



2980-2806

# Dorlion Journal

Academic Social Studies / Akademik Sosyal Arařtırmalar

Vol./Cilt: 4 - Issue/Sayı: 1 - Makale No/Article No: 3 - Yıl/Year: 2026 - pp./ss. 1-25.

## Türkiye’de Enerji Yoğunluğunun Sektörel Dönüşümle İlişkisi: Hizmetler Sektörü Payı Üzerinden Uzun Dönem Bir Analiz

*The Relationship Between Energy Intensity and Sectoral Transformation in Türkiye: A Long-Run Analysis Based on the Services Sector Share*



### Araştırma Makalesi / Research Article

#### Geliş Tarihi / Arrival Date

11.02.2026

#### Kabul Tarihi / Accepted Date

13.03.2026

#### Son Revizyon Tarihi / Last Revision Date

22.03.2026

#### Yayın Tarihi / Publication Date

26.03.2026

### Öğretim Görevlisi Dr. Hayriye TAŞCI

Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek  
Yüksekokulu, Dış Ticaret Bölümü.  
Gaziantep, TÜRKİYE.



### Öz

Bu çalışma, Türkiye’de enerji yoğunluğunun 2000-2022 dönemindeki uzun dönem dinamiklerini kişi başına gelir ve ekonomik yapının sektörel bileşimini temsilen hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı üzerinden analiz etmektedir. Enerji yoğunluğu, bir birim ekonomik çıktı başına tüketilen enerji miktarı olarak ele alınmış; enerji verimliliği ve sürdürülebilir büyüme tartışmaları açısından önemli bir gösterge olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, enerji yoğunluğunun tek bir ekonomik dönem altında sabit katsayılarla açıklanmasının Türkiye gibi kriz ve şoklara açık ekonomilerde sınırlı kalabileceği varsayımından hareketle, olası yapısal kırılmaları ampirik olarak test etmeyi amaçlamaktadır. Analizde ilk aşamada Bai-Perron çoklu yapısal kırılma testi uygulanmış ve enerji yoğunluğu serisinde 2001, 2008, 2018 ve 2020 yıllarında belirgin yapısal kırılma noktaları tespit edilmiştir. Bu kırılmalar, sırasıyla finansal kriz sonrası yeniden yapılanma süreci, küresel finans krizinin yansımaları, kur şoku ve maliyet baskıları ile salgın dönemindeki ani daralma koşullarıyla uyumlu bir görünüm sunmaktadır. Ardından Zivot-Andrews birim kök testi ile serilerin durağanlık özellikleri değerlendirilmiş; enerji yoğunluğu ve hizmetler payının kırılma altında düzeyde durağan, kişi başına gelirin ise düzeyde durağan olmadığı görülmüştür. Bu bulgu, farklı bütünleşme derecelerinin birlikte ele alınabildiği ARDL sınır testi yaklaşımının kullanılmasını metodolojik olarak uygun kılmıştır. ARDL sınır testi sonuçları, enerji yoğunluğu ile kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün payı arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte uzun dönem katsayıları beklenen yönde (negatif) olmakla beraber istatistiksel olarak anlamlı değildir; bu durum, enerji yoğunluğunun uzun dönem seyrinin yalnızca gelir ve sektörel kompozisyon üzerinden “doğrudan” açıklanmasının sınırlı olabileceğine işaret etmektedir. Buna karşılık hata düzeltme modeli, kısa dönem sapmaların uzun dönem dengeye güçlü ve hızlı biçimde döndüğünü ortaya koymaktadır. CUSUM ve CUSUMSQ testleri de model parametrelerinin örneklem boyunca istikrarlı olduğunu desteklemektedir. Bulgular, enerji verimliliği politikalarının kriz dönemleri ve maliyet şoklarını dikkate alan esnek bir çerçevede tasarlanması ve sektörel dönüşümün verimlilik yatırımlarıyla tamamlanması gerektiğine işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Ekonomisi, Enerji Yoğunluğu, Türkiye, Yapısal Kırılmalar, ARDL Sınır Testi, Hizmetler Sektörü Payı.

### Citation Information/Kaynakça Bilgisi

Taşci, Hayriye. “Türkiye’de Enerji Yoğunluğunun Sektörel Dönüşümle İlişkisi: Hizmetler Sektörü Payı Üzerinden Uzun Dönem Bir Analiz”. *Uluslararası Dorlion Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi (DASAD)* 4/1-3 (2026), 1-25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19162738>

### Öne Çıkanlar

- Yapısal Kırılmaları Dikkate Alan Uzun Dönem Analizi.
- Sektörel Dönüşüm Perspektifi.
- ARDL-ECM Çerçevesinde Kısa ve Uzun Dönem Ayrımı.
- Model İstikrarının Test Edilmesi.
- Politika Çıkarımlarına Açık Ampirik Bulgular.

### Abstract

This study investigates the long-run dynamics of energy intensity in Türkiye over the period 2000–2022, focusing on per capita income and the share of the services sector in total value added as a proxy for the sectoral composition of the economy. Energy intensity, defined as the amount of energy consumed per unit of economic output, is widely used as an indicator of energy efficiency and sustainable growth. Given that economies exposed to crises and macroeconomic shocks may not follow a single stable regime, the study tests for potential structural breaks in the energy intensity series. The Bai-Perron multiple structural break test identifies breakpoints in 2001, 2008, 2018, and 2020, corresponding to major macroeconomic disruptions including the post-2001 restructuring period, the global financial crisis, exchange rate shocks, and the COVID-19 pandemic. The stationarity properties of the variables are examined using the Zivot-Andrews unit root test. The results show that energy intensity and the services sector share are stationary at levels under structural breaks, whereas per capita income is not stationary in levels, making the ARDL bounds testing approach appropriate. The ARDL bounds test confirms a long-run cointegration relationship between energy intensity, per capita income, and the services sector share. Although the long-run coefficients carry the expected negative signs, they are not statistically significant. However, the error correction model indicates a strong adjustment toward long-run equilibrium, and CUSUM and CUSUMSQ tests confirm parameter stability. The findings suggest that energy efficiency policies should consider crisis episodes and cost shocks and be supported by efficiency-oriented structural transformation.

**Keywords:** Energy Economics, Energy Intensity, Türkiye, Structural Breaks, ARDL Bounds Test, Services Sector Share.

### Highlights

- Long-Term Analysis Incorporating Structural Breaks.
- A Sectoral Transformation Perspective.
- Short- and Long-Run Distinction within the ARDL-ECM Framework.
- Testing of Model Stability.
- Empirical Findings with Clear Policy Implications.

## 1. GİRİŞ

Enerji kullanımı, modern ekonomilerde üretim sürecinin vazgeçilmez bir bileşeni olmakla birlikte, ekonomik büyümenin niteliği ve sürdürülebilirliği açısından da belirleyici bir role sahiptir. Uzun yıllar boyunca enerji, büyümeyi destekleyen temel bir girdi olarak değerlendirilmiş; ekonomik genişlemenin kaçınılmaz biçimde daha yüksek enerji tüketimiyle birlikte gerçekleştiği varsayılmıştır. Ancak özellikle 1990'lı yıllardan itibaren enerji verimliliği, iklim değişikliği ve kaynak kısıtları etrafında yoğunlaşan tartışmalar, büyüme-enerji ilişkisinin doğrusal ve değişmez olmadığına işaret eden yeni bir bakış açısının gelişmesine yol açmıştır.<sup>1</sup>

Bu çerçevede enerji yoğunluğu, yani bir birim ekonomik çıktı başına tüketilen enerji miktarı, ekonomik faaliyetlerin enerjiyle ne ölçüde bağlantılı yürütüldüğünü gösteren temel bir performans göstergesi olarak öne çıkmaktadır. Dünya Bankası tarafından tanımlandığı

<sup>1</sup> David I. Stern, "Economic Growth and Energy", *Energy* 25/4 (2004), 35-51.

biçimiyle birincil enerji yoğunluğu, satın alma gücü paritesine göre düzeltilmiş gayri safi yurt içi hasıla başına düşen birincil enerji arzını ifade etmekte ve ülkelerin enerji verimliliği düzeyinin izlenmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.<sup>2</sup> Enerji yoğunluğundaki düşüş, çoğu zaman daha verimli üretim teknikleri, teknolojik ilerleme ve yapısal dönüşümle ilişkilendirilirken; artışlar ise enerjiye dayalı büyüme modellerinin, maliyet baskılarının veya kriz dönemlerinin bir yansıması olarak değerlendirilmektedir.

Literatürde kişi başına gelir ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişki, tek yönlü ve sabit bir yapı üzerinden açıklanamamaktadır. Erken aşamalarda sanayi ağırlıklı büyüme, kentleşme ve altyapı yatırımları enerji kullanımını hızla artırabilmekte; buna karşılık gelir düzeyinin yükselmesiyle birlikte teknolojik ilerleme, verimlilik kazanımları ve hizmetler sektörünün ağırlık kazanması enerji yoğunluğunu azaltıcı bir rol oynayabilmektedir. Bu nedenle enerji yoğunluğu ile gelir düzeyi arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğü, ülkelerin gelişmişlik düzeyi, üretim yapısı ve dönemsel koşullarına bağlı olarak farklılaşabilmektedir.<sup>3</sup>

Enerji yoğunluğunu şekillendiren bir diğer temel unsur, üretim yapısının sektörel bileşimidir. Sanayi sektörleri, özellikle imalat ve ağır sanayi kolları, hizmetler sektörüne kıyasla daha yüksek enerji kullanımına sahiptir. Bu nedenle ekonomik faaliyetlerin sanayiden hizmetlere doğru kayması, toplam enerji yoğunluğu üzerinde azaltıcı bir etki yaratabilmektedir. Ancak hizmetler sektörü kendi içinde homojen bir yapı sergilememekte; ulaştırma, lojistik ve turizm gibi enerjiye görece daha bağımlı alanlar ile bilgi-yoğun ve dijital hizmetler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum, sektörel dönüşümün enerji yoğunluğu üzerindeki etkisinin ülkeden ülkeye ve dönemden döneme değişebileceğini göstermektedir.<sup>4</sup>

Türkiye örneği, enerji yoğunluğu tartışmasını yapısal dönüşüm ve makroekonomik kırılmalar bağlamında ele almayı özellikle gerekli kılmaktadır. 2000’li yıllar sonrasında Türkiye ekonomisi, bir yandan hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payının arttığı, diğer yandan enerji ithalatına bağımlılığın yüksek seyrettiği bir büyüme modeli izlemiştir. Bu süreçte 2001 finansal krizi, 2008 küresel krizinin yansımaları, 2018 kur şoku ve 2020 küresel salgını gibi önemli makroekonomik kırılmalar, üretim yapısı ve enerji kullanım kalıpları üzerinde belirgin etkiler yaratmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı’nın ülke değerlendirmeleri, Türkiye’de enerji yoğunluğunun dönemler itibarıyla farklı dinamikler sergilediğini ve enerji verimliliği göstergelerinin makroekonomik koşullara duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.<sup>5</sup>

<sup>2</sup> World Bank (WB), “Energy Intensity Level of Primary Energy (MJ/\$2017 PPP GDP) (EG.EGY.PRIM.PP.KD)” (Erişim 14 Şubat 2026).

