

## Türkiye Sanayi Sektöründeki Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Mekânsal Analizi

Anıl ERALP<sup>1</sup>

### ÖZET

**Amaç:** Çalışmada sanayi sektörü elektrik tüketimi ve sanayi sektörü büyüklüğü arasındaki yapısal ilişki ve olası ters U ilişkisinin araştırılması amaçlanmaktadır.

**Yöntem:** Çalışmada 2004-2019 dönemi için İBBS 3 düzeyi sanayi sektörü elektrik tüketimi ve sanayi sektörü büyüklüğü verilerinden oluşturulan bir panel veri setinden yararlanarak, panel zaman serileri analizleri ile mekânsal panel veri analizleri kullanılmıştır.

**Bulgular:** Elde edilen bulgular, sanayi sektöründen elektrik tüketimine doğru bir nedensellik olduğunu ve mekânsal etkiler altında değişkenler arasındaki ilişkinin ters U şeklinde olduğunu göstermektedir. Bu durum toplam mekânsal etkiler altında sanayi sektörünün büyüklüğünün 280 milyar ABD dolarına kadar ölçek etkisinin, daha sonrasında ise kompozisyon ve teknik etkilerin hâkim olacağını ifade ediyor olabilir. Bunun nedeni olarak 2000 sonrası dönemde hizmetler sektörünün elektrik tüketimi içindeki payının artması ve enerji tasarrufu ile yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji üretimindeki artışlar gösterilebilir.

**Özgünlük:** Çalışmada sanayi sektörü elektrik tüketimi ile sanayi sektörü büyüklüğü arasındaki yapısal ilişki ve olası ters U ilişkisi mekânsal etkiler altında araştırılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Sanayi Sektörü, Elektrik Tüketimi, Ekonomik Büyüme, Panel Veri Analizi, Mekânsal Panel Veri Analizi.

**JEL Kodları:** L11, E23, C23, C33.

## Spatial Analysis of The Relationship between Electricity Consumption and Economic Growth in the Industrial Sector of Türkiye

### ABSTRACT

**Purpose:** In the study, it is aimed to investigate the structural relationship and possible inverted-U relationship between electricity consumption and economic growth in the industrial sector of Türkiye.

**Methodology:** In the study, panel time series analyzes and spatial panel data analysis methods were used by using a panel data set created from NUTS 3 level electricity consumption data and economic growth data in the industrial sector of Türkiye for the 2004-2019 period.

**Findings:** The findings show that there is a causality from the economic growth to the electricity consumption in the industrial sector. It shows that the relationship between variables under spatial effects has an inverted-U-shape. This may indicate that under total spatial effects, the size of the industry sector will be dominated by scale effect up to 280 billion USD, and then by composition and technical effects. The reason for this may be the increase in the share of the services sector in electricity consumption and the increases in energy saving and energy production based on renewable resources in the post-2000 period.

**Originality:** In the study, the structural relationship between the electricity consumption and economic growth in the industrial sector of Türkiye and the possible inverted-U-shape relationship are analyzed under spatial effects.

**Keywords:** Industry Sector, Electricity Consumption, Economic Growth, Panel Data Analysis, Spatial Panel Data Analysis.

**JEL Codes:** L11, E23, C23, C33.

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Bolu, Türkiye, anil.eralp@ibu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4630-2114.

## 1. GİRİŞ

Üretimin ve tüketimin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan enerji bir iktisadi maldır. Sanayi Devrimi ile neredeyse sürekli artan enerji talebi, beraberinde enerji kaynaklarının hızla insanoğlu tarafından tüketilmesine neden olmuştur. Bu da kıt olan kaynakları, yakın bir gelecekte tükenme noktasına getirmiştir. Bu nedenle alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi son dönemlerde oldukça artmıştır. Mevcut ekonomik üretim olanaklarının konvansiyonel enerji kaynaklarına hali hazırda bağımlı olması, sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanabilmesi için enerjinin hem tasarruflu hem de verimli olarak kullanılmasını gündeme getirmiştir.

Türkiye ekonomisinin son dönemde yaşadığı hızlı büyüme, artan nüfus ve yaşanan hızlı kentleşme enerji tüketim miktarını artırmıştır. Ayrıca, Türkiye ekonomisinde enerji önemli bir girdi olup, bu girdinin dörtte üçü ithalat ile karşılanmaktadır (Yalçın ve Yalçın, 2021). Bu bağlamda ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkinin yönü, sürdürülebilir ekonomik büyüme politikaları ve enerji arz güvenliği açısından son derece önemlidir. Enerji kaynaklarının arz güvenliğini tehlikeye atan savaş hali, doğal afet, ekonomik anlaşmazlıklar vb. nedenler de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönünü etkileyebilme gücüne sahiptir.

Enerji verimliliği en yalın tanımı ile yaşam standardını ve üretim kalitesini düşürmeden ürün miktarı başına düşen enerji tüketiminin azaltılmasıdır (ENVER, 2022). Bu bağlamda enerji ihtiyacı konusunda dışa bağımlılığı yüksek olan ve/veya elektrik kayıp-kaçak oranı yüksek olan Türkiye gibi ülkeler için enerji arz güvenliğinin sağlanmasında ilk başvurulacak yöntem enerji kapasitesinin artırılması için yeni tesislerin yapılması olmuştur. Ancak, bu yöntemin yerine ilk eylem olarak enerji tasarrufunun ve enerji verimliliğinin sağlanması önerilmektedir (Altan ve Sağbaşı, 2020). Dolayısıyla Türkiye gibi enerji konusunda dışa oldukça bağımlı bir ülkenin planlarında bunları dikkate alması önem arz etmektedir.

Türkiye’de enerji verimliliği özelinde sistemli çalışmalar 2000’li yıllarda başlamıştır. 2007 yılında 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu (EVK)” ile enerji ihtiyacının karşılanmasında enerji verimliliğinin artırılması politikası işlerlik kazanmıştır. Bu kanun ile enerji maliyetlerinin cari işlemler açığıyla ekonomi üzerindeki yükünün azaltılması ve çevrenin korunması için enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. 2012 yılında ise “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi” ile 2023 yılı enerji verimliliği hedefleri ortaya konulmuştur (TSKB, 2021: 37).

Enerji verimliliği çalışmalarının yanında, yenilenebilir enerji konusunda dünyadaki gelişmelere paralel olarak Türkiye yenilenebilir enerji alanında adımlar atmıştır. Bu kapsamda 2013 yılında Türkiye’nin yenilenebilir enerji kurulu gücü 25.583 Megavat (MW) iken, Eylül 2021’de 51.581 MW düzeyine yükselmiştir. Görüldüğü üzere yaklaşık olarak yenilenebilir kurucu güç kapasitesinde iki katlık bir artış gerçekleşmiştir (TSKB, 2021: 31).

Enerji türleri içerisinde elektrik enerjisi, kullanımındaki kolaylıklar ve görece temiz bir enerji türü olması nedeniyle pek çok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi verilerine göre sanayi sektörünün toplam elektrik tüketimi içerisindeki payı 2000 sonrası dönemde ortalama olarak %47 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bununla beraber elektrik üretiminin büyük çoğunluğu termik santrallerden sağlanmaktadır. Dolayısıyla Türkiye’nin enerji bağımlılığı ve sürdürülebilir bir ekonomi açısından sanayi sektörünün büyüklüğü ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin yapısal analizi hem uygulanacak politikalar hem de bu politikaların değerlendirilmesi bakımından önem arz etmektedir.

Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme konusunda hem uluslararası literatürde hem de Türkiye özelinde oldukça geniş bir literatür bulunmaktadır. Bununla beraber Türkiye için sanayi sektörü elektrik tüketimi ve sanayi sektörü büyüklüğü arasındaki ilişkiye doğrudan odaklanan ve mekânsal etkileri dikkate alan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada sanayi sektörünün elektrik tüketimi ile sanayi sektörünün büyüklüğü arasındaki yapısal ilişki ve bu iki faktör arasındaki olası ters U ilişkisi, 2004-2019 dönemi itibarıyla mekânsal etkilerin daha iyi gözlemlenmesi için İstatistik Bölge Birimi Sınıflaması (The Nomenclature of Territorial Units for Statistics, NUTS) 3 düzeyinde 81 ili kapsayacak şekilde panel zaman serileri analizleri ve mekânsal panel veri analizleri kullanılarak araştırılmıştır.

