ve uluslararası alanda bazı gelişmeler dikkat çekmektedir. İlk olarak 1990'lı yıllardan itibaren düzenlenen çevre ve iklim değişikliği konulu toplantılara dahil olan Türkiye'nin çevresel sorumlulukları gereği üretim sürecini karbondan arındırma girişimleri zaman içinde etkisini göstermiştir. Bu girişimler arasında yer alan temiz enerji yatırımlarının arttırılması enerji dengesinde yenilenebilir kaynakların payını yükseltip doğal olarak üretilen hasıla birimi başına salınan karbon miktarında düşüşe neden olmuştur. Hidroelektrik, atıklar ve biyokütle enerjisi gibi geleneksel yenilenebilir kaynakların yanına rüzgar ve güneş gibi yenilikçi, temiz ve sürdürülebilir enerjilerin eklenmesiyle yenilenebilir enerji yatırımlarının ekolojik baskısı da azaltılmıştır. Bunun yanında 2000'li yıllarda yaşanan yurt içi kaynaklı 2001 krizi ve 2008 küresel finans krizi sonrası verimliliğin arttırılmasına yönelik arayışlar kaynakların daha etkin kullanılmasını gerektirmiştir. Fosil yakıt kullanımı yüksek olan Türkiye'nin bu kaynaklara sahip olmadığı için ithal etmek zorunda kalması ve bu ticaretin zaman zaman yaşanan kur hareketleriyle ülke ekonomisi üzerinde yarattığı baskı enerji verimliliğini gündeme taşımıştır. 2007 yılında yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu, 2008 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2012 yılında yayımlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ve 2018 yılında açıklanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik çabalar olarak göze çarpmaktadır. 2005 yılında yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Kanunu da çevre koruma amacına ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmaya yönelik yasal düzenlemeler arasındadır.

Türkiye'de kentleşme süreçlerinin çevresel bozulmaya yönelik etkilerinin özellikle 1983'ten sonra azalma eğilimine girmesi, öncelikle nüfusun merkezileşmesi ve konut toplulaşması bağlamında çevresel kamu hizmetlerinin erişebildiği nüfus oranının artışıyla ilişkilendirilerek açıklanabilmektedir. Buna göre, atık toplama, arıtma, toplu ulaşım, yeşil alan imarı gibi çevresel kamu hizmetleri ile çok katlı konutlar başta olmak üzere, çeşitli kentsel etkenlerin, nüfus artışının ve kentleşmenin ekolojik bozulma üzerindeki ilerletici etkisini sınırlandırdığı ileri sürülebilmektedir. Özellikle, konutlarda doğalgaz kullanımı ve yalıtım, metropollerde elektrikle çalışan metro ve tramvaylar ile biyogazla çalışan otobüslerin yaygınlaşması, nüfusun artışına rağmen çevresel bozulmayı belli bir oranda kontrol altına alabilen etkenlerden bazıları olarak sayılabilir. Diğer yandan, üniversite başta olmak üzere kentsel eğitim kurumlarının sağladığı okullaşma oranının ve eğitim düzeyinin 1970'lerdeki kırsaldan kentlere kitlesel göç hareketi sonrası kentte doğan kuşaklar üzerinde çevre bilinci ve davranış bakımından önceki kuşaklara kıyasla etkili olduğu varsayılmaktadır.

Nedensellik ilişkileri göz önüne alındığında kısa dönemde büyüme, kentleşme ve sanayileşmenin karbon yoğunluğuna neden olması her üç faktörün de kirlilik yaratıcı etkisinin yansımasıdır. Sanayileşmeden kentleşmeye doğru tek yönlü nedensellik ise sanayi sektöründe artan ve tarımda azalan katma değerın kırsal alanda yaşayan nüfusu kentsel alanlara geçişe zorlamasıyla açıklanabilmektedir.