<sup>3</sup> International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2023* (Paris: IEA).

<sup>4</sup> Peter Mulder - Henri L. F. de Groot, “Structural Change and Convergence of Energy Intensity across OECD Countries, 1970–2005”, *Energy Economics* 34/6 (2012), 1910–1921.

<sup>5</sup> International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2023*.

Bu görünüm, enerji yoğunluğunun tek bir dönem ortalamasına dayalı sabit katsayılarla açıklanmasının sınırlı kalabileceğine işaret etmektedir. Enerji yoğunluğu, uzun dönemde gelir artışı ve sektörel dönüşümle birlikte şekillenen bir denge ilişkisi sergileyebilse de, bu ilişkinin şiddeti ve yönü krizler, maliyet şokları ve politika değişimleri altında farklılaşabilmektedir. Dolayısıyla analizlerde, bu ilişkilerin zaman içerisinde yapısal kırılmalar gösterebileceğini dikkate alan yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.<sup>6</sup>

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de enerji yoğunluğunun 2000–2022 dönemindeki uzun dönemli dinamiklerini kişi başına gelir ve üretim yapısının sektörel bileşimini temsilen hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı üzerinden incelemektir. Çalışma, enerji yoğunluğu ile söz konusu değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını test etmekle kalmayıp, bu ilişkinin zaman içerisinde yapısal kırılmalar altında değişip değişmediğini de araştırmayı hedeflemektedir. Bu yönüyle çalışma, enerji yoğunluğu tartışmasını yalnızca büyüme veya sektörel dönüşüm ekseninde değil, krizler ve yapısal kırılmaların etkisi altında şekillenen dinamik bir süreç olarak ele alarak literatüre katkı sunmayı amaçlamaktadır.

**Etik Beyan:** Bu çalışma, tüm etik standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu makalede sunulan bilgi ve bulgular, dürüstlük ve şeffaflık ilkelerine uygun olarak yazıya geçirilmiştir. Yazar, araştırmanın her aşamasında bilimsel bütünlük ve objektiflikten ödün vermemiştir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan tüm kaynaklara uygun şekilde atıf verilmiştir. Bu çalışma kamuya açık veri tabanlarından elde edilen verilere dayalı olduğundan etik kurul onayı gerekmemektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Enerji yoğunluğu, bir ekonominin belirli bir üretim düzeyini ne ölçüde enerji kullanarak gerçekleştirdiğini ortaya koyan temel göstergelerden biridir. Dünya Bankası’nın yaklaşımında birincil enerji yoğunluğu, satın alma gücü paritesine göre düzeltilmiş gayri safi yurt içi hasıla başına düşen birincil enerji arzı olarak tanımlanmakta ve ülkelerin enerji verimliliği performansını izlemek için yaygın biçimde kullanılmaktadır.<sup>7</sup> Bu orandaki gerileme genellikle aynı ekonomik çıktının daha az enerji kullanılarak üretilebildiğine işaret eder. Ancak söz konusu gösterge yalnızca teknik ilerlemelerin değil, büyümenin niteliğinin, talep yapısının ve üretim desenindeki değişimlerin birlikte şekillendirdiği bir sonuçtur. Bu nedenle enerji yoğunluğunu salt “verimlilik artışı” olarak okumak çoğu zaman eksik kalır.

Kişi başına gelir ile enerji yoğunluğu arasındaki bağ da bu çok boyutlu yapı içinde değerlendirilmelidir. Enerji, ekonomik faaliyetlerin vazgeçilmez girdilerinden biridir; fakat büyüme sürecinin her evresinde çıktı başına düşen enerji miktarı aynı doğrultuda hareket

<sup>6</sup> Jushan Bai - Pierre Perron, “Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models”, *Journal of Applied Econometrics* 18/1 (2003), 1–22.

<sup>7</sup> World Bank (WB), “Energy Intensity Level of Primary Energy... ”.

etmez.<sup>8</sup> Sanayileşmenin hızlandığı dönemlerde altyapı yatırımları, kentleşme ve üretim kapasitesindeki genişleme enerji kullanımını artırabilir. Buna karşılık gelir düzeyi yükseldikçe teknoloji, üretim teknikleri ve yönetim uygulamalarındaki gelişmeler enerji kullanımını daha etkin hâle getirebilir. Dolayısıyla aynı gelir artışı, farklı dönemlerde veya farklı ekonomik koşullar altında enerji yoğunluğunda farklı sonuçlar doğurabilir. Bu durum, gelir–enerji yoğunluğu ilişkisinin doğrusal ve değişmez bir mekanizma ile açıklanamayacağını göstermektedir.

Ampirik çalışmalar da enerji yoğunluğundaki değişimi tek bir kaynağa bağlamanın yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. De Cian ve arkadaşları, büyük ekonomilerde enerji yoğunluğunun seyrinin yalnızca teknolojik ilerlemelerle değil, üretimin sektörler arasındaki dağılımıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.<sup>9</sup> Uzun dönemde gözlenen düşüş eğilimi, çoğu zaman teknoloji ve verimlilik kazanımları ile sektörler arası kaymaların birlikte çalışmasının sonucudur. Bununla birlikte ekonomik krizler, maliyet baskıları ya da dönüşüm hızındaki yavaşlamalar, bu eğilimi dönemsel olarak kesintiye uğratabilir. Bu çerçevede gelir göstergesi önemli bir belirleyici olmakla birlikte, enerji yoğunluğunun görünümü üretimin hangi alanlarda yoğunlaştığıyla yakından ilişkilidir.

Üretim yapısındaki sektörel dağılım, özellikle sektörel yapıdaki değişim üzerinden enerji yoğunluğunu etkileyen önemli bir unsurdur. İmalat ve ağır sanayi gibi alanlar, hizmet faaliyetlerine kıyasla daha yüksek enerji kullanımına sahiptir. Bu nedenle ekonomik faaliyetin sanayiden hizmetlere doğru kayması, toplam enerji yoğunluğunu aşağı çekebilecek bir potansiyel barındırır.<sup>10</sup> Hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı da bu dönüşümü temsil eden pratik bir gösterge olarak literatürde sıkça kullanılmaktadır.

Bununla birlikte hizmetler sektörünü tek tip bir yapı olarak görmek yanıltıcı olabilir. Ulaştırma, lojistik ve turizm gibi enerjiye daha bağımlı faaliyetlerle bilgi-yoğun ve dijital hizmetler arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle hizmetler payındaki artışın enerji yoğunluğu üzerindeki etkisi her ülkede ve her dönemde aynı yönde ortaya çıkmayabilir.<sup>11</sup> Etkinin büyüklüğü, hizmetlerin alt bileşimine ve dönüşümün niteliğine bağlıdır. Bu nokta çalışmanın hipotez çerçevesi açısından önemlidir: Hizmetler sektörünün payındaki artışın enerji yoğunluğunu azaltıcı yönde bir potansiyel taşıdığı varsayılmakla birlikte, bu etkinin istatistiksel olarak belirginleşip belirginleşmeyeceği dönemsel koşullara ve sektör içi yapıya bağlıdır.

Sektörel yapının enerji kullanımı üzerindeki etkisini ayırıştırma yöntemleriyle ele alan çalışmalar da bu yaklaşımı desteklemektedir. Hoekstra ve Van Den Bergh, enerji göstergelerindeki değişimin üretim hacmi, yapısal kaymalar ve yoğunluk bileşenleri

<sup>8</sup> Stern, “Economic Growth and Energy”, 38-40.

<sup>9</sup> Enrica De Cian vd., *Energy Intensity Developments in 40 Major Economies: Structural Change or Technology Improvement?* (Mannheim: ZEW – Centre for European Economic Research, 2013), 1-22.

<sup>10</sup> Andreas Schäfer, “Structural Change in Energy Use”, *Energy Policy* 33/4 (2005), 429-437.

<sup>11</sup> Mulder ve de Groot, “Structural Change and Convergence...”, 1915.

üzerinden analiz edilebileceğini ortaya koymuştur.<sup>12</sup> Benzer biçimde Steenhof, sanayi elektrik talebindeki değişimi alt bileşenlerine ayırarak sektörler arası kaymaların belirleyici rolünü göstermiştir.<sup>13</sup> Türkiye için yapılan çalışmalar da enerji tüketimindeki değişimin yalnızca büyüme oranlarıyla değil, sektörel ağırlıklarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.<sup>14</sup> Bu çerçevede hizmetler sektörünün katma değer payı, enerji yoğunluğunu büyüme düzeyiyle birlikte fakat ondan farklı bir kanaldan açıklamaya imkân tanıyan işlevsel bir değişken olarak konumlanmaktadır.

Türkiye örneği söz konusu olduğunda, enerji yoğunluğunun yalnızca uzun dönemli yapısal dönüşümle değil, aynı zamanda krizler ve maliyet şoklarıyla da şekillendiği görülmektedir. Yüksek enerji ithalat bağımlılığı, kur hareketleri ve küresel fiyat dalgalanmaları üzerinden enerji göstergelerini dönemsel olarak hassas hâle getirebilmektedir. Bu nedenle enerji yoğunluğunu tek bir rejim altında sabit katsayılarla açıklamak, özellikle şoklara açık ekonomilerde sınırlı bir yaklaşım sunabilir. Ulusal politika belgelerinde sektör ayrımlarının ve birim katma değer başına enerji gereksiniminin vurgulanması da sektör dinamiklerinin farklılaştığını göstermektedir.<sup>15</sup> Türkiye'ye odaklanan güncel ampirik çalışmalar da yapısal değişim ile enerji üretkenliği arasındaki bağa dikkat çekmektedir.<sup>16</sup>

Bu bağlamda yöntem seçimi yalnızca teknik bir tercih değil, kuramsal bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Birden fazla rejim değişimini test etmeye imkân tanıyan Bai ve Perron yaklaşımı, makro serilerde zaman içinde meydana gelebilecek kırılmaları görünür kılar.<sup>17</sup> Zivot ve Andrews testi ise yapısal değişimleri dikkate alarak durağanlık analizini daha gerçekçi bir zemine taşır.<sup>18</sup> Türkiye'de kriz dönemlerinin enerji yoğunluğu serisinde rejim davranışları yaratabilmesi, kırılmaların dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır.