İstatistik Bölge Birimi Sınıflaması (İBBS), Avrupa Birliği içerisinde bölgesel istatistiklerin tek bir bölgesel sınıflandırmaya göre üretilmesi için Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat) tarafından geliştirilmiş bir istatistik sınıflandırma yöntemidir. Türkiye’de İBBS kullanımı 19 Mart 2001 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile kabul edilen Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı ve Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan 8 Mart 2001 tarihli Çevre Konseyinde kabul edilen Katılım Ortaklığı Belgesi kapsamında başlamıştır. Bu kapsamda Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Müsteşarlığı

(günümüzdeki yapısıyla Kalkınma Bakanlığı) ve TÜİK ortak çalışması ile bu sınıflandırma tanımlanmış ve 28 Ağustos 2002 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe girmiştir. Bu sınıflandırmada iller, Düzey 3 seviyesi olarak kabul edilmiş; komşu illerin gruplandırması ile 26 bölgeyi içeren Düzey 2 ve 12 bölgeyi içeren Düzey 1 sınıflandırmaları tanımlanmıştır (KA, 2022).

Çalışmada ilk olarak elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki konusunda bilgi verilmiştir. Ardından üçüncü bölümde ilgili literatür tartışılmıştır. Dördüncü bölümde ise çalışmada kullanılan ekonometrik yöntemler açıklanmış ve beşinci bölümde ekonometrik analizlerin sonuçları sunulmuştur. Çalışma sonuç ve değerlendirme bölümü ile sonlandırılmıştır.

## 2. ELEKTRİK TÜKETİMİ VE EKONOMİK BÜYÜME

Üretim, reel ekonomik büyümenin temeli olup; emek ve sermaye olmak üzere iki temel girdiye bağlıdır. Sanayi devrimi öncesi dönemde enerji gereksinimi, bizzat emeğin kendisi ve doğal kaynaklardan karşılanırken; sanayi devrimi ile yaşanan makineleşme enerjinin kendi başına üretimin bir bileşeni olmasını sağlamıştır. Günümüzde nüfustaki artış ve teknolojik olanaklardaki gelişme, enerji tüketimini arttıran diğer faktörlerdir. Bu bağlamda, zaman içerisinde, üretimin gerçekleştirilmesi için kullanılan enerji, aynı zamanda tüketimin gerçekleştirilebilmesi için de kullanılmaya başlamıştır.

Elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine göre daha kolay dönüştürülebilir ve kolay kullanımının yanında daha temiz bir enerji türü olması, elektrik enerjisini özellikle gelişmiş ülkelerde tercih edilen ve baskın enerji türü haline getirmiş olup; yaşam standardının iyileştirilmesinde, teknolojik ve bilimsel ilerlemede elektrik enerjisine önemli bir rol kazandırmıştır. Bu bağlamda elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki oldukça ilgi çekici hale gelmiştir. Bu nedenle bu ilişki pek çok ampirik çalışmaya konu olmuş ve birçok iktisatçı tarafından araştırma konusu olarak incelenmiştir.

Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasında güçlü bir ilişki olduğu akla uygun bir görüş olarak görülmektedir. Ferguson ve diğerleri (2000), tarafından yüzden fazla ülke için yapılan bir yatay kesit veri analizi, genel olarak, elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla enerji tüketimi, toplam ekonomik büyüklükle doğrudan ilişkilendirilebilirken; bu ilişkinin enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru olduğu ilk kabul gören görüştür. Bununla beraber Kraft ve Kraft (1978) çalışmasından beri yapılan pek çok ampirik çalışmanın sonucu, bu iki değişken arasındaki nedenselliğin yönünün cevaplanmasının zor bir soru olduğunu göstermiş ve bu iki değişken arasındaki ilişkinin yönü konusu bir belirsizlik durumundadır.

Mevcut literatürde genel olarak elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki doğrusal modeller ile Granger nedensellik bağlamında araştırılmaktadır. Bu çerçevede ilişkinin yönüne bağlı olarak büyüme hipotezi, koruma hipotezi, geri besleme hipotezi ve yansızlık hipotezi şeklinde dört farklı hipotez ortaya atılmıştır.

Büyüme hipotezine göre nedenselliğin yönü elektrik tüketiminden ekonomik büyümeye doğrudur. Hipotezin geçerliliği durumunda elektrik tüketiminin ekonomik büyümeyi teşvik edici olarak davranacağı kabul edilmektedir. Bu bağlamda enerjinin bir üretim faktörü olarak kabul edilmesiyle enerji tasarrufuna yönelik politikalar ile elektrik arzındaki daralmaların ekonomik büyümeyi daraltacağı iddia edilmektedir. Koruma hipotezine göre ise nedenselliğin yönünün ekonomik büyümeden elektrik tüketimine doğru olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla büyüme hipotezinin tersi olarak elektrik tüketimini düşürücü politikaların ve uygulamaların ekonomik büyüme üzerinde olumsuz etki yaratmayacağı kabul edilmektedir. Geri besleme (feedback) hipotezine göre değişkenler arasında çift yönlü nedensellik olduğu ileri sürülmektedir. Dolayısıyla elektrik tüketimi ile ekonomik büyümenin birbirlerinin tamamlayıcısı olduğu ve herhangi birindeki bir etkinin diğerini etkileyeceği ve sarmal şeklinde etkinin devam edeceği ileri sürülmektedir. Yansızlık (neutrality) hipotezine göre ise elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasında herhangi bir nedensel ilişki bulunmadığı, yani göz ardı edilebilir bir ilişki olduğu varsayılmaktadır (Altıntaş ve Mercan, 2015).

## 3. LİTERATÜR TARAMASI

Kraft ve Kraft (1978) çalışması ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkinin araştırmasına yönelik çalışmalara öncülük etmiştir. Bu çalışmadan beri geçen sürede pek çok ampirik çalışma yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmalar iki değişken arasında güçlü bir ilişkinin varlığını göstermektedir (Bkz. Ferguson ve diğerleri, 2000). Ancak, elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasında güçlü bir ilişkinin varlığı, mutlaka bir nedensellik ilişkisi olduğu anlamına gelmemektedir. Bu doğrultuda değişkenler arasındaki ilişkinin yönü konusu belirsizliğini korumaktadır. Yoo ve Lee (2010)'da söylendiği gibi cevaplanması gereken önemli soru, elektrik tüketimi ekonomik büyüme için uyarıcı mıdır, yoksa ekonomik büyüme elektrik tüketimine mi yol açmaktadır? Bununla beraber literatürde pek çok çalışma elektrik tüketiminin ekonomik büyümenin nedeni olduğunu göstermektedir. Ghosh (2002) ile Abbas ve Choundhury (2013) Hindistan'da, Wolde-Rufael (2006) altı Afrika ülkesinde, Mozumder ve Marathe (2007) Bangladeş'te, Squalli (2007) dört OPEC

ülkesinde, Narayan ve Prasad (2008) altı OECD ülkesinde ekonomik büyümenin elektrik tüketiminin nedeni olduğunu göstermektedir. Zortuk ve Karacan (2018) ise genel olarak geçiş ekonomilerinde enerji kullanımının ekonomik büyüklüğü negatif etkilediğini; ekonomik büyüklüğün ise elektrik kullanımını pozitif etkilediğini raporlamaktadır. Ayrıca, Kouakou (2011) Fildişi Sahili'nde sanayi üretiminin elektrik tüketiminin nedeni olduğunu, Barut ve Çelik (2021) ise Türkiye'de bu ilişkinin çift yönlü olduğunu göstermektedir.

Küresel ekonominin gelişmesi, üretimin enerji kaynaklarına daha bağımlı hale gelmesi ve tüketimin de enerji gerektirmesi hem dünyada hem de Türkiye'de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin incelenmesini önemli bir konu haline getirmiştir. Bu bağlamda hem ülke özeli hem de ülke gruplarını dikkate alan pek çok ampirik çalışma yapılmıştır. Türkiye özelinde yapılan çalışmaların zaman serilerine dayalı çalışmalar olduğu görülmektedir (Bkz. Terzi, 1998; Lise ve Montfort, 2007; Nişancı, 2005; Altınay ve Karagöl, 2005; Karagöl ve diğerleri, 2007; Kar ve Kınık, 2008; Tatlıdil ve diğerleri, 2009; Aytaç, 2010; Ertuğrul, 2011; Korkmaz ve Develi, 2012; Yapraklı ve Yurttaçıkırmaz, 2012; Saatçi ve Dumrul, 2013; Altıntaş ve Koçbulut, 2014; Erdoğan ve Gürbüz, 2014; Bayraç ve Doğan, 2015; Çağlar ve diğerleri, 2017; Usta ve Berber, 2017; Tayyar, 2019; Aydın, 2020, Kopuk ve Bayraç, 2021; Alpdoğan, 2021).