7. Sonuç

Türkiye'nin 1965-2023 dönemi için ekolojik modernleşme teorisinin test edildiği bu çalışmada değişkenler arasında uzun dönemli ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. Bulgular büyüme ile karbon yoğunluğu arasında ters U şekilli bir ilişkinin var olduğunu yani ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Kentleşme ile karbon yoğunluğu arasında da yine ters U şekilli bir ilişkinin bulunduğu ve yenilenebilir enerji tüketiminin karbon yoğunluğunu anlamlı bir şekilde azalttığı görülmüştür. Sanayileşme ile karbon yoğunluğu arasında bulunan düz U şekilli ilişki ise anlamsız bulunmuştur. Bu sonuçlar Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi, kentsel çevresel geçişler hipotezi ve ekolojik modernleşme teorisinin doğrulandığını göstermektedir. Ampirik bulgular, çevre kalitesinin arttırılmasına yönelik politikaların karbon nötr hedefi için önem arz ettiğini ima etmektedir. Büyüme ve kentleşme açısından yeni bir Çevresel Kuznets Dalgasına girmemek için çevresel standartların yükseltilmesi gerektiği açıktır.

Ekonomik büyüme ve kentleşme süreçlerinin çevresel sürdürülebilirlikle bir arada ilerlemeleri, kamu yönetimi, insan davranışı ve teknolojik yenileşme etkenlerinin bu doğrultuda birleşmeleri ile mümkün görünmektedir. Buna göre, ekolojik modernleşmeyi mümkün kılacak en önemli öğe, fosil yakıtların kullanımının aşamalı bir şekilde sınırlandırılarak yenilenebilir enerjilerin ağırlığının arttırılmasıdır. Bu amaçla, temiz enerji üretimine ve atık yönetimine ilişkin teknolojik yenileşmeyi amaçlayan ar-ge faaliyetleri yürütülmeli ve desteklenmelidir. Özellikle bilimsel araştırmalarda, yüksek öğrenimde ve sanayide bu tür faaliyetlerin önceliklendirilmesi ve desteklenmesi sonuç üzerinde belirleyici niteliktedir. Bu bağlamda, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları ile aygıtları üstüne geliştirici çalışmaların teşvik edilmesi, aydınlatmada ve ısınmada bireysel güneş panelleri ve rüzgar tribünleri gibi görece temiz enerji kaynaklarının tercihinin

sübvansiyon gibi avantaj üretici kamu politikaları ile desteklenmesi, buna karşın, karbon salınımına neden olan enerji kaynaklarının ve yakıtların kullanımını caydırmaya dönük yasal kısıtlamalar ile ilave vergi gibi maliyet arttırıcı önlemler, karbon emisyonu üreten işletmelerin filtre ve arıtıcı sistemlerinin etkin denetimi, geri dönüşüme yönelik atık ayrıştırma alışkanlığının kazanılması için insan bilincini ve davranışını yönlendirici ekonomik, eğitsel ve kültürel motivasyonlar, çevresel iyileştirmeyi mümkün kılacak başlıca araçlar olarak burada sayılabilecek bazı önerilerdir. Ayrıca, kent planlamasında yeşil alanların genişletilmesi, rekreasyon ve peyzaj uygulamalarının yaygınlaştırılması, taşıt trafiğine kapalı alanların, bisiklet ve yaya yollarının artırılması gibi yerel çözümler de kentleşmenin çevresel iyileştirilmesine katkı sağlayabilecek başka etkenler olarak öneriler listesine eklenebilir. Son olarak, enerji dengesinde fosil yakıtların ağırlığı yüksek olan Türkiye’de enerji verimliliğine yönelik düzenleme ve ar-ge çalışmaları büyümeden taviz vermeden fosil yakıt kaynaklı kirliliği azaltabilecektir.

Ampirik bulgularda her ne kadar etkisi anlamsız bulunmuşsa da sanayileşmenin muhtemel kirletici etkisini kontrol altına almaya yönelik girişimler de ekolojik modernleşme açısından değerli olmaktadır. İnşaatın da dahil olduğu sanayi sektöründe enerji verimliliği ve temiz enerji kaynaklarına geçiş için teşviklerin veya düşük faizli kredilerin sağlanması, sıfır karbonlu ürünlerin üretiminde vergi iadelerinin yapılması, üretim süreçlerinde çevreci standartların belirlenmesi ve caydırıcılık açısından karbon vergisi uygulanması üretimde karbon yoğunluğunu düşürmeye yönelik adımlar olarak önerilmektedir.

Çalışmada çevre değişkeni olarak kullanılan üretimde karbon yoğunluğunun 2000’li yıllarda düşmesinin sürdürülebilirlik açısından olumlu bir gelişme olduğu söylenebilmektedir. Kalkınmanın ilk safhalarında artan karbon yoğunluğunun neden olduğu çevresel hasarı telafi etmeye çalışan Türkiye için bu yönseme taahhüt edilen çevresel hedefler bakımından umut verici bir eğilim olarak değerlendirilmektedir.