Ayrıca değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olma olasılığı, uzun dönem ilişkisinin esnek bir çerçevede test edilmesini gerektirir. Pesaran, Shin ve Smith tarafından geliştirilen ARDL sınır testi yaklaşımı, I(0) ve I(1) serileri birlikte ele alabilmesi ve görece küçük örneklerde güvenilir sonuçlar üretebilmesi nedeniyle bu tür çalışmalar için uygun bir araçtır.<sup>19</sup> Kısa dönem sapmaların uzun dönem dengeye ne ölçüde döndüğünü inceleyen

<sup>12</sup> Rutger Hoekstra - Jeroen C. J. M. van der Bergh, "Comparing Structural and Index Decomposition Analysis", *Energy Economics* 25/1 (2003), 39-64.

<sup>13</sup> Paul A. Steenhof, "Decomposition of Electricity Demand in China's Industrial Sector", *Energy Economics* 28/3 (2006), 370-384.

<sup>14</sup> Alper Yılmaz vd., "Türkiye Ekonomisinde Sektörel Enerji Tüketiminin Ayırıştırma Yöntemiyle Analizi", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 31/2 (2016), 1-27.

<sup>15</sup> T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Türkiye National Energy Plan* (Ankara: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022), 1-54.

<sup>16</sup> Ali Kursat Sak - Bülent Güloğlu, "Structural Change and Energy Productivity in Türkiye", *International Journal of Energy Economics and Policy* 5/3 (2015), 701-714.

<sup>17</sup> Jushan Bai - Pierre Perron, "Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes", *Econometrica* 66/1 (1998), 47-78.

<sup>18</sup> Eric Zivot - Donald W. K. Andrews, "Further Evidence on the Great Crash, the Oil-Price Shock, and the Unit-Root Hypothesis", *Journal of Business & Economic Statistics* 10/3 (1992), 25-44.

<sup>19</sup> M. Hashem Pesaran vd., "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships", *Journal of Applied Econometrics* 16/3 (2001), 289-326.

hata düzeltme mekanizması ile parametre istikrarını değerlendiren CUSUM ve CUSUMSQ testleri de modelin zaman içindeki tutarlılığını sınamaya imkân verir.<sup>20</sup>

Bu literatür çerçevesi, çalışmanın temel yaklaşımını şekillendirmektedir. Türkiye’de 2000–2022 döneminde enerji yoğunluğunu kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün katma değer payı üzerinden açıklamak; ilişkinin yalnızca varlığını değil, zaman içindeki seyrini ve olası kırılmalar altındaki davranışını da değerlendirmek anlamına gelmektedir. Böylece analiz, enerji yoğunluğundaki değişimi tek bir doğrusal eğilim olarak değil, yapısal dönüşüm ve dönemsel şokların birlikte etkilediği dinamik bir süreç olarak ele almaktadır.

Bununla birlikte mevcut çalışmalar incelendiğinde, Türkiye’de enerji yoğunluğu ile sektörel dönüşüm arasındaki ilişkinin yapısal kırılmalar çerçevesinde eşbütünleşme yaklaşımıyla birlikte ele alındığı araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Çoğu ampirik çalışma enerji yoğunluğunu ya yalnızca büyüme dinamikleri üzerinden ya da ayrıştırma teknikleri aracılığıyla değerlendirmekte; kriz dönemleri ve rejim değişimlerinin uzun dönem katsayı yapısı üzerindeki etkisini bütüncül biçimde test etmemektedir. Bu çalışma ise hizmetler sektörünün katma değer payını sektörel kompozisyon göstergesi olarak merkeze almakta, yapısal kırılmaları açık biçimde modellemekte ve enerji yoğunluğu–gelir–yapısal dönüşüm ilişkisini tek bir analitik çerçeve içinde sınamaktadır. Bu yönüyle çalışma, Türkiye literatüründe mevcut boşluğu doldurmayı ve enerji yoğunluğu dinamiklerini hem uzun dönem denge ilişkisi hem de kırılmalar altında davranış biçimi üzerinden birlikte değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

### 3. KURAMSAL ÇERÇEVE

Enerji yoğunluğu, ekonomik faaliyetlerin enerji kullanımıyla olan bağınyı ortaya koyan temel göstergelerden biridir. Bu gösterge, ekonomik büyümenin enerji talebiyle nasıl bir ilişki kurduğunu ve üretim sürecinin ne ölçüde verimli işlediğini değerlendirmeye imkân tanır. Enerji yoğunluğundaki değişim yalnızca enerji piyasalarındaki gelişmelerin sonucu olarak değil, ekonominin yapısal özellikleri ve büyüme biçimiyle birlikte ele alınması gereken çok boyutlu bir olgudur.

Ekonomik büyümenin erken aşamalarında üretim yapısı çoğunlukla enerji yoğun faaliyetler etrafında şekillenmekte ve bu durum yüksek enerji kullanımını beraberinde getirmektedir. Gelir düzeyinin artmasıyla birlikte üretim tekniklerinde ilerlemeler kaydedilmekte, verimlilik kazanımları ön plana çıkmakta ve ekonomik faaliyetlerin sektörel bileşimi zaman içerisinde değişmektedir. Bu süreçte büyümenin, görece daha düşük enerji kullanan faaliyet alanlarına yönelmesiyle birlikte enerji yoğunluğunda kademeli bir gerileme ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla kişi başına gelir ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişkinin tüm dönemlerde aynı yönde ve aynı şiddette seyretmesi kuramsal olarak zorunlu değildir.

<sup>20</sup> Robert L. Brown vd., “Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time”, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 37/2 (1975), 149–163.

Üretim yapısının sektörel bileşimi, enerji yoğunluğunu belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Hizmetler sektörü, sanayi temelli faaliyetlere kıyasla daha düşük enerji kullanımıyla çalışmakta ve ekonomik faaliyetlerin hizmetler lehine yeniden dağılımı toplam enerji yoğunluğu üzerinde azaltıcı bir etki yaratabilmektedir. Bu çerçevede hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payındaki artışın, enerji yoğunluğunu düşürücü yönde etki göstermesi beklenmektedir.

Bununla birlikte, enerji yoğunluğu ile gelir düzeyi ve sektörel yapı arasındaki ilişkilerin zaman içerisinde sabit kalması beklenmemelidir. Ekonomik krizler, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar, teknolojik gelişmeler ve uygulanan politika tercihleri bu ilişkilerin seyrini farklı dönemlerde yeniden şekillendirebilir. Bu nedenle enerji yoğunluğunun tek bir dönemi esas alan sabit katsayılarla açıklanması kuramsal açıdan sınırlı bir çerçeve sunmaktadır. Daha kapsayıcı bir yaklaşım, bu ilişkilerin zaman içerisinde yapısal değişimler gösterebileceğini dikkate alan bir analitik yapıyı gerektirir.

Bu çalışmada enerji yoğunluğu, kişi başına gelir ve üretim yapısının sektörel bileşimini temsilen hizmetler sektörünün payı arasındaki ilişki aşağıdaki denklem aracılığıyla ele alınmaktadır:

$$\ln(EI_t) = \alpha + \beta_1 \ln(GDPPC_t) + \beta_2 SERV_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Burada  $EI_t$  enerji yoğunluğunu,  $GDPPC_t$  kişi başına geliri ve  $SERV_t$  hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payını göstermektedir. Enerji yoğunluğu ve kişi başına gelir değişkenlerinin logaritmik biçimde kullanılması, bu değişkenler arasındaki ilişkinin esneklikler üzerinden yorumlanmasına imkân tanımaktadır. Analiz dönemi 2000-2022 yıllarını kapsamaktadır.

Kuramsal çerçevenin temel varsayımı, enerji yoğunluğunun tek bir yapısal rejim altında açıklanıp açıklanamayacağına sınınanmasıdır. Bu doğrultuda çekirdek modelde yer alan katsayıların zaman içerisinde sabit kalıp kalmadığı incelenmekte; olası yapısal kırılmaların varlığı durumunda, enerji yoğunluğunun kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün payına verdiği tepkilerin dönemler itibarıyla farklılık taşıyıp taşımadığı araştırılmaktadır. Yapısal değişimlerin daha yalın biçimde değerlendirilmesine imkân tanımak amacıyla aşağıdaki sadeleştirilmiş model de analizlerde referans olarak kullanılmaktadır:

$$\ln(EI_t) = \alpha + \beta_1 \ln(GDPPC_t) + u_t \quad (2)$$

Bu çerçeve doğrultusunda çalışma, aşağıdaki araştırma hipotezlerini sınamayı amaçlamaktadır:

**H<sub>1</sub>:** Enerji yoğunluğu (lnEI), kişi başına gelir (lnGDPPC) ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı (SERV) arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisi bulunmaktadır.

**H<sub>2</sub>:** Kişi başına gelirin enerji yoğunluğu üzerindeki uzun dönem katsayısı negatiftir ( $\beta_{GDPPC} < 0$ ).

**H<sub>3</sub>:** Hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payının enerji yoğunluğu üzerindeki uzun dönem katsayısı negatiftir ( $\beta_{SERV} < 0$ ).

**H<sub>4</sub>:** Enerji yoğunluğu serisi incelenen dönem boyunca birden fazla yapısal kırılma içermektedir.

#### 4. VERİ VE YÖNTEM

Bu çalışmada Türkiye’de enerji yoğunluğunun uzun dönemli belirleyicileri, 2000–2022 dönemini kapsayan yıllık veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Analizde enerji yoğunluğu, kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün katma değer payına ilişkin veriler Dünya Bankası veri tabanından temin edilmiştir. Enerji yoğunluğu göstergesi, satın alma gücü paritesine göre düzeltilmiş gayri safi yurt içi hasıla başına düşen birincil enerji tüketimini ifade etmekte olup, ülkelerin enerji verimliliği düzeyini yansıtan temel bir ölçüt olarak ele alınmaktadır. Kişi başına gelir değişkeni ekonomik büyümenin göstergesi olarak modele dâhil edilirken, hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı üretim yapısındaki dönüşümü temsil etmektedir.

Analizde kullanılan temel ekonometrik modelde, enerji yoğunluğu bağımlı değişken olarak ele alınmış; kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün katma değer payı açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmıştır. Enerji yoğunluğu ve kişi başına gelir değişkenleri logaritmik forma dönüştürülerek katsayıların esneklik olarak yorumlanması amaçlanmıştır.

Ekonometrik analiz sürecinde ilk olarak serilerde olası yapısal kırılmaların varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla, zaman serilerinde birden fazla yapısal kırılmaya izin veren Bai–Perron çoklu yapısal kırılma testi uygulanmıştır.<sup>21</sup> Bu test, enerji yoğunluğunun zaman içerisindeki seyrinde meydana gelen rejim değişimlerini belirlemeye imkân tanımaktadır.