Türkiye'nin gelişmekte olan ve bölgesel olarak farklı gelişmişlik düzeylerine sahip bir coğrafyasının olması, toplulaştırılmış zaman serisi verilerine dayalı sonuçlardan elde edilen politikaların etkinliğini sorgulatmaktadır. Bu bağlamda bölgesel farkların dikkate alındığı ampirik çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir. Böylece ortaya konulacak politikaların bölgesel etkileri göz önüne alarak, daha etkin politikaların ortaya konulmasına katkı sağlanacaktır. Ancak Usta (2016) ve Kara ve Cığercioğlu (2018) çalışmaları dışında Türkiye özelinde bölgesel etkileri dikkate alan başka herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Usta (2016)'da İBBS 2 düzeyinde 2004-2011 dönemi verileri kullanılarak enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi panel veri analizi yöntemlerinden yararlanılarak araştırılmaktadır. Böylece bölgesel heterojenlikler dikkate alınabilmektedir. Ancak, mekânsal etkiler dikkate alınmamaktadır. Elde edilen bulgular enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi pozitif etkilediğini göstermektedir. Kara ve Cığercioğlu (2018) ise açıklayıcı mekânsal veri analizi (Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA) kullanarak, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktadır. Ancak, ESDA analizi değişkenlerin mekânsal dağılımları konusunda bilgi verebilmektedir. Bu nedenle değişkenler arasındaki nedenselliğin yönü ve büyüklüğü hakkında yeterli bilgi sağlanamamaktadır. Ağır ve Kar (2010) yatay kesit veri analizi yöntemi kullanarak, elektrik tüketiminin geliri pozitif etkilediğini göstermektedir. Ekonomik büyümenin enerji tüketimine bağlı olması durumunda, yani koruma hipotezinin geçerli olması durumunda, uygulanacak enerji tasarrufu politikaları ekonominin yavaşlamasına neden olabilecektir. Ancak, yatay kesit veri analizleri zaman boyutunu dikkate almadığı için nedensellik konusunda yorum yapılması uygun olmamaktadır.

Sonuç olarak, elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin doğru bir şekilde belirlenmesi politika yapıcıların alacakları kararlar açısından çok önemli bir bilgi girdisi oluşturmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye özelinde mekânsal etkiler dikkate alınarak enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yapısı 2004-2019 dönemini kapsayan ve İBBS 3 düzeyi verileri kullanılarak oluşturulan bir panel veri setiyle panel zaman serisi ve mekânsal panel veri analizleri aracılığıyla araştırılmaktadır.

#### 4. YÖNTEM

Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki üzerine geniş bir literatür bulunmasına rağmen, bu iki değişken arasındaki ilişkinin yönü konusu belirsizdir. Bununla beraber ilişkinin farklı nedensellik durumlarını ele alan farklı hipotezler bulunmaktadır. Bu çalışmada sanayi sektörü elektrik tüketimi ile sanayi sektörünün ekonomik büyüklüğü arasındaki ilişkinin yönünün belirlenmesinin yanında; mekânsal etkiler altında ilişkinin işareti, şekli ve büyüklüğü hakkında da bilgi üretilmesi amaçlanmıştır.

Sanayi sektörü açısından elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönüne karar vermek için Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testi kullanılmıştır. Bu testin uygulanabilmesi için öncelikle değişkenlere ait serilerin durağanlıklarının incelenmesi gerekmektedir. Panel veri setlerinde değişkenlerin durağanlığının incelenmesinde değişkenlere ait serilerin yatay kesit bağımlılık içermesi durumuna göre farklı testler kullanılmaktadır. Bu nedenle birim kök testlerinden önce serilerin yatay kesit bağımlılık durumları incelenmelidir. Değişkenler arasındaki nedenselliğin yönüne karar verilmesinden sonra, mekânsal ekonometrik modeller kullanılarak sanayi sektörü elektrik tüketimi ve sanayi sektörü büyüklüğü arasındaki ilişkinin yapısı mekânsal etkiler altında incelenmiş olup, istatistiksel olarak anlamlı mekânsal etkiler altında ters U ilişkisinin var olduğu görülmüştür.

#### 4.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testi

Panel veri modellerinde yatay kesit bağımlılık, ortak şokların varlığında ya da mekânsal bağımlılığın olduğu durumlarda ortaya çıkabilmektedir (De Hoyos ve Sarafidis, 2006). Pesaran (2006) yatay kesit bağımlılığın göz ardı edilmesinin önemli yanlılık ve boyut bozulmalarına neden olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan değişkenlere ait serilerin yatay kesit bağımlılık taşıyıp taşımadığı araştırılmıştır. Yatay kesit bağımlılığın test edilmesinde dikkate alınması gereken çeşitli noktalar bulunmaktadır. Bunlar birim ve zaman boyutu arasındaki ilişki, serinin durağanlığı ve katsayıların homojenlikleri olarak sıralanabilir. Dolayısıyla bunların her biri, bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Pesaran (2004) tarafından önerilen yatay kesit bağımlılık testi zaman boyutunun birim boyutundan az olduğu, durağan ve birim köklü durumlar ile heterojen panellerde uygulanabilmektedir. Çalışmamızda zaman boyutu (T) birim boyutundan (N) küçük olduğu için, yani  $T < N$ , ve diğer özellikleri nedeniyle serilerin yatay kesit bağımlılıkları Pesaran (2004) CD testi ile test edilmiştir. Pesaran (2004) tarafından önerilen CD test istatistiği Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left( \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad (1)$$

Burada  $\hat{\rho}_{ij}$  artıkların ikili korelasyonlarının örneklem tahminidir. Yatay kesit bağımlılığın olmadığı varsayımı altında,  $N \rightarrow \infty$  ve T yeterince büyük olduğunda  $CD \sim N(0,1)$  dağılımına sahiptir.

#### 4.2. Panel Birim Kök Testi

Panel birim kök testleri değişkenlere ait serilerin yatay kesit bağımlılıklarına göre ikiye ayrılmaktadır. Birinci nesil olarak adlandırılan panel birim kök testleri yatay kesit bağımlılığını dikkate almamaktadır. İkinci nesil panel birim kök testleri ise yatay kesit bağımlılığını dikkate almaktadır.

Pesaran (2007) tarafından dengeli ve heterojen paneller için  $N > T$  ve  $N < T$  için geçerli olan ve yatay kesit bağımlılığını elimine ederek ADF temelli bir panel birim kök testi önerilmiştir. Bu testte her birim için birim kök test edilebilmektedir. Tüm birimler için elde edilen yatay kesit genişletilmiş Dickey-Fuller (cross-section augmented Dickey-Fuller, CADF) test istatistikleri için kullanılan regresyon denklemi Eşitlik 2'deki gibidir.