Modernleşme sürecinin çevresel etkisini değerlendiren bu çalışmanın bazı kısıtları gelecek çalışmalarda katkılarıyla giderilebilir. İlk olarak çevresel bozulmanın farklı göstergelerle temsil edildiği modeller çevresel etkinin daha kapsamlı bir şekilde ele alınmasını sağlayabilecektir. Öneri olarak emisyonların hasılaya oranı yerine enerji geçişinin izlendiği bir gösterge olan emisyonların birincil enerji tüketimine oranı kullanılabilir. Çevresel baskının karbon ayak izinden başka kanallarla da izlenebildiği ekolojik ayak izi veya biyokapasite verileri yine kullanılabilir çevre değişkenleridir. Ayrıca ampirik model kurumsal göstergeler gibi modernleşmenin farklı boyutlarını içererek revize edilebilir. Türkiye özelinde test edilen model farklı ülke grupları için uygulanarak küresel bir bakış açısı kazandırılabilir.

Kaynakça

- Abbasi, M. A., Parveen, S., Khan, S., & Kamal, M. A. (2020). Urbanization and energy consumption effects on carbon dioxide emissions: evidence from Asian-8 countries using panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18029-18043. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08262-w>
- Adebayo, T. S., Ramzan, M., Iqbal, H. A., Awosusi, A. A., & Akinsola, G. D. (2021). The environmental sustainability effects of financial development and urbanization in Latin American countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(41), 57983-57996. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14580-4>
- Ahmed, Z., Le, H. P., & Shahzad, S. J. H. (2022). Toward environmental sustainability: how do urbanization, economic growth, and industrialization affect biocapacity in Brazil?. *Environment, Development and Sustainability*, 24(10), 11676-11696. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01915-x>
- Altıntaş, N. (2020). Kentleşme ve ekonomik büyümenin çevresel bozulmaya etkisi: Türkiye örneği. *OPUS International Journal of Society Researches*, 15(26), 4517-4539. <https://doi.org/10.26466/opus.725429>
- Bailey, I., Gouldson, A. & Newell, P. (2011). Ecological modernisation and the governance of carbon: a critical analysis. *Antipode*, 43(3), 682-703. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.2011.00880.x>
- Bakır H. & Bahtiyar, G. (2013). Ekolojik modernleşmeye karşı risk toplumu. *II. Türkiye Lisansüstü Çalışmalar Kongresi*, (1355-1366), Bursa: İlmi Etüdler Derneği.
- Brahmasrene, T., & Lee, J. W. (2016). Assessing the dynamic impact of tourism, industrialization, urbanization, and globalization on growth and environment in Southeast Asia. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24(4), 362-371. <https://doi.org/10.1080/13504509.2016.1238021>