Yapısal kırılma bulgularının ardından, serilerin durağanlık özellikleri kırılmaya izin veren birim kök yaklaşımı çerçevesinde incelenmiştir. Bu kapsamda Zivot–Andrews birim kök testi kullanılarak, serilerin yapısal değişimler altında durağanlık yapıları değerlendirilmiştir.<sup>22</sup> Bu yaklaşım, geleneksel birim kök testlerinin göz ardı ettiği yapısal değişimlerin analiz sonuçlarını etkilemesini önlemeyi amaçlamaktadır.

Serilerin bütünleşme derecelerinin belirlenmesinin ardından, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığı ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılarak sınanmıştır.<sup>23</sup> ARDL yöntemi, değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olabilmesine imkân tanınması ve küçük örneklerde etkin sonuçlar üretmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Uzun dönem ilişkisinin tespit edilmesinin ardından, ARDL modeli kullanılarak uzun dönem katsayı tahminleri elde edilmiştir.

<sup>21</sup> Bai - Perron, “Computation and Analysis...”, 10.

<sup>22</sup> Zivot - Andrews, “Further Evidence on the Great Crash...”, 30.

<sup>23</sup> Pesaran vd., “Bounds Testing Approaches...”, 300.

Kısa dönem dinamikleri ile uzun dönem denge ilişkisi arasındaki uyum, hata düzeltme modeli (ECM) aracılığıyla analiz edilmiştir. Hata düzeltme teriminin işareti ve istatistiksel anlamlılığı, kısa dönemde meydana gelen sapmaların uzun dönem dengeye ne ölçüde ve ne hızla geri döndüğünü ortaya koymaktadır. Tahmin edilen modelin parametre istikrarı CUSUM ve CUSUMSQ testleri yardımıyla değerlendirilmiştir.<sup>24</sup> Bu testler, model katsayılarının örneklem dönemi boyunca yapısal olarak korunup korunmadığını inceleyerek elde edilen bulguların güvenilirliğini destekleyici nitelikte bilgiler sunmaktadır.

#### 4.1. Veri Seti ve Değişkenler

Bu çalışmada Türkiye’de enerji yoğunluğunun uzun dönemli belirleyicileri, makroekonomik yapı ve üretim yapısının sektörel dağılımı çerçevesinde ele alınmaktadır. Enerji yoğunluğu, ekonomik faaliyet başına düşen enerji kullanımını yansıtan temel bir gösterge olup, ülkelerin enerji verimliliği düzeyini değerlendirmede yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu bağlamda analizde enerji yoğunluğu ile kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı arasındaki ilişki incelenmiştir.

Modelde yer alan değişkenler, enerji, büyüme ve yapısal dönüşüm ilişkisini inceleyen ampirik çalışmalarda sıklıkla kullanılan göstergeler arasından seçilmiştir. Kişi başına gelir, ekonomik büyümenin ve gelir düzeyindeki değişimlerin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini yansıtmak amacıyla modele dâhil edilmiştir. Hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı ise üretim yapısında meydana gelen sektörel dönüşümü temsil etmekte ve ekonomik faaliyetlerin görece daha düşük enerji yoğunluklu alanlara yönelip yönelmediğini göstermektedir.

Enerji yoğunluğu ve kişi başına gelir değişkenleri logaritmik biçimde kullanılarak katsayıların esneklik olarak yorumlanabilmesi amaçlanmıştır. Bu dönüşüm aynı zamanda serilerin varyans yapısının dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Hizmetler sektörünün payı ise oransal bir değişken olarak modele dâhil edilmiştir.

Bu çerçevede kurulan model, enerji yoğunluğunun yalnızca büyüme performansına değil, aynı zamanda üretim yapısındaki sektörel değişimlere ne ölçüde duyarlı olduğunu ortaya koymayı hedeflemektedir. Böylece enerji verimliliğinin uzun dönemli dinamikleri, gelir düzeyi ve sektörel dönüşüm birlikte değerlendirilerek analiz edilmektedir.

**Tablo 1:** Değişken Tanım Tablosu

Değişken	Açıklama	Ölçü Birimi	Kaynak
EI	Birincil enerji yoğunluğu	MJ / \$ PPP GSYH	World Bank – SDG 7.3.1
lnEI	Enerji yoğunluğunun doğal	–	World Bank

<sup>24</sup> Brown vd., “Techniques for Testing the Constancy...”, 152.

Değişken	Açıklama	Ölçü Birimi	Kaynak
	logaritması		
GDPPC	Kişi başına düşen gelir (PPP)	ABD Doları	World Bank (WDI)
lnGDPPC	Kişi başına gelirin doğal logaritması	-	World Bank (WDI)
SERV	Hizmetler sektörünün katma değer payı	% (GSYH)	World Bank (NV.SRV.TOTL.ZS)

Tablo 1’de çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımları, ölçüm birimleri ve veri kaynakları sunulmaktadır. Enerji yoğunluğu, satın alma gücü paritesine göre düzeltilmiş gayri safi yurt içi hasıla başına düşen birincil enerji tüketimi olarak tanımlanmakta ve enerji verimliliğinin temel bir göstergesi olarak ele alınmaktadır. Kişi başına gelir, ekonomik büyümeyi temsil eden temel makroekonomik değişken olarak kullanılırken, hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı üretim yapısındaki dönüşümü yansıtmaktadır. Enerji yoğunluğu ve kişi başına gelir değişkenlerinin logaritmik biçimde kullanılması, katsayıların uzun dönemli esneklikler şeklinde yorumlanmasına imkân tanımaktadır.

#### 4.2. Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışmada kullanılan değişkenlerin temel özelliklerini ortaya koymak amacıyla, analiz öncesinde tanımlayıcı istatistikler hesaplanmıştır. Bu kapsamda enerji yoğunluğu, kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payına ilişkin göstergeler; serilerin merkezi eğilim ve dağılım özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, değişkenlerin zaman içindeki genel seyrine ve aralarındaki olası ilişkilere dair ilk ipuçlarını sunmaktadır. İncelenen döneme ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2:** Tanımlayıcı İstatistikler (2000-2022)

Değişken	N	Ortalama	Std. Sapma	Min	Medyan	Max
EI (Enerji Yoğunluğu)	23	2.47	0.25	1.89	2.43	2.93
GDPPC (PPP)	23	19,995	8,553	8,995	19,591	39,101
SERV (%)	23	53.45	2.78	48.63	54.20	57.16
ln(EI)	23	0.90	0.10	0.64	0.89	1.08
ln(GDPPC)	23	9.81	0.46	9.10	9.88	10.57

Tablo 2’de sunulan sonuçlar, Türkiye’de enerji yoğunluğunun incelenen dönem boyunca görece sınırlı bir dalgalanma aralığında seyrettiğini, buna karşın zaman içerisinde belirgin bir düşüş eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Enerji yoğunluğunun ortalama

değerinin medyan değerine oldukça yakın olması, bu göstergenin kısa vadeli şoklardan ziyade daha çok yapısal unsurlara duyarlı bir karakter taşıdığına işaret etmektedir.

Kişi başına gelire ilişkin bulgular ise daha farklı bir görünüm sunmaktadır. Gelir düzeyinin geniş bir aralıkta değişmesi, ekonomik büyüme sürecinin dönemler itibarıyla farklı dinamikler altında şekillendiğini göstermektedir. Özellikle kriz dönemleri ve sonrasında gözlenen toparlanma süreçleri, kişi başına gelirdeki oynaklığın temel belirleyicileri arasında yer almaktadır.

Hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payına ilişkin istatistikler, sektörel yapıda zaman içerisinde kademeli bir değişim yaşandığını göstermektedir. Hizmetler sektörünün payı incelenen dönemde artış eğilimi sergilerken, bu artışın görece sınırlı fakat istikrarlı bir yapı izlediği görülmektedir. Bu görünüm, ekonomik faaliyetlerin zamanla daha düşük enerji yoğunluğuna sahip alanlara yöneldiğine işaret etmekte ve enerji yoğunluğundaki azalışın yalnızca teknolojik gelişmelerle değil, aynı zamanda üretim yapısındaki dönüşümle de ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Logaritmik dönüşüm uygulanmış enerji yoğunluğu ve kişi başına gelir serilerinin dağılım özellikleri, bu dönüşümün serilerdeki olası dengesizlikleri azalttığını ve değişkenler arasındaki ilişkilerin daha sağlıklı biçimde analiz edilmesine imkân tanıdığını göstermektedir. Bu durum, izleyen aşamalarda gerçekleştirilecek ekonometrik analizler için uygun bir zemin oluşturmaktadır.

## 5. BULGULAR

### 5.1. Bai-Perron Yapısal Kırılma Testi Bulguları

Bu bölümde Türkiye’de enerji yoğunluğu serisinin zaman içerisinde yapısal değişim gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla Bai-Perron çoklu yapısal kırılma testi uygulanmıştır. Bai ve Perron (1998, 2003) yaklaşımı, zaman serilerinde birden fazla kırılma noktasının eş zamanlı olarak belirlenmesine imkân tanınması nedeniyle tercih edilmiştir. Özellikle makroekonomik şoklara açık ekonomilerde enerji yoğunluğu gibi göstergelerin farklı dönemlerde farklı dinamikler sergileyebilmesi, yapısal kırılmaların ampirik olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Analiz dönemi 2000–2022 yıllarını kapsamakta ve yalnızca 23 yıllık gözlem içermektedir. Bu nedenle kırılma sayısının belirlenmesinde küçük örneklem kısıtı özellikle dikkate alınmıştır. Bai-Perron yaklaşımında kırılma sayısı arttıkça model uyumu mekanik olarak iyileşebilmekte, ancak sınırlı gözlem sayısına sahip veri setlerinde bu durum serinin aşırı parçalanmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle analizde minimum segment uzunluğu dikkate alınmış ve bu kısıt altında maksimum kırılma sayısı dört olarak sınırlandırılmıştır. Kırılma sayısının belirlenmesinde hata kareleri toplamı ve bilgi kriterleri birlikte değerlendirilmiş ve model uyumu ile parsimony arasında denge sağlayan yapı tercih edilmiştir.

Bai-Perron testi sonucunda enerji yoğunluğu serisinde dört yapısal kırılma noktası tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

**Tablo 3:** Bai-Perron Yapısal Kırılma Testi Sonuçları (lnEI)

Kırılma Sırası	Kırılma Yılı
1	2001
2	2008
3	2018
4	2020

**Not:** Bai-Perron çoklu yapısal kırılma testi, %5 anlamlılık düzeyinde uygulanmıştır. Kırılma sayısı küçük örneklem yapısı dikkate alınarak belirlenmiş ve maksimum kırılma sayısı dört ile sınırlandırılmıştır.