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + \delta_{0i} \Delta \bar{y}_t + \delta_{1i} \bar{y}_{t-1} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

Burada  $\Delta$  fark operatörü ve  $\epsilon_{it}$  hata terimidir. Ayrıca,  $y_{it}$  'nin yatay kesit ortalaması  $\bar{y}_t = N^{-1} \sum_{j=1}^N y_{it}$  'dir. Tüm birimler için  $\beta_i = 0$  yokluk hipotezi altında, CADF test istatistiği Eşitlik 3-8'de verilmiştir.

$$t_i(N, T) = \frac{\Delta y_i' M_w y_{i,-1}}{\hat{\sigma}_i (y_{i,-1}' M_w y_{i,-1})^{1/2}} \quad (3)$$

$$\Delta y_i = (\Delta y_{i1}, \Delta y_{i2}, \dots, \Delta y_{iT})', \quad y_{i,-1} = (y_{i0}, y_{i1}, \dots, y_{iT-1})' \quad (4)$$

$$\bar{M}_w = I_T - \bar{W} (\bar{W}' \bar{W})^{-1} \bar{W}', \quad \bar{W} = (\tau, \Delta \bar{y}, \bar{y}_{-1}) \quad (5)$$

$$\tau = (1, 1, \dots, 1)', \quad \Delta \bar{y} = (\Delta \bar{y}_1, \Delta \bar{y}_2, \dots, \Delta \bar{y}_T)', \quad \bar{y}_{-1} = (\bar{y}_0, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_{T-1})' \quad (6)$$

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{\Delta y_i' M_{i,w} \Delta y_i}{T-4} \quad (7)$$

$$M_{i,w} = I_T - G_i (G_i' G_i)^{-1} G_i', \quad G_i = (\bar{W}, y_{i,-1}) \quad (8)$$

Tüm birimler için hesaplanan CADF değerleri kullanılarak, yatay kesitle genişletilmiş IPS (cross sectionally augmented IPS, CIPS) istatistiği Eşitlik 9'daki gibi hesaplanarak panelin tamamı için birim kök olup olmadığı test edilebilmektedir. CADF ve CIPS istatistikleri için kritik değerler Pesaran (2007) tarafından üretilmiştir (Pesaran, 2007).

$$CIPS(N, T) = t - bar = N^{-1} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \quad (9)$$

#### 4.3. Panel Nedensellik Testi

Sabit parametre haricindeki parametreleri (eğim parametreleri) birimlere göre değişmediği panel veri modelleri, homojen panel veri modelleri olarak değerlendirilir. Parametrelerin heterojen olması durumunda, homojen olduğu varsayımı altında yapılan tahminler sapmalı ve tutarsız olacaktır. Bu durum literatürde heterojenlik sapması olarak adlandırılmaktadır (Tatoğlu, 2018: 3, 153).

Panel veri setleri kullanılarak yapılan nedensellik testleri Granger nedensellik testi mantığına dayanmakla beraber, panel veri birimleri arasındaki heterojenliğin dikkate alınmaması durumunda nedensellik analizi sonuçları yanıltıcı olabilmektedir (Gürış, 2018: 409). Bu nedenle Dumitrescu ve Hurlin

(2012) tarafından heterojen ve yatay kesit bağımlılığa sahip durağan seriler için Granger nedenselliğin test edilmesinde kullanılmak üzere panel nedensellik testi önerilmiştir. Ayrıca, test küçük  $N$  ve  $T$  değerlerinde dahi iyi çalışmaktadır.

Eşitlik 10 verilen iki durağan  $x$  ve  $y$  değişkeni için doğrusal panel veri modeli olup,  $k$  gecikme sayısını ve  $\varepsilon_{i,t}$  hata terimini göstermektedir. Bu modeli kullanılarak  $\beta_i = 0$  yokluk hipotezi altında Eşitlik 11'deki test istatistiği,  $T > N$  durumunda ve Eşitlik 12'deki test istatistiği ise  $N > T$  durumunda kullanılarak test işlemleri gerçekleştirilmektedir.

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^{(k)} y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^{(k)} x_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

$$Z_{N,T}^{Hnc} = \sqrt{\frac{N}{2K}} (W_{N,T}^{Hnc} - K) \quad (11)$$

$$Z_N^{Hnc} = \frac{\sqrt{N} [W_{N,T}^{Hnc} - N^{-1} \sum_{i=1}^N E(W_{i,T})]}{\sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N \text{Var}(W_{i,T})}} \quad (12)$$

Her iki test istatistiğinde  $W_{N,T}^{Hnc} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_{i,T}$  iken,  $W_{i,T}$  bireysel Wald istatistikleridir (Dumitrescu ve Hurlin, 2012; Gürüş, 2018: 411).

#### 4.4. Mekânsal Panel Veri Modelleri

Klasik doğrusal regresyon modelinde hata terimlerinin ortalaması sıfır, aynı ve bağımsız dağılıma (*i. i. d.*) sahip oldukları ve aralarında korelasyon olmadığı varsayımları yapılmaktadır. Bununla beraber bölgesel (mekânsal) verilerin birbirlerinden bağımsız olduğu ileri sürülmektedir. Ancak, coğrafyanın birinci yasasına (Tobler, 1970)'e göre yakın olan şeyler uzak olan şeylere göre daha ilişkili olacağından klasik doğrusal regresyonun hata terimi için yapılan varsayımlar mekânsal (bölgesel) verilerin kullanıldığı ekonometrik modellerde sağlanamayacaktır. Dolayısıyla artıkların veya bağımsız değişkenin mekânsal otokorelasyona sahip olması, tahmin sonuçlarının yanlı ve tutarsız olmasına neden olacaktır. Bu nedenle mekânsal verilerin modellenmesinde mekânsal ekonometrik modeller kullanılmaktadır (Eralp ve diğerleri, 2020).

Mekânsal etkilerin modellenmesi için çeşitli mekânsal ekonometrik modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden biri mekânsal Durbin Modeli (spatial Durbin model, SDM) olup Eşitlik 14'te verilmiştir.

$$y_t = \rho W y_t + X_t \beta + W Z_t \theta + \mu + \varepsilon_t \quad (14)$$

Burada  $W$  ağırlık matrisidir. Mekânsal ağırlık matrisi, gözlem birimlerinin konumlarına bağlı olarak, bu konumların komşuluk durumlarını yansıtmaktadır. Matris içinde komşu olan birimler 1, diğer durumlar ise 0 ile gösterilmektedir. SDM modeline  $\theta = 0$  kısıtlaması getirildiğinde model Eşitlik 15'teki ifadeye dönüşmekte ve mekânsal otoregresif model (spatial autoregressive model, SAR) olarak adlandırılmaktadır.

$$y_t = \rho W y_t + X_t \beta + \mu + \varepsilon_t \quad (15)$$

SAR modelinin hata teriminin mekânsal etki barındırdığı düşünüldüğünde ise model Eşitlik 16 ve 17'deki ifadeye dönüşmekte ve geleneksel mekânsal (spatially autocorrelated errors, SAC) modeline dönüşmektedir.

$$y_t = \rho W y_t + X_t \beta + \mu + v_t \quad (16)$$

$$v_t = \lambda W v_t + \varepsilon_t \quad (17)$$

SAC modeline getirilecek  $\rho = 0$  kısıtlaması ile elde edilen ve Eşitlik 18-19'da verilen model de mekânsal hata modeli (spatial error model, SEM) olarak adlandırılmaktadır.

$$y_t = X_t \beta + \mu + v_t \quad (18)$$

$$v_t = \lambda W v_t + \varepsilon_t \quad (19)$$

Burada ele alınan mekânsal panel veri modelleri quasi-maksimum olabilirlik tahmincisi kullanılarak tahmin edilmektedir. Mekânsal panel veri modellerinde, panel veri analizinde olduğu gibi sabit etkiler modeli ile rassal etkiler modelleri arasında seçim yapılırken Hausman testinden yararlanılmaktadır.

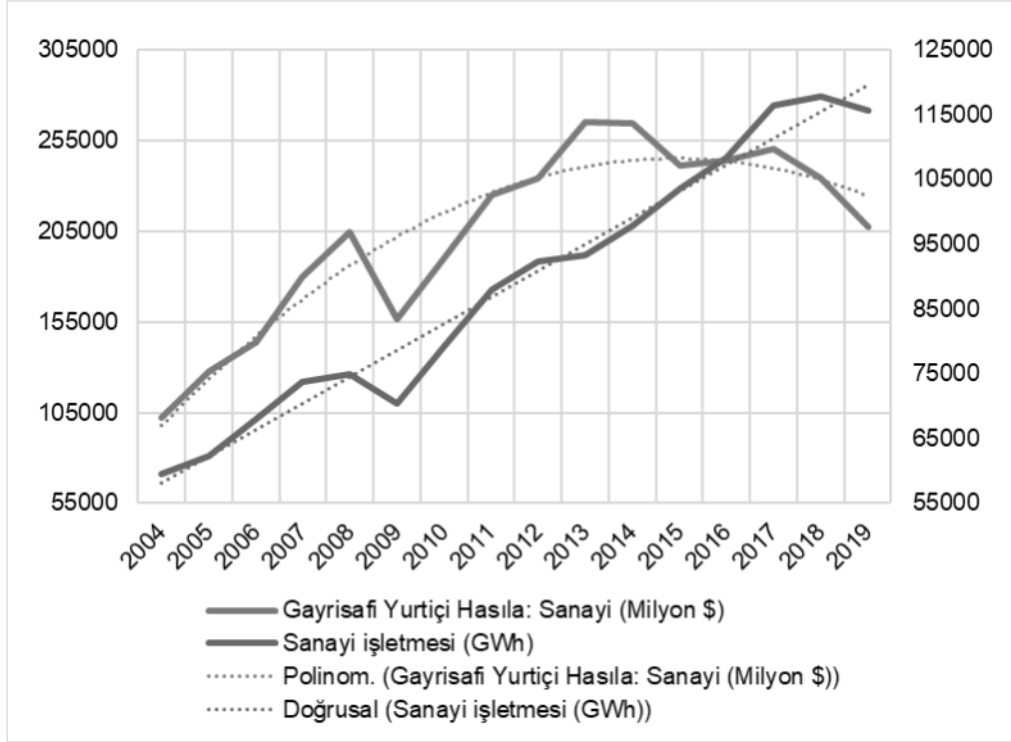
Değişkenlerin mekânsal otokorelasyona sahip olması durumunda bir bölgede meydana gelen değişimin diğer bölgeler üzerinde etkili olması yayılma (spillover) etkisi olarak adlandırılmaktadır. Yayılma etkilerine bağlı olarak, doğrudan ve dolaylı etkiler meydana gelmektedir. Açıklayıcı değişkenin  $i$  konumundaki değişiminin  $j$  ( $i \neq j$ ) bölgesindeki bağımlı değişkeni etkilemesi dolaylı etkiyi ifade ederken;  $i$