- Buttel, F. H. (2000). Ecological modernization as social theory. *Geoforum*, 31(1), 57-65. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(99\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(99)00044-5)
- Cohen, M. J. (1997). Risk society and ecological modernisation. *Futures*, 29(2), 105-119. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(96\)00071-7](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(96)00071-7)
- Crutzen, P. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415(6867), 23. link.gale.com/apps/doc/A187492027/HRCA?
- Crutzen, P. J. & Stoermer, E. F. (2000). The “Anthropocene”. *Global Change News-Letter*, 41, 17-18.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human ecology review*, 1(2), 277-300. <https://www.jstor.org/stable/24706840>.
- Ehigiamusoe, K. U., Lean, H. H., Mustapha, M., & Ramakrishnan, S. (2023). Industrialization, globalization, ICT, and environmental degradation in Malaysia: a frequency domain analysis. *Heliyon*, 9(10), e20699. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20699>
- Ehrlich, P.R., Holdren, J.P. (1971). Impact of population growth, *Science*, 171, 1212–1217. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212>
- Elliott, G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. (1992). *Efficient tests for an autoregressive unit root*. National Bureau of Economic Research, Technical Working Paper, No: 0130. <https://doi.org/10.3386/t0130>
- Farhani, S., & Ozturk, I. (2015). Causal relationship between CO2 emissions, real GDP, energy consumption, financial development, trade openness, and urbanization in Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 15663-15676. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4767-1>
- Farman, J. C., Gardiner, B. G. & Shanklin, J. D. (1985). On the Identification of Ozone Depletion. *Nature*, 315, 207-210. <https://doi.org/10.1038/315207a0>
- Farooq, S., Parveen, S., & Sahibzada, H. E. (2019). Impact of industrialization, urbanization and energy consumption on environmental degradation: evidence from India. *Global Economics Review*, 4(2), 1-12. [http://dx.doi.org/10.31703/ger.2019\(IV-II\).01](http://dx.doi.org/10.31703/ger.2019(IV-II).01)
- Fisher, D. R. & Freudenburg, W. (2001). Ecological modernisation and its critics: assessing the past and looking toward the future. *Society and Natural Resources*, 14(8), 701-709. <https://doi.org/10.1080/08941920119315>
- Gibbs, D. (2000). Ecological modernisation, regional economic development and regional development agencies. *Geoforum*, 31(1), 9-19. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(99\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(99)00040-8)
- Glynn, J., Perera, N. & Verma, R. (2007). unit root tests and structural breaks: a survey with applications. *Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration*, 3(1), 63-79. <http://www.upo.es/RevMetCuant/art11.pdf>
- Gouldson, A. & Murphy, J. (1996). Ecological modernization and the European Union. *Geoforum*, 27(1), 11-21. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(96\)00002-4](https://doi.org/10.1016/0016-7185(96)00002-4)
- Granger, C. W. J. (1988). Some recent development in a concept of causality. *Journal of Econometrics*, 39(1-2), 199-211. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90045-0)
- Grossman, G., Krueger, A.B. (1991). *Environmental impacts of a North-American free trade agreement*. NBER Working Paper No. 3914. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Gürbüz, E. (2013). Jeolojik imzamız: Antroposen. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 46(546), 32-35.
- Hao, Y., Zheng, S., Zhao, M., Wu, H., Guo, Y., & Li, Y. (2020). Reexamining the relationships among urbanization, industrial structure, and environmental pollution in China—New evidence using the dynamic threshold panel model. *Energy Reports*, 6, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.029>
- Holdren, J. P., & Ehrlich, P. R. (1974). Human Population and the global environment: population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American scientist*, 62(3), 282-292. <https://www.jstor.org/stable/27844882>

- Jänicke, M. (2000). *Ecological modernization: innovation and diffusion of policy and technology*. Freie Universität Berlin Forschungsstelle für Umweltpolitik, FFU-report 00-08. <http://dx.doi.org/10.17169/refubium-23441>
- Jänicke, M. (2008). Ecological modernisation: new perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 16(5), 557-565. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.011>
- Kahouli, B., Miled, K., & Aloui, Z. (2022). Do energy consumption, urbanization, and industrialization play a role in environmental degradation in the case of Saudi Arabia?. *Energy Strategy Reviews*, 40, 100814. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100814>
- Katircioğlu, S., & Katircioğlu, S. (2017). Testing the role of urban development in the conventional Environmental Kuznets Curve: evidence from Turkey. *Applied Economics Letters*, 25(11), 741–746. <https://doi.org/10.1080/13504851.2017.1361004>
- Kekül, O. (2024). Kentleşme, enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve dış ticaret açığının Türkiye’de ekolojik ayak izi üzerine etkisi. *Uluslararası Ekonomi İşletme ve Politika Dergisi*, 8(2), 518-537. <https://doi.org/10.29216/ueip.1530780>
- Koçal, A. V. (2022). Ekolojik krizin siyasal düşünceye yansımaları: eko-sosyalizm ve eko-marksizm tartışmalarına bir giriş. Veysel Eren ve Ahmet Kayan (Editörler), *Küresel iklim değişikliği, nedenler, sorunlar ve çözüm önerileri*, (127-149), Ankara: Gazi Kitabevi.
- Kurucu, A. A. (2016). Yenilebilir enerji örneği üzerinden ekolojik modernleşme kuramı tartışması. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 1-20. https://doi.org/10.1501/sbeder_0000000120
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28. <https://www.jstor.org/stable/1811581>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P. & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: how sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
- Latief, R., Sattar, U., Javeed, S. A., Gull, A. A., & Pei, Y. (2022). The environmental effects of urbanization, education, and green innovation in the union for mediterranean countries: Evidence from quantile regression model. *Energies*, 15(15), 5456. <https://doi.org/10.3390/en15155456>
- Lau, L. S., Yii, K. J., Ng, C. F., Tan, Y. L., & Yiew, T. H. (2023). Environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis: A bibliometric review of the last three decades. *Energy & Environment*, Online First, 0958305X231177734. <https://doi.org/10.1177/0958305X231177734>
- Leal, P. H., & Marques, A. C. (2022). The evolution of the environmental Kuznets curve hypothesis assessment: A literature review under a critical analysis perspective. *Heliyon*, 8(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11521>
- Liu, X., & Bae, J. (2018). Urbanization and industrialization impact of CO2 emissions in China. *Journal of Cleaner Production*, 172, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.156>
- Majeed, M. T., & Tauqir, A. (2020). Effects of urbanization, industrialization, economic growth, energy consumption, financial development on carbon emissions: an extended STIRPAT model for heterogeneous income groups. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 14(3), 652-681. <https://hdl.handle.net/10419/224955>
- Mansfield, T. A. (1991). Global warming and the greenhouse effect. *Professional Horticulture*, 5(1), 3-9. <http://www.jstor.org/stable/45121167>
- Marcotullio, P. J. & Lee, Y. F. (2003). Urban environmental transitions and urban transportation systems: a comparison of the North American and Asian experiences. *International Development Planning Review*, 25(4), 325-354. <https://doi.org/10.3828/idpr.25.4.2>
- Marcotullio, P. J. (2018). Transition theories. D. Iossifova, C. Doll, A. Gasparatos (Editörler), *Defining the Urban: Interdisciplinary and Professional Perspectives*, (236-248), New York and London: Routledge.
- McGee, J. A., & York, R. (2018). Asymmetric relationship of urbanization and CO2 emissions in less developed countries. *PloS One*, 13(12), e0208388. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208388>