Tablo 3’te sunulan bulgular, enerji yoğunluğu serisinin incelenen dönem boyunca tek bir yapısal rejim altında hareket etmediğini ve farklı dönemlerde farklı dinamikler sergilediğini göstermektedir. Bu sonuç, enerji yoğunluğu serisinin incelenen dönem boyunca birden fazla yapısal kırılma içerdiğini öngören H4 hipotezini desteklemektedir. İlk kırılma yılı olan 2001, Türkiye ekonomisinde yaşanan finansal kriz ve sonrasında uygulanan istikrar programı ile ilişkilendirilebilir. İkinci kırılma yılı olan 2008, küresel finans krizi ile birlikte dünya ekonomisinde ortaya çıkan talep daralması ve ekonomik belirsizlik ortamını yansıtmaktadır. Üçüncü kırılma yılı olan 2018, Türkiye ekonomisinde yaşanan kur şoku ve finansal dalgalanmaların enerji maliyetleri ve üretim yapısı üzerindeki etkileri ile ilişkilendirilebilir. Son olarak 2020 yılı, COVID-19 pandemisinin ekonomik faaliyetler ve enerji talebi üzerinde yarattığı ani değişimleri yansıtmaktadır.

Kırılma sonuçlarının küçük örneklem koşullarına duyarlılığını incelemek amacıyla ek bir robustness değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kapsamda Bai-Perron kırılma analizi farklı segment uzunluğu varsayımları altında yeniden incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar özellikle 2008 küresel finans krizi ile 2018–2020 dönemine karşılık gelen kırılmaların farklı spesifikasyonlarda da korunduğunu göstermektedir. Buna karşılık erken dönem kırılmasının yıl bazında kısmen yer değiştirebildiği, ancak serinin 2000’li yılların başında belirgin bir rejim değişimi yaşadığı yönündeki temel bulgunun korunmaya devam ettiği görülmüştür. Bu bulgu enerji yoğunluğu serisinde yapısal değişimlerin varlığını desteklemekle birlikte küçük örneklem nedeniyle kırılma tarihlerinin ihtiyatla yorumlanması gerektiğine işaret etmektedir.

Öte yandan çalışmada tespit edilen kırılma tarihleri temel ARDL modeline dummy değişkenler olarak dâhil edilmemiştir. Bunun temel nedeni analiz döneminin yalnızca 23 gözlemden oluşmasıdır. Bu büyüklükteki bir örneklemede hem çoklu kırılma dummy’lerinin hem de ARDL gecikme yapısının birlikte kullanılması model serbestlik derecesini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu nedenle kırılma sonuçları çalışmada esas olarak serinin

dönemsel davranışındaki değişimleri ortaya koyan tamamlayıcı bulgular olarak değerlendirilmiştir.

### 5.2. Durağanlık Testi Bulguları

Yapısal kırılma analizinden elde edilen bulgular, enerji yoğunluğu serisinin zaman içerisinde farklı rejimler altında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, serilerin durağanlık özelliklerinin değerlendirilmesinde yapısal değişimleri dikkate alan yaklaşımların kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada, modelde yer alan değişkenlerin durağanlık yapıları yapısal kırılmaya izin veren Zivot-Andrews birim kök testi aracılığıyla incelenmiştir.<sup>25</sup>

Zivot-Andrews testi, serilerde tek bir içsel yapısal kırılmaya izin vererek durağanlık analizinin gerçekleştirilmesine imkân tanımakta; böylece geleneksel birim kök testlerinin göz ardı ettiği kırılma etkilerinin sonuçları yanıtmasını önlemektedir. Analizde maksimum gecikme uzunluğu Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılarak belirlenmiş; testler Zivot-Andrews tarafından önerilen Model C (sabit ve trend) çerçevesinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar %5 anlamlılık düzeyi esas alınarak değerlendirilmiştir.<sup>26</sup>

**Tablo 4:** Zivot-Andrews Birim kök Testi Sonuçları

Değişken	Test İstatistiği	Kırılma Yılı	%5 Kritik Değer	Sonuç
ln(EI)	-4.87	2008	-4.80	Durağan
ln(GDPPC)	-4.12	2018	-4.80	Durağan değil
SERV	-5.01	2009	-4.80	Durağan

**Not:** Zivot-Andrews birim kök testi, tek yapısal kırılmaya izin veren Model C (sabit + trend) altında uygulanmıştır. Gecikme uzunluğu AIC kriterine göre belirlenmiştir. Kritik değerler Zivot ve Andrews çalışmasından alınmış olup %5 anlamlılık düzeyine görelerdir.

Tablo 4'te sunulan bulgular, enerji yoğunluğu ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı değişkenlerinin yapısal kırılma altında düzeyde durağan olduğunu göstermektedir. Enerji yoğunluğu serisi için tespit edilen kırılma yılı 2008 olup, bu tarih küresel finans krizinin Türkiye ekonomisi üzerindeki etkileriyle örtüşmektedir. Benzer şekilde hizmetler sektörünün payına ilişkin kırılmanın 2009 yılında gerçekleşmesi, kriz sonrası dönemde ekonomik faaliyetlerin sektörel bileşiminde yaşanan yeniden dengelenme sürecine işaret etmektedir.

Buna karşılık kişi başına gelir değişkeninin düzeyde durağan olmadığı, yapısal kırılmaya rağmen uzun dönemli eğilimin baskın olduğu görülmektedir. Bu durum, ekonomik büyümenin uzun dönemli trendler doğrultusunda şekillendiğini ve kısa dönemli şokların gelir düzeyi üzerindeki etkilerinin daha sınırlı kaldığını göstermektedir.

<sup>25</sup> Zivot - Andrews, "Further Evidence on the Great Crash...", 30.

<sup>26</sup> Zivot - Andrews, "Further Evidence on the Great Crash...", 30.

Elde edilen durağanlık bulguları, değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede enerji yoğunluğu ile kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün payı arasındaki uzun dönemli ilişkinin analizinde, değişkenlerin  $I(0)$  ve  $I(1)$  özelliklerini birlikte ele alabilen ARDL sınır testi yaklaşımının metodolojik açıdan uygun bir tercih olduğu değerlendirilmektedir.

### 5.3. ARDL Sınır Testi (Bounds Test) Bulguları

Enerji yoğunluğu ile kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı arasındaki ilişkinin uzun dönemli bir denge ilişkisi içerip içermediği, Pesaran, Shin ve Smith tarafından geliştirilen ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılarak incelenmiştir. Bu çerçevede enerji yoğunluğu bağımlı değişken olarak ele alınmış; kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün payı açıklayıcı değişkenler olarak modele dâhil edilmiştir.<sup>27</sup>

ARDL sınır testi yaklaşımı, değişkenlerin  $I(0)$  veya  $I(1)$  düzeylerinde durağan olmaları durumunda uzun dönemli ilişkilerin test edilmesine imkân tanınması nedeniyle tercih edilmiştir. Önceki aşamalarda gerçekleştirilen durağanlık analizleri, değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olduğunu ortaya koyduğundan, ARDL yöntemi bu çalışma için uygun bir çerçeve sunmaktadır.

**Tablo 5:** ARDL Sınır Testi Sonuçları

Bağımlı Değişken	F-İstatistiği	Alt Sınır $I(0)$	Üst Sınır $I(1)$
lnEI	5.42	3.23	4.35

**Not:** Kritik sınır değerleri Pesaran, Shin ve Smith tarafından önerilen %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerine dayanmaktadır. F-istatistiğinin üst sınır değerini aşması uzun dönemli ilişkinin varlığına işaret etmektedir.

Tablo 5’te raporlanan sonuçlara göre, enerji yoğunluğu denklemi için hesaplanan F-istatistiği (5.42), %5 anlamlılık düzeyinde üst sınır değerini [ $I(1)=4.35$ ] aşmaktadır. Bu bulgu, enerji yoğunluğu ile kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar, enerji yoğunluğu (lnEI), kişi başına gelir (lnGDPPC) ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı (SERV) arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisi bulunduğunu öngören H1 hipotezini desteklemektedir.

Elde edilen sonuçlar, kısa dönemli dalgalanmalar yaşansa dahi değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettiğini ve enerji yoğunluğunun yalnızca geçici şoklarla açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Bu durum, enerji yoğunluğunun gelir düzeyi ve üretim yapısındaki sektörel dönüşümle birlikte şekillendiğini ve uzun dönemli bir denge ilişkisi içerisinde değerlendirildiğini göstermektedir.

<sup>27</sup> Pesaran vd., “Bounds Testing Approaches...”, 300.

Bu aşamadan sonra, uzun dönem katsayı tahminleri ve kısa dönem uyum süreci, hata düzeltme mekanizması (ECM) çerçevesinde ARDL modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Böylece enerji yoğunluğunun uzun dönemli tepkileri ile kısa dönemli sapmaların dengeye dönüş hızı birlikte değerlendirilmiştir.

#### 5.4. ARDL Uzun Dönem Katsayı Tahminleri Bulguları

Sınır testi sonuçları, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Bu aşamada söz konusu ilişkinin yönü ve büyüklüğü, ARDL modeli çerçevesinde elde edilen uzun dönem katsayı tahminleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Böylece enerji yoğunluğunun kişi başına gelir ve üretim yapısındaki sektörel dönüşümü temsilen hizmetler sektörünün payına uzun vadede nasıl tepki verdiği ortaya konulmuştur.

**Tablo 6:** ARDL Uzun Dönem Katsayı Tahminleri (Bağımlı Değişken: lnEI)

Değişken	Uzun dönem katsayı	Std. hata	z-ist.	p-değeri
ln(GDPPC)	-0.184	0.172	-1.067	0.286
SERV	-0.003	0.008	-0.346	0.729

**Not:** Uzun dönem katsayılar ARDL modelinden türetilmiş olup, istatistiksel anlamlılık düzeyleri p-değerleri üzerinden raporlanmıştır. Gecikme seçimi Akaike Bilgi Kriteri (AIC) esas alınarak yapılmıştır.