konumundaki açıklayıcı değişkendeki değişmeye bu konumdaki beklenen değerin verdiği tepki doğrudan etkiyi ifade etmektedir (Eralp, 2021: 98).

## 5. EKONOMETRİK ANALİZ

### 5.1. Model ve Veri Seti

Türkiye’de 2004-2019 dönemi için sanayinin toplam elektrik tüketimi Gigavat/saat (GWh) ve sanayi Gayri Safi Yurtiçi Hasılası (GSYH) (milyon Amerikan doları) değişkenlerine ait zaman serilerinin hareketi incelendiğinde Şekil 1’e göre, sanayi sektörü elektrik tüketiminin doğrusal bir trende sahip olduğu görülürken; sanayi GSYH’sinin ise parabolik bir yapı gösterdiği görülmektedir. Sanayi GSYH’sinin 2008 küresel krizi dışında genel olarak 2013 yılına kadar artış trendi sergilediği, ancak bu yıldan itibaren azalmaya başladığı görülmektedir. Dolayısıyla sanayi sektörünün büyüklüğünün ters U şekli sergilediği kabul edilebilir.



Şekil 1. Sanayi elektrik tüketimi ve sanayi GSYH’sinin zaman içindeki seyri

Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ters U ilişkisi ölçek, kompozisyon ve teknik etkilerin karşılıklı etkileşimi açısından açıklanabilir. Ölçek etkisi, ekonominin ölçeği arttıkça, diğer tüm durumlar sabitken, elektrik tüketiminin de artacağını belirtir. Kompozisyon etkisi, ekonomiler geliştikçe ağırlıklı olarak ağır sanayiden hafif imalat ve hizmetlere doğru bir değişiklik olduğu gerçeğini ifade eder. Dolayısıyla hafif imalat ve hizmetler sektöründe enerji kullanım yoğunluğu sanayi sektörüne göre düşük olacağından büyümenin bileşen etkisi gereği elektrik tüketimi azalacaktır. Teknik etkiye göre, araştırmaya ve geliştirmeye yapılan yatırımlardaki artış enerji verimliliğinin artmasına ve buna bağlı olarak da elektrik tüketiminin düşmesine neden olacaktır (Yoo ve Lee, 2010).

Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ampirik literatür, ülke özeli veya ülke grupları dahilinde olsun, bu iki değişken arasındaki nedenselliğin araştırılmasına ve varsa nedenselliğin yönünün belirlenmesine odaklanmaktadır. Bununla beraber bu iki değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen ampirik çalışmaların sonuçlarına bakıldığında nedenselliğin yönü konusunda bir belirsizlik olduğu görülmektedir (Payne, 2010). Bunun nedeni olarak ülke koşullarının farklılık göstermesi, analiz dönemlerinin farklı olması, kullanılan ekonometrik modellerin farklılıkları ve ekonometrik yöntemlerdeki farklılıklar gösterilebilir.

Çalışmada 2000 sonrası dönemde sanayi sektörü elektrik tüketiminin ve sanayi sektörü büyüklüğünün seyri dikkate alındığında, mekânsal etkiler altında ters U ilişkisinin araştırılabilmesi için mekânsal panel veri modellerinden geleneksel mekânsal model (SAC) çerçevesinde kurulan ekonometrik model Eşitlik 20 ve Eşitlik 21’de verilmektedir.

$$\text{Logselec}_{it} = \rho W \text{Logselec}_{it} + \beta_1 \text{Logsgdp}_{it} + \beta_2 \text{Logsgdp}_{it}^2 + \mu_i + v_{it} \quad (20)$$

$$v_{it} = \lambda W v_{it} + \epsilon_{it} \quad (21)$$

Eşitlik 20'de  $i$  alt indisi İBBS 3 düzeyindeki birimleri,  $t$  alt indisi ise zamanı ifade etmektedir. Sanayi sektörü elektrik tüketimi  $selec$  ve sanayi sektörünün büyüklüğü  $sgdp$  ile ifade edilmekte olup, logaritmik düzeyleri ile model girmektedirler.  $\mu$  birim etkiler ve  $W$  mekânsal ağırlık matrisini ifade etmektedir. Modelde ters  $U$  ilişkisinin geçerli olması için  $\beta_1 > 0$  ve  $\beta_2 < 0$  olup, her iki katsayının istatistiksel olarak anlamlı olması gerekmektedir.

## 5.2. Ampirik Bulgular

Analizlerde, İBBS 3 düzeyinde 81 ili kapsayacak şekilde 2004-2019 dönemine ait yıllık veriler kullanılmıştır. Sanayi sektörü GSYH verilerinin İBBS 3 düzeyinde 2004 yılına kadar geri gidiyor olmasından dolayı, veri setinin başlangıcı 2004 yılı olarak belirlenmiştir. Türkiye'de ilk Covid-19 vakasının 11 Mart 2020 yılında görülmesi ve beraberinde çeşitli kapanma kararları nedeniyle analiz dönemi 2019 yılı ile sınırlandırılmıştır. Çalışmada sanayi sektörü elektrik tüketimi verileri Megavat/saat (MWh) cinsindedir. Türkiye'de İBBS 3 düzeyinde enflasyon verileri açıklanmadığından sanayi sektörü büyüklüğü sanayi sektörü GSYH ABD doları cinsinden hesaplanmıştır. Veriler, TÜİK'in resmi internet sitesinden elde edilmiştir. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler**

<i>İstatistikler</i>	<i>Logselec</i>	<i>Logsgdp</i>
Ortalama	12,5907	20,4956
Medyan	12,7508	20,3913
Maksimum	16,2273	25,0659
Minimum	5,6454	16,6767
Standart Sapma	1,9356	1,3835
Gözlem Sayısı	1296	1296

Çalışmada ilk olarak sanayi elektrik tüketimi (Logselec) ve sanayi sektörü büyüklüğü (Logsgdp) değişkenlerine ait serilerin yatay kesit bağımlılık içerip içermediği Pesaran (2004) CD testi ile incelenmiştir. Test sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2. Pesaran CD testi sonuçları**

<i>Değişken</i>	<i>Test istatistiği</i>	<i>p-değeri</i>
Logselec	139,5751	0,0000***
Logsgdp	205,1390	0,0000***

Not: \*\*\* %1 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 2 incelendiğinde Logselec ve Logsgdp değişkenleri için hesaplanan test istatistiklerine ait p-değerlerinin anlamlılık düzeyleri 0,01'den küçük olmasından dolayı yokluk hipotezi reddedilmektedir. Dolayısıyla tüm değişkenlerin yatay kesit bağımlılığa sahip olduğuna karar verilmiştir.

Çalışmada kullanılan Logselec ve Logsgdp değişkenlerinin yatay kesit bağımlılığa sahip olması ve  $N > T$  olması nedeniyle bu değişkenlere ait serilerin birim kök içerip içermedikleri Pesaran (2007) CIPS testi ile araştırılmıştır. Tablo 3'te test sonuçları verilmiştir.