- Mitchell, J. F. B. (1989). Greenhouse effect and climate change. *Reviews of Geophysics*, 27(1), 115-139. <https://doi.org/10.1029/RG027i001p00115>
- Mol, A. P. J. (1997). Ecological modernisation: industrial transformations and environmental reform. M. Redclift., G. Woodgate (Eds), *The International Handbook of Environmental Sociology*, (138–218), Cheltenham: Edward Elgar.
- Mol, A. P. J. (2000). The environmental movement in an era of ecological modernisation. *Geoforum*, 31(1), 45-56. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(99\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(99)00043-3)
- Mol, A. P. J. (2002). Ecological modernization and the global economy. *Global Environmental Politics*, 2(2), 92–115. <https://doi.org/10.1162/15263800260047844>
- Mol, A. P. J. (2010). Ecological modernization as a social theory of environmental reform. In M. Redclif, G. Woodgate (Ed.), *The International handbook of environmental sociology* (2. ed.), (63-76). Cheltenham: Edward Elgar. <https://doi.org/10.4337/9781849805520.00013>
- Muhammad, S., Long, X., Salman, M. & Dauda, L. (2020). Effect of urbanization and international trade on CO₂ emissions across 65 belt and road initiative countries. *Energy*, 196, 117102. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117102>
- Musah, M., Kong, Y., Mensah, I. A., Antwi, S. K., & Donkor, M. (2021). The connection between urbanization and carbon emissions: a panel evidence from West Africa. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 11525-11552. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01124-y>
- Naveed, A., Ahmad, N., Aghdam, R. F., & Menegaki, A. N. (2022). What have we learned from Environmental Kuznets Curve hypothesis? a citation-based systematic literature review and content analysis. *Energy Strategy Reviews*, 44, 100946. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100946>
- Ozatac, N., Gokmenoglu, K. K., & Taspinar, N. (2017). Testing the EKC hypothesis by considering trade openness, urbanization, and financial development: the case of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 16690-16701. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9317-6>
- Panayotou T. (1993). *Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development*. ILO Working Papers No. WP238, 992927783402676, International Labour Organization. Technology and Employment Programme: Geneva, Switzerland. http://www.ilo.org/public/libdoc/ilo/1993/93B09_31_engl.pdf
- Pata, U. K. (2018). The effect of urbanization and industrialization on carbon emissions in Turkey: evidence from ARDL bounds testing procedure. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7740-7747. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1088-6>
- Pesaran, M. H. & B. Pesaran (1997). *Working with Microfit 4.0: Interactive Econometric Analysis*. Oxford University Press.
- Pesaran, M. H. & Shin, Y. (1999). An autoregressive distributed lag modeling approach to cointegration analysis. In *Econometrics and economic theory in the 20th century: The Ragnar Frisch centennial symposium* (pp. 371–413). Cambridge University Press.
- Pesaran, M. H., Shin, Y. & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Prempeh, K. B. (2024). The role of economic growth, financial development, globalization, renewable energy and industrialization in reducing environmental degradation in the economic community of West African States. *Cogent Economics & Finance*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2024.2308675>
- Qian, L. H. (2024). An empirical study on the relationship between urbanization, transportation infrastructure, industrialization and environmental degradation in China, India and Indonesia. *Environment, Development and Sustainability*, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05773-1>
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019). A review on environmental Kuznets curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 649, 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.276>
- Scanu, E. (2015). Climate governance in the post-industrial city: the urban side of ecological modernisation. *Environmental Sociology*, 1(2), 102-115. <https://doi.org/10.1080/23251042.2015.1008384>