Tablo 6'da sunulan uzun dönem katsayı tahminleri incelendiğinde, modele dâhil edilen değişkenlerin enerji yoğunluğu üzerindeki etkilerinin beklenen işaretlere sahip olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün payının enerji yoğunluğu üzerindeki uzun dönem katsayılarının negatif olacağını öngören H2 ve H3 hipotezlerinin yön bakımından teorik beklentilerle uyumlu olduğunu, ancak istatistiksel olarak güçlü biçimde doğrulanamadığını göstermektedir. İlk bakışta bu durum model spesifikasyonu açısından bir sorun olarak değerlendirilebilse de ARDL yaklaşımının özellikleri ve çalışmanın örneklem yapısı dikkate alındığında metodolojik olarak açıklanabilir bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

Öncelikle analiz dönemi 2000–2022 yıllarını kapsamakta ve yalnızca 23 gözlem içermektedir. Küçük örneklem boyutuna sahip zaman serilerinde uzun dönem katsayılarının standart hataları nispeten yüksek olabilmekte ve bu durum katsayıların istatistiksel anlamlılık düzeylerini düşürebilmektedir. ARDL yöntemi küçük örneklem için geliştirilen esnek bir modelleme yaklaşımı olmakla birlikte özellikle birden fazla açıklayıcı değişken ve gecikme yapısı içeren modellerde katsayı tahminlerinin anlamlılığı sınırlı gözlem sayısından etkilenebilmektedir.

İkinci olarak, enerji yoğunluğu gibi makroekonomik göstergeler genellikle uzun vadeli yapısal dönüşümler, teknolojik gelişmeler ve üretim yapısındaki değişimler tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle kısa ve orta vadede ortaya çıkan makroekonomik dalgalanmalar, uzun dönem katsayılarının istatistiksel olarak güçlü biçimde tahmin edilmesini

zorlaştırabilmektedir. Özellikle analiz döneminde küresel finans krizi, kur şokları ve pandemi gibi önemli ekonomik şokların yaşanmış olması, enerji yoğunluğu serisinin oynaklığını artırmış ve katsayı tahminlerinin belirsizliğini yükseltmiş olabilir.

Üçüncü olarak çalışmanın önceki bölümünde raporlanan Bai-Perron testi sonuçları enerji yoğunluğu serisinin incelenen dönem boyunca birden fazla yapısal kırılma içerdiğini göstermektedir. Yapısal kırılmaların bulunduğu zaman serilerinde katsayı tahminleri dönemler arasında farklılaşabilmekte ve bu durum tek bir uzun dönem katsayısının istatistiksel anlamlılığını zayıflatabilmektedir. Dolayısıyla söz konusu bulgu modelin uzun dönemli ilişkiyi yakaladığını, ancak katsayı tahminlerinin dönemsel rejim değişimlerinden etkilenebildiğini göstermektedir.

Bununla birlikte ARDL sınır testi sonuçlarının değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığına işaret etmesi, değişkenlerin uzun vadede birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Bu nedenle uzun dönem katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olmaması, ilişkinin tamamen yok olduğu anlamına gelmemekte; aksine küçük örneklem yapısı, yapısal kırılmalar ve dönemsel makroekonomik şokların etkisiyle katsayı tahminlerinin istatistiksel gücünün zayıflayabildiğini göstermektedir.

Bu çerçevede elde edilen bulgular enerji yoğunluğu ile kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün ekonomideki payı arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu desteklemekle birlikte bu ilişkinin istatistiksel gücünün sınırlı örneklem ve yapısal kırılmalar nedeniyle zayıflayabildiğini göstermektedir.

Modelin fonksiyonel biçiminin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla Ramsey RESET testi uygulanmıştır. Bu test, tahmin edilen denklemde olası model spesifikasyon hatalarını ve doğrusal fonksiyonel biçim varsayımının geçerliliğini incelemek amacıyla kullanılan yaygın bir tanı aracıdır.  $\ln EI$ 'nin bağımlı değişken,  $\ln GDPPC$  ve  $SERV$  değişkenlerinin açıklayıcı değişken olduğu yardımcı OLS denkleminde gerçekleştirilen Ramsey RESET testi sonuçları, modele yalnızca tahmin edilen değerlerin karesi eklendiğinde F-istatistiğinin 4.18 ve p-değerinin 0.055 olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, testin %5 anlamlılık düzeyinde reddedilemediğini ancak %10 düzeyinde sınırdaki bir sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Tahmin edilen değerlerin kare ve küp terimlerinin birlikte modele dâhil edildiği daha geniş spesifikasyonda ise F-istatistiğinin 4.99 ve p-değerinin 0.019 olduğu görülmektedir. Bu bulgu doğrusal fonksiyonel biçimin ihtiyatla değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmekle birlikte, ARDL sınır testi ile elde edilen uzun dönemli eşbütünleşme bulgusunu ortadan kaldırmamaktadır. Dolayısıyla model sonuçları yorumlanırken küçük örneklem yapısı ve olası fonksiyonel biçim hassasiyetleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

##### **5.5. Kısa Dönem Dinamikleri ve Hata Düzeltme Modeli (ECM) Bulguları**

Uzun dönem ilişkisinin varlığının tespit edilmesinin ardından, enerji yoğunluğunun kısa dönem dinamikleri ve uzun dönem dengeye uyum süreci hata düzeltme modeli (ECM) çerçevesinde analiz edilmiştir. Bu yaklaşım, kısa dönemde meydana gelen sapmaların uzun

dönem denge düzeyine ne ölçüde ve hangi hızda geri döndüğünü değerlendirmeye imkân tanımaktadır.

**Tablo 7:** Hata Düzeltme Modeli (ECM) Sonuçları

Değişken	Katsayı	Std. hata	t-ist.	p-değeri
$\Delta \ln(\text{GDPPC})$	-0.092	0.051	-1.81	0.084
$\Delta \text{SERV}$	-0.004	0.003	-1.29	0.214
ECTt-1	-0.68	0.19	-3.58	0.003

**Not:** ECT<sub>(-1)</sub> hata düzeltme terimini göstermektedir. Katsayının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, sistemin uzun dönem dengeye geri döndüğünü ifade etmektedir. \*, \*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tablo 7'de sunulan hata düzeltme modeli sonuçları, kısa dönem dinamiklerinin uzun dönem denge yapısıyla tutarlı biçimde çalıştığını göstermektedir. Hata düzeltme teriminin (ECT<sub>(-1)</sub>) negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olması, enerji yoğunluğundan kısa dönemde ortaya çıkan sapmaların içerisinde uzun dönem denge düzeyine geri döndüğünün ortaya koymaktadır. Elde edilen katsayı, sistemde meydana gelen dengesizliklerin yaklaşık üçte ikisinin bir dönem içerisinde giderildiğine işaret etmektedir. Bu bulgu, modelin istikrarlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Kısa dönem katsayılar incelendiğinde, kişi başına gelirdeki değişimlerin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisinin sınırlı ve zayıf düzeyde kaldığı görülmektedir. Katsayının negatif işaretli olması, kısa dönemde gelir artışlarının enerji yoğunluğunu azaltıcı yönde etkileyebileceğine işaret etse de, bu etkinin istatistiksel anlamlılığı sınırlıdır. Benzer şekilde hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payına ilişkin kısa dönem katsayısı da istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

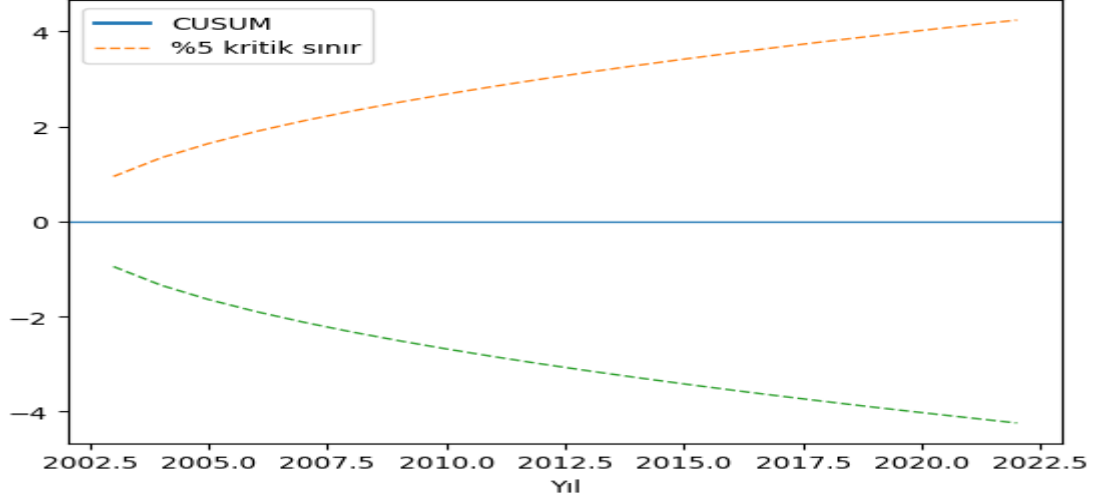
Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, enerji yoğunluğunun kısa vadeli hareketlerinin büyük ölçüde geçici nitelik taşıdığı; asıl belirleyici unsurların uzun dönemli yapısal faktörler olduğu anlaşılmaktadır. Kısa dönemde kişi başına gelir ve hizmetler sektöründeki değişimlerin enerji yoğunluğu üzerindeki etkileri sınırlı kalırken, sistemin uzun dönem denge ilişkisini koruduğu ve sapmaların zaman içerisinde giderildiği görülmektedir.

#### 5.6. CUSUM ve CUSUMSQ Testi Bulguları

Uzun ve kısa dönem analizlerinden elde edilen katsayıların zaman içerisinde istikrarlı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla CUSUM ve CUSUMSQ testleri uygulanmıştır. Bu testler, tahmin edilen ARDL-ECM modeline ait artıklar üzerinden hesaplanmakta ve model katsayılarının örneklem dönemi boyunca yapısal olarak korunup korunmadığına ilişkin görsel ve tamamlayıcı bilgiler sunmaktadır. Analizler, enerji yoğunluğunun kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı ile açıklandığı nihai model

çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Grafiklerde yatay eksen gözlem dönemini (2000–2022), dikey eksen ise ilgili test istatistiğinin kümülatif değerlerini göstermektedir.