**Tablo 3. CIPS birim kök testi sonuçları**

<i>Değişken</i>	<i>Model</i>	<i>k = 1</i>	<i>k = 2</i>	<i>k = 3</i>
Logselec	Sabit	-2,3989***	-2,4974***	-2,6440***
	Sabit + Trend	-2,8628***	-2,8607***	-5,1657***
Logsgdp	Sabit	-2,1251**	-2,1874**	-3,2995***
	Sabit + Trend	-2,4727	-2,5579*	-14,5296***

Not: \*\*\* %1 \*\* %5 \* %10 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. Sabit terimli model için %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırasıyla kritik değerler: -2,22, -2,08 ve -2,01'dir. Sabit terim ve trendli model için %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyleri için sırasıyla kritik değerler: -2,76, -2,61 ve -2,53'tir.

Tablo 3'teki sonuçlar incelendiğinde, panelin geneli için serilerin düzeyde durağan olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel Granger nedensellik testi kullanılabilir. Panel Granger nedensellik test için gecikme uzunluğunun belirlenmesinde AIC, BIC ve HIC ölçütleri dikkate alınmış olup, uygun gecikme uzunluğu 3 olarak belirlenmiştir.



**Tablo 4. Dumitrescu ve Hurlin (2012) testi sonuçları**

<i>Ho Hipotezi</i>	<i>Gecikme</i>	<i>W-istatistiği</i>	<i>Zbar-istatistiği</i>	<i>p-değeri</i>
Logselec, Logsgdp'nin nedeni değildir.	3	4,6633	0,2139	0,8306
Logsgdp, Logselec'nin nedeni değildir.	3	5,8204	1,7289	0,0838*

Not: \* %10 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 4 incelendiğinde, sanayi sektörü büyüklüğünden sanayi sektörü elektrik tüketimine doğru tek yönlü bir nedensellik olduğu görülmektedir. Bu durumda koruma hipotezinin geçerli olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın temel amacı sanayi sektörü elektrik tüketimi ile sanayi sektörü büyüklüğü arasındaki ilişkinin yapısının belirlenmesi ve olası ters U ilişkisinin geçerliliğinin araştırılması olduğundan, mekânsal etkiler altında SAR, SEM, SAC ve SDM modelleri kullanılarak bu ilişkinin varlığı araştırılmıştır. Modellere ait tahmin sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5. Mekânsal panel veri modellerinin tahmin sonuçları**

<i>Değişken</i>	<i>SAR-FE</i>	<i>SEM-FE</i>	<i>SAC-FE</i>	<i>SDM-FE</i>	<i>SDM-RE</i>
Loggsd	3,9206*** [0,4693] (0,0000)	4,5768*** [0,5109] (0,0000)	4,4945*** [0,5072] (0,0000)	4,8756*** [0,5211] (0,0000)	4,7730*** [0,4681] (0,0000)
Loggsd2	-0,0792*** [0,0117] (0,0000)	-0,0900*** [0,0128] (0,0000)	-0,0850** [0,0129] (0,0000)	-0,0973*** [0,0134] (0,0000)	-0,0912*** [0,0115] (0,0000)
WLoggsd				-3,5939*** [0,7597] (0,0000)	-3,7392*** [0,7229] (0,0000)
Wloggsd2				0,0802**** [0,0189] (0,0000)	0,0810*** [0,0176] (0,0000)
$\rho$	0,2779*** [0,0325] (0,0000)		-0,2671*** [0,0822] (0,0010)	0,3462*** [0,0340] (0,0000)	0,3780*** [0,0333] (0,0000)
$\lambda$		0,3560*** [0,0340] (0,0000)	0,5435*** [0,0570] (0,0000)		
Olabilirlik	-629,0474	-614,7829	-609,8753	-610,9591	-813,2504
Gözlem sayısı	1296	1296	1296	1296	1296
R <sup>2</sup> grupiçi	0,3909	0,4011	0,4015	0,4072	0,4068
R <sup>2</sup> gruplararası	0,8876	0,8663	0,8107	0,8671	0,8582
R <sup>2</sup> tüm	0,8347	0,8242	0,7780	0,8270	0,8205
AIC	1266,0950	1237,5660	1229,7510	1233,9180	1642,5010
BIC	1286,7630	1258,2340	1255,5860	1264,9200	1683,8370

Not: \*\*\* %1 ve \*\* %5 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 5'teki sonuçlardan yararlanarak, öncelikle SDM modeli kullanılarak sabit etkiler (fixed effect, FE) modelinin mi, yoksa rassal etkiler (random effect, RE) modelinin mi geçerli olduğu Hausman testi kullanılarak araştırılmıştır. Hausman test istatistiği 19,0600 ve p-değeri 0,0019 olduğundan %1 anlamlılık düzeyinde rassal etkiler geçerlidir şeklindeki yokluk hipotezi reddedilebilmektedir. Dolayısıyla panel veri setinin sabit etkilere sahip olduğuna karar verilmiştir. SDM-FE modeline karşılık SAR-FE modelinin geçerliliğinin testi için Logsgdp ve Logsgdp2 değişkenlerinin katsayılarının birlikte sıfır olduğunu iddia eden yokluk hipotezi altında test istatistiği 37,1000 ve p-değeri 0,0000 olduğundan %1 anlamlılık düzeyinde yokluk hipotezi reddedilebilir. Dolayısıyla SDM-FE modeli geçerlidir. SDM-FE modeline karşılık SEM-FE modelinin geçerliliğinin yokluk hipotezi SEM-FE modeli geçerlidir şeklindedir. Test istatistiği 7,6300 ve p-değeri 0,0220 olduğundan %5 anlamlılık düzeyinde yokluk hipotezi reddedilebilir. Dolayısıyla SDM-FE modeli geçerlidir. SDM-FE ve SAC-FE modelleri birbirleri içerisine yuvalanmış modeller olmadıklarından aralarındaki model seçimi AIC ve BIC bilgi kriterlerine göre yapılmaktadır (Belotti ve diğerleri, 2017). SAC-

FE modelinin hem AIC hem de BIC değerleri SDM-FE'nin AIC ve BIC değerlerinden daha küçük olduğundan uygun modelin SAC-FE modeli olduğuna karar verilmiştir.

Uygun modelin belirlenmesinden sonra, LeSage ve Pace (2009) ve Elhort (2014) belirttiği üzere katsayıların doğrudan, dolaylı ve toplam etkilerinin elde edilip bu katsayılar üzerinden yorum yapılması uygundur. Tablo 6'da SAC-FE modeli için Logsgdp ve Logsgdp2 bağımsız değişkenlerin Logselec bağımlı değişkeni üzerindeki doğrudan, dolaylı ve toplam etkileri verilmiştir.

**Tablo 6. SAC-FE modelinin doğrudan dolaylı ve toplam etkileri**

<i>Etki</i>	<i>Değişken</i>	<i>Katsayı</i>	<i>Standart hata</i>	<i>p-değeri</i>
Doğrudan	Logsgdp	4,5763***	0,5246	0,0000
	Logsgdp2	-0,0868***	0,0134	0,0000
Dolaylı	Logsgdp	-0,9706***	0,2731	0,0000
	Logsgdp2	0,0183***	0,0053	0,0010
Toplam	Logsgdp	3,6057***	0,4964	0,0000
	Logsgdp2	-0,0684***	0,0120	0,0000

Not: \*\*\* %1 ve \*\* %5 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 6 incelendiğinde SAC-FE modeli tahmin sonuçlarına göre, tüm birimler için beklendiği gibi Logsgdp değişkenin katsayısı pozitif olup istatistiksel olarak %1 düzeyinde ve Logsgdp2 değişkenin katsayısı da negatif olup, istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlıdır. Dolayısıyla istatistiksel olarak anlamlı bir ters U ilişkisinin varlığı açıkça görülmektedir. Bunun anlamı sanayi sektörü elektrik tüketiminin sanayi sektörü büyüklüğünün azalan bir oranı ile artış gösterdiği ve bir zirve noktasından sonra ise azalış göstereceğidir.

Doğrudan etkiler dikkate alındığında bu zirve noktası  $e^{(-4,5763/2(-0,0868))} \cong 281$  şeklinde yaklaşık olarak 281 milyar ABD doları olarak tahmin edilmiştir. Toplam etkiler dikkate alındığında ise bu zirve noktası  $e^{(-3,6057/2(-0,0684))} \cong 280$  şeklinde yaklaşık olarak 280 milyar ABD doları olarak tahmin edilmiştir.