- Sezgin, Z. (2012). Ecological modernization: a viable option for a sustainable future?. *Marmara Journal of European Studies*, 20(1), 219-245. <https://doi.org/10.29228/mjes.133>
- Shah, S. A. R., Naqvi, S. A. A., & Anwar, S. (2020). Exploring the linkage among energy intensity, carbon emission and urbanization in Pakistan: fresh evidence from ecological modernization and environment transition theories. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40907-40929. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09227-9>
- Shahbaz, M., & Sinha, A. (2019). Environmental Kuznets curve for CO2 emissions: a literature survey. *Journal of Economic Studies*, 46(1), 106-168. <https://doi.org/10.1108/JES-09-2017-0249>
- Spaargaren, G. & Mol, A. P. J. (2009). Sociology, environment, and modernity: Ecological modernization as a theory of social change. A. P. J. Mol, D. A Sonnenfeld ve G. Spaargaren (Eds.) *The ecological modernization reader: Environmental reform in theory and practice*, (56-79). London and New York: Routledge.
- Spaargaren, G. (2000). Ecological modernization theory and the changing discourse on environment and modernity, G. Spaargaren; A. P.J. Mol, and F. H. Buttel (Eds.), *Environment and Global Modernity*, (41-71), London: Sage Publications.
- Şahin, G. (2022). Ekolojik modernleşme teorisi ve çevre politikası çıkarımları. *Pearson Journal of Social Sciences & Humanities*, 7(21), 236-257. <https://doi.org/10.46872/pj.603>
- Vo, D. H., Ho, C. M., & Vo, A. T. (2024). Do urbanization and industrialization deteriorate environmental quality? empirical evidence from Vietnam. *SAGE Open*, 14(2), 21582440241258285. <https://doi.org/10.1177/215824402412582>
- Voumik, L. C., & Sultana, T. (2022). Impact of urbanization, industrialization, electrification and renewable energy on the environment in BRICS: fresh evidence from novel CS-ARDL model. *Heliyon*, 8(11), e11457. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11457>
- Waggoner, P. E., & Ausubel, J. H. (2002). A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7860-7865. <https://doi.org/10.1073/pnas.122235999>
- Warner, R. (2010). Ecological modernisation theory: towards a critical ecopolitics of change?, *Environmental Politics*, 19(4), 538-556. <https://doi.org/10.1080/09644016.2010.489710>
- Yıldız, T. & Göktürk, T. B. (2019). Sanayileşme, şehirleşme ve çevre kirliliği arasındaki ilişki: Türkiye için bir ARDL sınır testi yaklaşımı. *International Journal of Academic Value Studies*, 5(2), 217-229. <http://dx.doi.org/10.23929/jav.824>
- Yilanci, V., Ulucak, R., Zhang, Y., & Andreoni, V. (2023). The role of affluence, urbanization, and human capital for sustainable forest management in China: robust findings from a new method of Fourier cointegration. *Sustainable Development*, 31(2), 812-824. <https://doi.org/10.1002/sd.2421>
- York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological economics*, 46(3), 351-365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
- Zivot, E., & Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251-270. <https://doi.org/10.1080/07350015.1992.10509904>