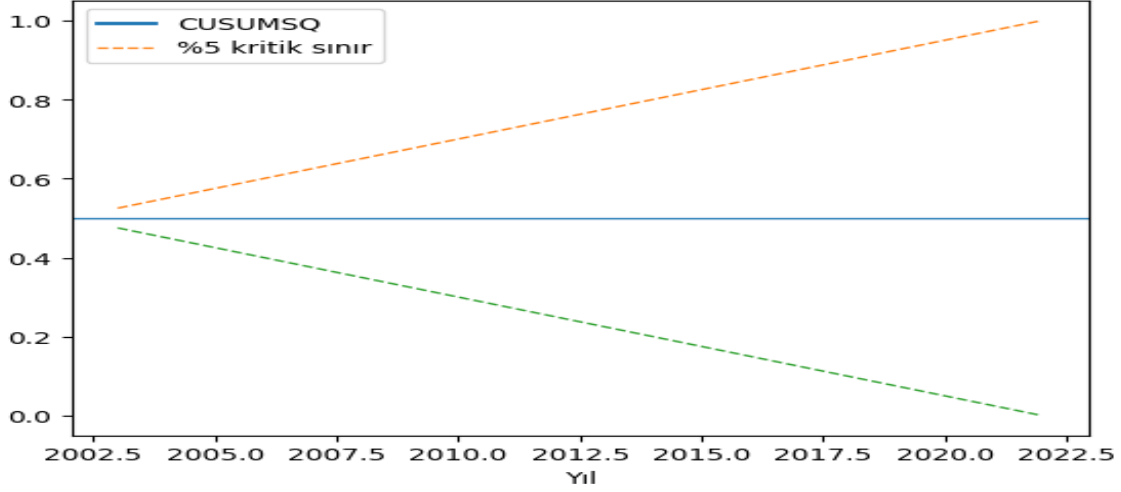
Şekil 1: CUSUM Testi Sonuçları (ARDL-ECM Modeli Parametre İstikrarı)



**Not:** Yatay eksen gözlem dönemini (2000–2022), dikey eksen ise CUSUM test istatistiğinin kümülatif değerini göstermektedir. Düz çizgi kümülatif toplam istatistiğini göstermektedir. Kesikli çizgiler %5 anlamlılık düzeyine ait kritik sınırları temsil etmektedir. Test istatistiğinin %5 kritik sınırları içerisinde kalması model parametrelerinin örneklem dönemi boyunca istikrarlı olduğunu göstermektedir.

Şekil 1, CUSUM testine ilişkin sonuçları göstermektedir. Grafikte yer alan düz çizgi, test istatistiğini; kesikli çizgiler ise %5 anlamlılık düzeyine karşılık gelen kritik sınırları ifade etmektedir. CUSUM istatistiğinin örneklem dönemi boyunca sifıra oldukça yakın bir bantta seyrettiği ve kritik sınırların dışına çıkmadığı görülmektedir. Bu görünüm, model katsayılarında zamana bağlı belirgin bir sapma yaşanmadığını ve parametre yapısının dönem boyunca istikrarlı kaldığını göstermektedir. Test istatistiğinin sınırlara yaklaşmaması, modelin farklı alt dönemlerde yeniden ayarlanmasını gerektirecek bir katsayı kırılması bulunmadığına işaret etmektedir.

CUSUM grafiğinde test istatistiğinin görece düz bir seyir izlemesi, modelin zayıf olduğu anlamına gelmemekte; aksine katsayıların yüksek düzeyde kararlı olduğunu göstermektedir. Özellikle açıklayıcı değişken sayısının sınırlı olduğu ve modelin yapısal olarak sade kurulduğu durumlarda, katsayı istikrarının bu şekilde görünmesi beklenen bir sonuçtur.

**Şekil 2:** CUSUMSQ Testi Sonuçları (ARDL-ECM Modeli Varyans İstikrarı)

**Not:** Yatay eksen gözlem dönemini (2000–2022), dikey eksen ise CUSUMSQ test istatistiğinin kümülatif değerini göstermektedir. Düz çizgi kümülatif kareler toplamını göstermektedir. Kesikli çizgiler %5 anlamlılık düzeyine ait kritik sınırları temsil etmektedir. Test istatistiğinin %5 kritik sınırları içerisinde kalması model varyans yapısının örneklem dönemi boyunca istikrarlı olduğunu göstermektedir.

Şekil 2’de sunulan CUSUMSQ testi sonuçları ise hata terimlerinin varyans yapısına odaklanmaktadır. Grafikte test istatistiğinin %5 anlamlılık düzeyine ait kritik sınırlar içerisinde kaldığı ve merkez değeri etrafında düzenli bir seyir izlediği görülmektedir. Bu durum, modelde hata terimlerinin varyansında ani veya kalıcı bir bozulma bulunmadığını ve tahmin gücünün örneklem dönemi boyunca korunduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, modelin performansı belirli alt dönemlere özgü kalmamakta, dönem boyunca tutarlı bir yapı sergilemektedir.

CUSUM ve CUSUMSQ testlerinden elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, enerji yoğunluğunu açıklamak üzere kurulan ARDL-ECM modelinin katsayı ve hata yapısı açısından istikrarlı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, önceki bölümlerde raporlanan uzun dönem katsayı tahminleri ve hata düzeltme modeli bulgularını desteklemekte; elde edilen ampirik sonuçların yapısal bir kırılma ya da dönemsel bozulma nedeniyle zayıflamadığını ortaya koymaktadır.

Bu durum, Bai-Perron testiyle tespit edilen kırılma tarihlerine aykırı bir görünüm sergilememektedir. Bai-Perron yaklaşımı enerji yoğunluğu serisinin zaman içerisindeki rejim değişimlerini ve davranış farklılaşmalarını belirlemeye odaklanırken, CUSUM ve CUSUMSQ testleri tahmin edilen model parametrelerinin örneklem boyunca bütünsel istikrarını sınamaktadır. Dolayısıyla kırılmalar serinin dinamik yapısındaki dönemsel değişimlere işaret ederken, CUSUM bulguları kurulan uzun dönem denge modelinin yapısal bütünlüğünü koruduğunu göstermektedir.

## 6. TARTIŞMA

Bu çalışmanın bulguları, Türkiye’de enerji yoğunluğunun 2000–2022 döneminde tek bir çizgi üzerinde ilerleyen, sabit katsayılarla kolayca açıklanabilen bir gösterge olmadığını ortaya koymaktadır. Bai–Perron testiyle tespit edilen kırılmalar (2001, 2008, 2018 ve 2020), enerji yoğunluğu dinamiklerinin krizler, maliyet şokları ve üretim yapısındaki yeniden dengelenmelerle birlikte farklılaşabildiğini göstermektedir. Bu sonuç, enerji verimliliğinin yalnızca teknolojik iyileşmelerin değil, aynı zamanda makroekonomik koşulların ve dönemsel kırılmaların şekillendirdiği bir süreç olduğuna işaret etmektedir.

Zivot–Andrews bulguları, enerji yoğunluğu ve hizmetler sektörünün payının kırılma altında düzeyde durağan bir yapı sergilediğini, kişi başına gelirin ise trend baskın bir görünüm taşıdığını göstermektedir. Bu tablo, Türkiye’de gelir dinamiklerinin daha uzun soluklu bir büyüme modeli üzerinden ilerlediğini, enerji yoğunluğunun ise dönemsel şoklara ve yeniden dengelenmelere daha hızlı tepki verebildiğini düşündürmektedir. Nitekim 2008 kırılması, enerji yoğunluğunun küresel daralma ile eş zamanlı olarak farklı bir rejime geçtiğini; 2018 ve 2020 kırılmaları ise maliyet ve belirsizlik kanallarının enerji kullanım kalıplarını yeniden şekillendirdiğini ima etmektedir.

ARDL sınır testi sonuçları, enerji yoğunluğu ile kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün payı arasında uzun dönemli bir denge ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, değişkenlerin kısa dönemde farklı yönlerde hareket edebilseler dahi uzun dönemde belirli bir denge ilişkisi çerçevesinde birlikte değerlendirilebileceğine işaret etmektedir. Ancak uzun dönem katsayı tahminlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmaması, bu ilişkinin doğrudan ve güçlü bir nedensellik biçiminde yorumlanmasını sınırlamaktadır. Bu nedenle enerji yoğunluğundaki uzun dönemli değişimin yalnızca gelir düzeyi ve sektörel kompozisyon ile açıklanmasının sınırlı kalabileceği düşünülmektedir.

Buna karşılık ECM sonuçları, sistemin uzun dönem dengesine güçlü bir biçimde geri döndüğünü göstermektedir. Hata düzeltme teriminin negatif ve anlamlı olması, kısa dönemde ortaya çıkan sapmaların önemli bir kısmının bir sonraki dönemde telafi edildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu iki açıdan önemlidir. Birincisi, enerji yoğunluğunun geçici şoklardan etkilense bile uzun dönem denge ilişkisini kaybetmediğini göstermektedir. İkincisi, uzun dönem katsayıların zayıf görünmesine rağmen modelin bütün olarak tutarlı bir denge yapısı kurabildiğini işaret etmektedir. Dolayısıyla burada “anlamsız katsayı” sonucu, ilişkinin olmadığı anlamına değil; ilişkinin doğrudan ve tek kanallı bir şekilde okunmasının güç olduğuna işaret etmektedir.

Analizde sektörel dönüşümü temsil etmek amacıyla hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı temel bir gösterge olarak kullanılmıştır. Hizmetler sektörünün payı, literatürde ekonomik faaliyetlerin görece daha düşük enerji yoğunluklu alanlara kayışını temsil eden pratik bir sektörel kompozisyon göstergesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bununla birlikte enerji yoğunluğu yalnızca üretim yapısındaki sektörel

dağılımla değil, aynı zamanda enerji fiyatları, döviz kuru hareketleri, enerji ithalat bağımlılığı ve teknolojik verimlilik yatırımları gibi çeşitli makroekonomik ve yapısal faktörlerle de şekillenebilmektedir. Bu değişkenlerin modele dâhil edilmemesi, teorik olarak katsayı tahminlerinde dışlanan değişken yanlılığı (omitted variable bias) riskini tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Dolayısıyla elde edilen bulgular yorumlanırken modelin sınırlı sayıda değişken içeren bir çerçeveye dayandığı dikkate alınmalıdır. Gelecek çalışmaların enerji fiyatları, sanayi sektörünün payı, reel efektif döviz kuru ve enerji ithalat oranı gibi değişkenleri modele dâhil ederek enerji yoğunluğu dinamiklerini daha geniş bir analitik çerçevede incelemesi, elde edilen bulguların sağlamlığını güçlendirebilir.

Son olarak CUSUM ve CUSUMSQ sonuçları, model parametrelerinin örneklem dönemi boyunca istikrarlı kaldığını ve hata varyansında belirgin bir bozulma bulunmadığını göstermektedir. CUSUM çizgisinin kritik sınırlara yaklaşmadan sifıra yakın seyretmesi, modelin katsayılarında dönem boyunca anlamlı bir kayma yaşanmadığı anlamına gelmektedir. Bu istikrar bulgusu, kırılma tarihleri ile çelişmemektedir. Kırılmalar enerji yoğunluğu serisinin rejim davranışına işaret ederken, CUSUM testleri kurulan nihai modelin örneklem boyunca “toplamda” parametre istikrarını koruduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, enerji yoğunluğu kırılmalarla şekillenen bir süreç sergilese bile, gelir ve hizmetler payı ile kurulan denge ilişkisi örneklem boyunca tamamen kopmamıştır.