## 6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Türkiye ekonomisinin temel büyüme stratejisi ihracata dayalı büyüme olarak halen kabul edilmektedir. Türkiye'nin pek çok tarım ürünü ihracatçısı olmasına rağmen, son yıllarda bu konuda ithalatçı duruma geçmiştir. Bununla beraber imalat sanayi ürünleri ve son yıllardaki özellikle savunma sanayi ürünlerinde ihracatını arttırdığı görülmektedir.

Sanayide üretiminin gerçekleştirilebilmesi için elektrik enerjisi, sermaye ve emek girdilerinin yanında önemli bir tamamlayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'nin enerji ihtiyacı hem üretim hem de tüketim kaynaklı olarak artmaktadır. Bununla beraber enerji türleri içerisinde kolay kullanımı ve görece temiz bir enerji çeşidi olması nedeniyle elektrik enerjisi ön plana çıkarmaktadır.

Sanayi sektörünün toplam elektrik tüketimi içerisindeki payı 2000 sonrası dönemde ortalama olarak %47 düzeyindedir. Bununla beraber Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) 2019 yılı verilene göre elektrik üretiminin %19,87'si ithal kömür, %18,85'i doğal gaz, %15,42'si linyit, %1,85'i taşkömürü ve asfaltit, %1,52'i yenilenebilir atık ve atık ile %0,11'i sıvı yakıtlardan karşılanmıştır (TEİAŞ, 2022). Dolayısıyla Türkiye'nin enerji bağımlılığı ve sürdürülebilir ekonomi açısından sanayi sektörünün büyüklüğü ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin yapısal analizi uygulanan politikaların değerlendirilmesi ve uygulanacak politikalar açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda çalışmada sanayi sektörü elektrik tüketimi ile sanayi sektörü büyüklüğü arasındaki yapısal ilişki ve olası ters U ilişkisi mekânsal etkiler dikkate alınarak araştırılmıştır. Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel Granger nedensellik testi sonuçlarına göre sanayi sektörü büyüklüğünden sanayi sektörü elektrik tüketimine doğru bir nedensellik olduğu görülmektedir. Uygun mekânsal ekonometrik model olarak seçilen SAC-FE modeli tahmin sonuçlarına göre mekânsal etkiler altında değişkenler arasında ters U ilişkisinin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır. Zortuk ve diğerleri (2017) tarafından geçiş ekonomilerinde ekonomik büyüme ile elektrik tüketimi arasında ters U ilişkisinin geçerli olduğunu ifade edilirken, bunun nedenini sektörel politika değişikliklerine bağlanmaktadır.

Çalışmada tahmin edilen SAC-FE modelinin tahmin sonuçlarına göre analiz döneminde ortalama sanayi sektörünün büyüklüğü yaklaşık olarak 204 milyar ABD dolarıdır. Tahmin edilen mekânsal modele göre toplam mekânsal etkiler altında sanayi sektörü büyüklüğünün 280 milyar ABD dolarına kadar ölçek etkisinin, daha sonrasında ise kompozisyon ve teknik etkilerin hâkim olacağı düşünülmektedir. Bunun nedeni olarak 2000 sonrası dönemdeki yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji üretimindeki artış ve enerji tasarrufu ile enerji verimliliği konusundaki uygulamalar gösterilebilir.

Gelecekte sanayi sektörünün büyüklüğünün 280 milyar ABD dolarını aşması beklenti dahilindedir. Sanayi sektöründe ölçek etkisinin var olduğu düşünüldüğünde, sanayi sektörünün büyüklüğü arttıkça kullanılan elektrik tüketiminin artmasının beklenmesi akla uygundur. 2000-2016 yılları arasında sanayi sektörü enerji tüketimi payı azalırken, hizmetler sektörünün enerji tüketim miktarı ise artmıştır. Bununla beraber 2016 yılı itibariyle elektrik tüketiminde en büyük pay sanayi sektörüne aittir. Ayrıca, Enerji Verimliliği Endeksine (ODEX) göre 2000-2016 döneminde Türkiye toplamda %24,8 iyileşme gösterirken, AB-28 ülkelerinde ise %18,1'lik bir iyileşme gerçekleşmiştir. Görüldüğü üzere Türkiye'nin enerji verimliliği konusunda yürüttüğü çalışmaların sağladığı tasarruf miktarı, AB-28 ülkelerinin ortalamasının üzerinde gerçekleşmiştir (Altan ve Sağbaş, 2020). Bu bağlamda kompozisyon ve teknik etkiler ile sağlanan enerji verimliliği sanayi sektörü elektrik tüketimi ile sanayi sektörü büyüklüğü arasındaki ters U ilişkisinin nedeni olabilir. Ancak, Türkiye'de uygulanan enerji tasarrufu ve enerji verimliliği konusundaki çalışmaların henüz yeterli olmadığı belirtilmektedir. Dolaylı etkiler dikkate alındığında ise istatistiksel olarak anlamlı bir U şeklinin geçerli olduğu görülmektedir. Dolayısıyla hizmetler sektörünün yanında hafif imalat sanayinin enerji kullanım yoğunluğu sanayi sektörüne göre düşük olacağından büyümenin bileşen etkisi gereği elektrik tüketimi azalacaktır. Teknik etki dikkate alındığında AR-GE yapılan yatırımlardaki artış enerji verimliliğinin artmasına ve buna bağlı olarak elektrik tüketiminin düşmesine neden olabilir. Bu bağlamda elde edilen bulgular, sanayi sektörünün ekonomik büyüklüğünün sanayi sektörünün elektrik tüketimini belirli bir eşik değerine kadar destekleyebileceğini göstermektedir. Yani, yapısal dönüşümü işaret eden bir eşik değeri söz konusu olabilir. Dolayısıyla politika yapıcıların sanayi sektörünü için kurulu güç kapasitesi planlamalarında bu durumu dikkate alması yararlı olacaktır.

Bu çalışmada sanayi sektörü elektrik tüketimi üzerinde, sektör büyüklüğünün etkisinin genel bir bakış açısı ile incelemesi; çalışmanın kısıdını oluşturmaktadır. Bununla beraber çalışmanın ampirik bulguları bölgesel farklılıklar olduğunu göstermektedir. Altan ve Sağbaş (2020) çalışmasına göre 2007-2015 dönemi itibariyle Türkiye'de sanayi sektörünün alt sektörlerinde enerji verimliliğinde heterojen bir yapı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda ileriki çalışmalarda alt sektörler itibariyle ters U ilişkisi araştırılabilir.

#### **Çatışma Beyanı / Conflict of Interest**

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.  
*No potential conflict of interest was declared by the author.*

#### **Fon Desteği / Funding**

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.  
*Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.*

#### **Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards**

Yazar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.  
*It was declared by the author that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.*

#### **Etik Beyanı / Ethical Statement**

Yazar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.  
*It was declared by the author that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.*



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.  
*The authors own the copyright of their works published in Verimlilik Dergisi and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.*