Research Article

Türkiye'de Büyüme, Kentleşme, Sanayileşme ve Çevresel Bozulma Arasındaki Bağlantıların Yeniden Araştırılması: Ekolojik Modernleşme Teorisinden Yeni Kanıtlar

Reinvestigating The Linkages Among Growth, Urbanization, Industrialization and Environmental Degradation in Türkiye: Fresh Evidence from Ecological Modernization Theory

<p>Burhan DURGUN Arş. Gör. Dr., Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi burhan.durgun@dicle.edu.tr https://orcid.org/0000-0001-7742-6059</p>	<p>Ahmet Vedat KOÇAL Dr. Öğr. Üyesi, Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ahmetvedatk@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-3017-5832</p>
---	--

Extensive Summary

Introduction

The ecological crisis, which has been on the agenda of humanity since the 1980s, and the phenomenon of global warming, which has become particularly evident in the international public opinion in recent years, constitute one of the current areas of interest of social science disciplines as well as natural sciences. In this context, in discipline of Economics, the relationship between economic activities and functioning and the ecosystem and its crisis is the subject of theoretical discussions around various approaches.

As a one of the economic approaches that offers studies and propositions on the relationship between humanity's economic life and its environment, ecological modernization theory, argues that environmental improvement is possible if technological innovation, public policies, human behavior and urbanization processes aimed at the use of renewable and clean energy sources are carried out in a way that takes environmental sensitivity into account, based on the assumption that a balance can be established between the free market order and environmental existence. Accordingly, the environmental problems that create the ecological crisis are not an inevitable result of the economic nature of the free market model, as interpreted by Marxist and Anarchist approaches focusing on ecological problems, but are due to the functioning and use of technology, and especially the fact that energy sources are based on fossil fuels, from the industrial revolution to the present. From this point of view, the authors of ecological modernization theory argue that the environmental problems produced by the industrial revolution that provided modernization can be solved within the continuity of the dynamics of modernization itself. In this context, they argue that technological innovation activities that focus on finding solutions to ecological problems, especially those aimed at ensuring the use of clean energy resources, should be supported by public authorities and that financial regulations should be made to encourage their use, especially in terms of cost. Indeed, data is presented showing that there has been a noticeable improvement in the environmental costs of economic life with the introduction of "green energy" production based on renewable resources such as unleaded fuel, natural gas, biogas, hydroelectric, wind and solar turbines, and waste management technologies such as recycling in the recent past.

The present study has been developed for the purpose of testing the ecological modernization theory for the period 1965-2023 in Türkiye. The fundamental assumption of the study is that growth, urbanization, and industrialization may have a non-monotonic effect on environmental degradation. In the empirical part of the study, carbon intensity in production is used as an indicator of environmental degradation. With this indicator, the decarbonization process in production in line with the carbon neutrality target can be monitored.

The present study offers a unique contribution to the academic literature on environmental economics by investigating the non-linear effects of growth, urbanization, and industrialization on the environment. It does so by employing a distinct environmental degradation indicator for the macro determinants of environmental degradation. This topic has been the subject of numerous studies in the environmental economics literature. In

this context, the present study assesses whether the impact of income level, urbanization, and industrialization on the environment is monotonic or variable; how renewable energies affect carbon intensity in production process; and whether there are causal links between these variables.

Empirical Literature

A general review of the empirical literature reveals that growth increases emissions, but evidence that this increasing effect may reverse after a turning point, in other words, studies confirming the EKC hypothesis, predominate. Studies that test the effect of growth linearly emphasize the polluting effect of growth. The empirical literature on the impact of urbanization on environmental degradation again emphasizes the polluting effect. Yilanci et al. (2022) posit an environmental protective effect, while Latief et al. (2022) posit that divergent trends may emerge in countries according to income group. Vo et al. (2024) posit that the polluting effect of urbanization will be limited to the short run and will disappear in the long run. Industrialization is generally considered to have a polluting effect, akin to urbanization. However, there is also evidence that the effect of industrialization may be insignificant. Finally, the impact of renewable energies is found to naturally reduce environmental degradation as they are non-carbon emitting sources.