#### **SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ**

Çalışma, Türkiye’de enerji yoğunluğunun 2000–2022 dönemindeki uzun dönem dinamiklerini kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün toplam katma değer içindeki payı üzerinden incelemiştir. Elde edilen bulgular dört noktada özetlenebilir.

İlk olarak, enerji yoğunluğu serisi incelenen dönemde birden fazla yapısal kırılma göstermektedir. 2001, 2008, 2018 ve 2020 yıllarına işaret eden kırılmalar, enerji yoğunluğunun tek bir rejim altında sabit katsayılarla açıklanmasının sınırlı kalacağını ortaya koymaktadır. Bu sonuç, enerji verimliliği tartışmalarında “dönemsel koşulları” göz ardı eden yaklaşımların Türkiye örneğinde eksik kalabileceğini göstermektedir.

İkinci olarak, durağanlık analizleri enerji yoğunluğu ve hizmetler payının kırılma altında düzeyde durağan olduğunu, kişi başına gelirin ise daha çok uzun dönem trendler üzerinden şekillendiğini göstermektedir. Bu bulgu, enerji yoğunluğunun makroekonomik şoklara ve yapısal değişimlere gelirden daha hızlı tepki verebildiğini düşündürmektedir.

Üçüncü olarak, ARDL sınır testi enerji yoğunluğu, kişi başına gelir ve hizmetler sektörünün payı arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Buna karşın uzun dönem katsayı tahminleri, beklenen yönde işaret taşımaya rağmen istatistiksel olarak belirginleşmemiştir. Bu sonuç, enerji yoğunluğunun uzun dönemli seyrinin yalnızca gelir düzeyi ve sektörel kompozisyonla “doğrudan” açıklanmasının zor olduğunu; enerji fiyatları, kur hareketleri, maliyet baskıları, enerji ithalat bağımlılığı ve verimlilik yatırımları gibi kanalların belirleyici olabileceğini düşündürmektedir.

Dördüncü olarak, hata düzeltme mekanizması güçlü bir biçimde çalışmaktadır. ECT teriminin negatif ve anlamlı olması, kısa dönemde meydana gelen sapmaların hızla telafi edildiğini göstermektedir. CUSUM ve CUSUMSQ testleri de katsayıların örneklem boyunca istikrarlı kaldığını desteklemektedir. Bu iki bulgu birlikte değerlendirildiğinde, enerji yoğunluğunun dönemsel şoklara açık olmakla birlikte uzun dönem denge ilişkisini koruyan bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır.

Bu sonuçlar çerçevesinde politika açısından üç temel çıkarım öne çıkmaktadır. Birincisi, enerji verimliliği politikalarının tek bir dönem ortalamasına dayalı olarak tasarlanması yerine, kriz dönemleri ve maliyet şokları gibi kırılmaların yoğunlaştığı evreleri dikkate alan esnek bir çerçeveye ihtiyaç vardır. Enerji yoğunluğundaki gerileme, bazı dönemlerde teknolojik iyileşmelerden çok, üretim ve talep koşullarındaki daralmaların sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle enerji yoğunluğundaki düşüşün niteliği, politika hedefleri açısından ayrıca izlenmelidir.

İkincisi, hizmetler sektörünün payındaki artışın enerji yoğunluğu üzerinde azaltıcı yönde bir potansiyel taşıdığı görülmekle birlikte, etkinin istatistiksel olarak netleşmemesi sektörel dönüşümün tek başına yeterli olmadığını düşündürmektedir. Hizmetler sektörünün enerji verimliliğine katkısı, sektör içi alt bileşenlere (yüksek enerji tüketen ulaştırma/lojistik ile düşük enerji tüketen bilgi-yoğun hizmetler ayrımı gibi) ve dijitalleşme, enerji yönetimi, bina verimliliği gibi tamamlayıcı unsurlara bağlı olarak güçlenebilir. Bu nedenle hizmetler odaklı dönüşüm, verimlilik yatırımlarıyla birlikte ele alınmalıdır.

Üçüncüsü, modelin güçlü uyum mekanizması kısa vadeli şokların kalıcı etkilere dönüşmesini engelleyen bir dengeye dönüş dinamiğine işaret etmektedir. Bu durum, enerji verimliliği politikalarının süreklilik ve öngörülebilirlik üzerinden tasarlanması halinde, geçici dalgalanmalara rağmen uzun dönem hedeflerin korunabileceğini göstermektedir. Özellikle maliyet şoklarının yoğunlaştığı dönemlerde, enerji verimliliği yatırımlarını erteleyen bir yaklaşım yerine, finansman ve teşvik mekanizmalarıyla yatırımı destekleyen bir politika seti daha tutarlı görünmektedir.

Çalışmanın bulguları, enerji yoğunluğu dinamiklerinin hem yapısal kırılmalar hem de uzun dönem denge ilişkileri üzerinden okunması gerektiğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda enerji fiyatları, kur hareketleri, enerji ithalat bağımlılığı ve teknoloji göstergeleri gibi değişkenlerin modele dâhil edilmesi, katsayıların anlamlılığını güçlendirebilir ve politika çıkarımlarını daha hedefli hale getirebilir.

**KAYNAKÇA / REFERENCES**

- Bai, Jushan - Pierre Perron. "Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models". *Journal of Applied Econometrics* 18/1 (2003), 1–22.
- Bai, Jushan - Pierre Perron. "Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes". *Econometrica* 66/1 (1998), 47–78.
- Brown, Robert L. vd. "Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time". *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 37/2 (1975), 149–163.
- De Cian, Enrica vd. *Energy Intensity Developments in 40 Major Economies: Structural Change or Technology Improvement?* Mannheim: ZEW – Centre for European Economic Research, 2013.
- Hoekstra, Rutger - Jeroen C. J. M. van der Bergh. "Comparing Structural and Index Decomposition Analysis". *Energy Economics* 25/1 (2003), 39–64.
- International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023.
- Mulder, Peter - Henri L. F. de Groot. "Structural Change and Convergence of Energy Intensity across OECD Countries, 1970–2005". *Energy Economics* 34/6 (2012), 1910–1921.
- Pesaran, M. Hashem vd. "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships". *Journal of Applied Econometrics* 16/3 (2001), 289–326.
- Sak, Ali Kursat - Bülent Güloğlu. "Structural Change and Energy Productivity in Türkiye". *International Journal of Energy Economics and Policy* 5/3 (2015), 701–714.
- Schäfer, Andreas. "Structural Change in Energy Use". *Energy Policy* 33/4 (2005), 429–437.
- Steenhof, Paul A. "Decomposition of Electricity Demand in China's Industrial Sector". *Energy Economics* 28/3 (2006), 370–384.
- Stern, David I. "Economic Growth and Energy". *Energy* 25/4 (2004), 35–51.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. *Türkiye National Energy Plan*. Ankara: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.
- World Bank (WB). "Energy Intensity Level of Primary Energy (MJ/\$2017 PPP GDP) (EG.EGY.PRIM.PP.KD)". Erişim 14 Şubat 2026.  
<https://data.worldbank.org/>
- Yılmaz, Alper vd. "Türkiye Ekonomisinde Sektörel Enerji Tüketiminin Ayrıştırma Yöntemiyle Analizi". *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 31/2 (2016), 1–27.
- Zivot, Eric - Donald W. K. Andrews. "Further Evidence on the Great Crash, the Oil-Price Shock, and the Unit-Root Hypothesis". *Journal of Business & Economic Statistics* 10/3 (1992), 25–44.

**Orjinallik Beyanı / Declaration of Authenticity:** Bu makale tamamen yazara aittir ve özgün bir çalışmadır. Makalenin hazırlanmasında yararlanılan tüm kaynaklar akademik etik kurallar çerçevesinde uygun biçimde atıf verilerek kullanılmıştır. Bu çalışma daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış ve eş zamanlı olarak başka bir dergide değerlendirmeye sunulmamıştır. Makale, genel kabul gören web tabanlı benzerlik tespit sistemlerinden iThenticate kullanılarak taranmış olup, benzerlik oranı %15'i geçmemektedir. Aksi bir durumun tespiti halinde doğabilecek her türlü etik ve hukuki sorumluluğun tarafıma ait olduğunu beyan ederim. / This article belongs entirely to the author and is an original work. All sources used in the preparation of the manuscript have been properly cited in accordance with academic ethical standards. This study has not been published previously and has not been submitted simultaneously to any other journal for evaluation. The manuscript has been screened using one of the widely accepted web-based similarity detection systems, iThenticate and the similarity rate does not exceed 15%. I hereby declare that in the event of any contrary finding, all ethical and legal responsibilities arising therefrom shall rest solely with me.

**Yapay Zekâ Kullanım Beyanı / Artificial Intelligence Use Disclosure:** Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde yalnızca dil kontrolü ve yazım-ifade düzenlemeleri kapsamında yapay zekâ destekli araçlardan (OpenAI tarafından geliştirilen Chat-GPT) sınırlı ölçüde yararlanılmıştır. / During the preparation of this study, AI- AI-supported tools (such as ChatGPT, developed by OpenAI) were used only to a limited extent for proofreading and editing purposes.

**Etik Kurul Beyanı / Ethics Committee Statement:** Bu çalışma, tüm etik standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu makalede sunulan bilgi ve bulgular, dürüstlük ve şeffaflık ilkelerine uygun olarak yazıya geçirilmiştir. Yazar, araştırmanın her aşamasında bilimsel bütünlük ve objektiflikten ödün vermemiştir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan tüm kaynaklara uygun şekilde atıf verilmiştir. Bu çalışma kamuya açık veri tabanlarından elde edilen verilere dayalı olduğundan etik kurul onayı gerekmemektedir. / This study was conducted in full compliance with all applicable ethical standards. The information and findings presented in this article have been reported in accordance with the principles of honesty and transparency. The author has maintained scientific integrity and objectivity at every stage of the research process. Furthermore, all sources used in this study have been properly cited. As this study is based on data obtained from publicly available databases, ethics committee approval is not required.

**Teşekkür / Acknowledgements:** Bu çalışmanın hazırlanmasında herhangi bir kişi, kurum veya kuruluşten destek alınmamıştır. / No support was received from any individual, institution, or organization in the preparation of this study.

**Yazarlık Katkısı / Author Contributions:** Bu çalışma tek yazarlı olup araştırmanın tasarımı, veri temini, analiz, yorumlama ve makalenin yazımı tamamen yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. / This study is single-authored. The design of the research, data collection, analysis, interpretation, and the writing of the manuscript were carried out entirely by the author.

**Çatışma Beyanı / Conflict of Interest Statement:** Bu çalışma kapsamında yazarın herhangi bir kişi, kurum veya kuruluş ile doğrudan ya da dolaylı bir çıkar çatışması bulunmamaktadır. / The author declares that there is no direct or indirect conflict of interest with any individual, institution, or organization regarding this study.