When the studies in the literature are examined, it is seen that urbanization and industrialization are generally included linearly in the models. Under the assumption that there may be non-linear structures in the effects of urbanization and industrialization as well as growth, that is, the effect of the variable may change after a turning point, the current study aims to fill the gap in the literature. In addition, the use of carbon intensity, which is a more comprehensive carbon indicator, as an indicator of environmental degradation makes the contribution of the current study more valuable.

Data, Model and Methodology

This study investigates the impact of growth, urbanization, industrialization and renewable energy consumption on environmental degradation using time series methods. Türkiye's annual data for the period 1965-2023 are used in the analysis where data availability is the main factor in determining the sample period. The environmental degradation variable is represented by carbon intensity in production, the growth variable by gross domestic product per capita, urbanization by urbanization rate, industrialization by the ratio of the value added of the industrial sector, including the construction sector, to gross domestic product, and renewable energy consumption by renewable energy consumption, including hydropower per capita. All variables are included in the model in their natural logarithmic form.

The model incorporates carbon intensity as the dependent variable, along with growth, growth squared, urbanization, urbanization squared, industrialization, and industrialization squared as explanatory variables, and renewable energy consumption as the control variable.

The stationarity of the variables was first tested with the augmented Dickey-Fuller (ADF) test developed by Dickey and Fuller (1979), the Dickey-Fuller-Generalized least squares (DF-GLS) test proposed by Elliott et al. (1992), and the LM-based (KPSS) test proposed by Kwiatkowski et al. (1992). Furthermore, the Zivot and Andrews (1992) unit root test with a single structural break is employed to account for the impact of structural changes that transpired during the period under consideration. Cointegration test, error correction model and model diagnostic tests are evaluated using the ARDL approach developed by Peseran et al. (2001). Finally, the causal links between the variables are analyzed with the Granger causality test based on the vector error correction model.

Findings

The stationarity of the variables was analyzed through a series of tests. Despite obtaining different results in the stationarity analysis, it was concluded that no variable is stationary in its second difference. This finding indicates that the precondition for the ARDL bounds test is met. The ARDL bounds test revealed that there is a long-run relationship between the variables. When the long-run elasticities are analyzed, it is found that there is an inverted-U shaped relationship between growth and carbon intensity in line with the EKC hypothesis. Furthermore, an inverted-U shaped relationship was identified between urbanization and carbon intensity. While the impact of industrialization proved to be statistically insignificant, the consumption of renewable energy was found to be a significant factor in reducing carbon intensity, aligning with existing expectations. The error correction model indicates that short-run imbalances have been corrected. According to the results of the causality test, a unidirectional causality relationship was identified from growth to carbon intensity, from urbanization to carbon intensity, from industrialization to carbon intensity, and from industrialization to urbanization.

Conclusion

The empirical data presented above on the relationship between economic growth and urbanization processes and carbon intensity between 1965 and 2023, shows that the environmental deterioration effects of economic growth and urbanization factors tend to decrease after a certain level, confirms the feasibility of the Economic Modernization Theory's proposition on environmental improvement in terms of the Turkish experience.

Accordingly, it is understood that the progress of economic growth and urbanization processes together with environmental sustainability depends on the implementation of technological innovation, public administration and human behavior factors in this direction. In this context, it can be said that research and development (R&D) activities aimed at technological innovation in clean energy production and waste management and the widespread use of these in daily life are the three most important elements that can make environmental sustainability of economic growth and urbanization possible. Prioritizing and supporting technological development activities aimed at environmental improvement, especially in scientific research, higher education and industry, is decisive on the targeted outcome. Encouraging development studies on clean and renewable energy devices, preferring relatively clean energy sources such as electricity in production, non-fossil fuels such as biogas in transportation, individual solar panels and wind turbines for lighting and heating, and supporting them with public policies that produce advantages, especially in terms of cost, stand out as environmental improvement policy requirements. On the other hand, legal restrictions and cost-increasing measures aimed at discouraging the use of energy sources and fuels that cause carbon emissions, effective control of filter and purifier systems of businesses that produce carbon emissions, economic, educational and cultural guidance that directs human awareness and behavior to acquire the habit of waste separation for recycling can be listed as other policy tools that can make environmental improvement possible. Local solutions such as expanding green areas in urban planning, popularizing recreation and landscaping practices, increasing areas closed to vehicle traffic, bicycle and pedestrian paths can also be added to the list of suggestions as other factors that can contribute to the environmental improvement of urbanization.