**KAYNAKÇA**

- Abbas, F. ve Choudhury, N. (2013). "Electricity Consumption-Economic Growth Nexus: An Aggregated and Disaggregated Causality Analysis in India and Pakistan", *Journal of Policy Modeling*, 35, 538-553.
- Ağır, H. ve Kar, M. (2010). "Türkiye'de Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi İlişkisi: Yatay Kesit Analizi", *Sosyoekonomi*, 6(12), 149-175.
- Alpdoğan, H. (2021). "Yapısal Kırılma Altında Türkiye'nin Enerji Tüketimi ile Büyüme İlişkisi", *Journal of Business and Trade*, 1(2), 28-36.
- Altan, A.D. ve Sağbaş, A. (2020). "Türkiye'nin Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliği Performansı: Mevcut Durum ve Gelecek Projeksiyonu", *Verimlilik Dergisi*, 1, 7-26.
- Altınay, G. ve Karagöl, E. (2005). "Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Turkey", *Energy Economics*, 27, 849-856.
- Altıntaş, H. ve Koçbulut, Ö. (2014). "Türkiye'de Elektrik Tüketiminin Dinamikleri ve Ekonomik Büyüme: Sınır Testi ve Nedensellik Analizi", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 43, 37-65.
- Altıntaş, H. ve Mercan, M. (2015). "Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: G-11 Ülkeleri Örneğinde Panel Eşbütünlük ve Nedensellik Uygulaması", *TISK Academy/TISK Akademi*, 10(20), 318-347.
- Aydın, M. (2020). "Enerji Tüketimi-Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye için Frekans Alanında Nedensellik Yaklaşımı", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 83-96.
- Aytaç, D. (2010). "Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin Çok Değişkenli VAR Yaklaşımı ile Tahmini", *Maliye Dergisi*, 158, Ocak-Haziran, 482-495.
- Barut M.E. ve Çelik E. (2021). "Türkiye'de Sanayide Tüketilen Elektrik Enerjisi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Granger Nedensellik Analizi", *Nicel Bilimler Dergisi*, 3(1), 43-58.
- Bayraç N.H. ve E. Doğan (2015). "Türkiye'de Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkileri: Markov-Switching Yaklaşımı", *EY International Congress on Economics II*, Ankara, 5-6 Kasım.
- Belotti, F., Hughes, G. ve Mortari, A.P. (2017). "Spatial Panel-data Models Using Stata", *The Stata Journal*, 17(1), 139-180.
- Çağlar, A.E., Kubar, Y. ve Korkmaz, A. (2017). "Türkiye Ekonomisinde Büyümenin Dinamiği Olarak Enerji", *Akdeniz İİBF Dergisi*, 17 (36), 103-129.
- De Hoyos, R.E. ve Sarafidis, V. (2006). "Testing for Cross-sectional Dependence in Panel-data Models". *The stata journal*, 6(4), 482-496.
- Dumitrescu, E.I. ve Hurlin, C. (2012). "Testing for Granger Non-causality in Heterogeneous Panels", *Economic modelling*, 29(4), 1450-1460.
- Elhorst, J.P. (2014). *Spatial Econometrics: From Cross-sectional Data to Spatial Panels*. Heidelberg, Springer, 2014.
- ENVER (Enerji Verimliliği Derneği), (2022). "Enerji Verimliliği Nedir?", <https://www.enver.org.tr/enerji-verimliliği>, (Erişim tarihi: 17.08.2022).
- Eralp, A. (2021). "Süreklilikten Sürdürülebilirliğe Ekonomi – Seçme Yazılar", *Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınmanın Önündeki Engel: Yoksulluğun Akademik Başarı Üzerindeki Etkisi*, Editör: Orhan ELMACI, Holistence Publications, İstanbul, 82-119.
- Eralp, A., Şahin, S. ve Çağdaş, Y. (2020). "Vergi Yüğü ve Mutluluk İlişkisinin Mekânsal Ekonometrik Modellerle Analizi". *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 16(4), 870-890.
- Erdoğan, S. ve Gürbüz, S. (2014). "Türkiye'de Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Yapısal Kırılmalı Zaman Serisi Analizi", *Selçuk Üniversitesi SBE Dergisi*, 32:79-87.
- Ertuğrul, M. (2011). "Türkiye'de Elektrik Tüketimi Büyüme İlişkisi: Dinamik Analiz", *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 2: 49-73.
- EVK (Enerji Verimliliği Kanunu), (2007). T.C. Resmî Gazete, Sayı: 26510, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>, (Erişim tarihi: 17.08.2022).
- Ferguson, R., Wilkinson, W. ve Hill, R., (2000). "Electricity Consumption and Economic Development", *Energy Policy*, 28, 923-934.
- Ghosh, S. (2002). "Electricity Consumption and Economic Growth in India", *Energy Policy*, 30(2), 125-129.
- Güriş, S. (2018). *Uygulamalı Panel Veri Ekonometrisi*, DER Yayınları, İstanbul.
- KA (Kalkınma Ajansları), (2022). *Kalkınma Planlamasında İstatistikî Bölge Birimleri Sınıflandırması*, <https://ka.gov.tr/sayfalar/kalkinma-planlamasinda-istatistik-bolge-birimleri-siniflandirmasi--24>, (Erişim tarihi: 13.08.2022).

- Kar, M. ve Kınık, E. (2008). "Türkiye'de Elektrik Tüketimi Çeşitleri ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Ekonometrik Bir Analizi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 5(2): 333-353.
- Kara, M.A. ve Çiğirlioğlu, O. (2018). Türkiye'de İl Düzeyinde Elektrik Tüketimi ile GSYİH Arasındaki İlişkinin Mekânsal Analizi. ICPESS 2018 PROCEEDINGS Volume 2: Economic Studies, 269.
- Karagöl, E., Erbaykal, E. ve Ertuğrul, H.M. (2007). "Türkiye'de Ekonomik Büyüme ile Elektrik Tüketimi İlişkisi: Sınır Testi Yaklaşımı", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8(1), 72-80.
- Kopuk, E. ve Bayraç, H.N. (2021). "Enerji ve Elektrik Kullanımının Türkiye Ekonomisi Üzerindeki Etkisi", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 17(2), 317-330.
- Korkmaz, Ö. ve Develi, A. (2012). "Türkiye'de Birincil Enerji Kullanımı, Üretimi ve GSYİH Arasındaki İlişki", *Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Dergisi*, 27(2): 1-25.
- Kouakou, A.K. (2011). "Economic Growth and Electricity Consumption In Cote D'ivoire: Evidence From Time Series Analysis", *Energy Policy*, 39, 3638-3644.
- Kraft, J. ve Kraft, A. (1978). "On the Relationship Between Energy and GDP", *Journal of Energy Development*, 3, 401-403.
- Lesage, J. ve Pata, R.K., (2009), Introduction to Spatial Econometrics. Chapman and Hall/CRC.
- Lise, W. ve K.V. Montfort (2007), "Energy Consumption and GDP in Turkey: Is There A Co-Integration Relationship?", *Energy Economics*, 27, 1166-1178.
- Mozumder, P. ve Marathe, A., (2007). "Causality Relationship Between Electricity Consumption and GDP in Bangladesh", *Energy Policy*, 35, 395-402.
- Narayan, P.K. ve Prasad, A. (2008). "Electricity Consumption-Real GDP Causality Nexus: Evidence From A Bootstrapped Causality Test for 30 OECD Countries", *Energy Policy*, 36, 910-918.
- Nişancı, M. (2005). "Türkiye'de Elektrik Enerjisi Talebi ve Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki", *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 5(9):107-121.
- Payne J.E. (2010). "A Survey of The Electricity Consumption-Growth Literature", *Applied Energy*, 87, 723-731.
- Pesaran, M.H. (2004). "General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels", (IZA Discussion Paper No. 1240). Institute for the Study of Labor (IZA).
- Pesaran, M.H. (2006). "Estimation and Inference in Large Heterogeneous Panel with a Multifactor Error Structure". *Econometrica*, 74 (4), 967-1012.
- Pesaran, M.H. (2007). "A Simple Panel Unit Root Test in The Presence of Cross-Section Dependence", *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265-312.
- Saatçi, M. ve Dumrul, Y. (2013). "Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkinin Dinamik Bir Analizi: Türkiye Örneği", *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 32(2):1-24.
- Squalli, J. (2007). "Electricity Consumption And Economic Growth: Bounds and Causality Analyses for OPEC Members", *Energy Economics*, 29, 1192-1205.
- Tatlıgil, H., Çemrek, F. ve Şen, H. (2009), "Cointegration Relationship among Energy Consumption GDP and Electricity Price Variables in Turkey", *Selçuk Ün. İİBF Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(17), 439-451.
- Tatoğlu, F.Y. (2018). "Panel Zaman Serileri Analizi Stata Uygulamalı – 2. Baskı", Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Tayyar, A.E. (2019). "Türkiye'de Sektörel Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme İlişkisi: MWALD Temelli Nedensellik Analizlerinin Uygulanması", *Third Sector Social Economic Review*, 54(4), 1937-1956.
- TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2022). "III-Elektrik Enerjisi Üretimi-Tüketimi-Kayıplar 2019," 38-Grafik III.I - 2019 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.docx, (Erişim tarihi: 03.10.2022).
- Terzi, H. (1998). "Türkiye'de Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme", *İşletme, İktisat ve Finans Dergisi*, 13(3): 62-72.
- Tobler, W.R. (1970). "A Computer Movie Simulating Urban Growth in The Detroit Region", *Economic Geography*, 46(sup1). 234-240.
- TSKB (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş.), (2021). "Enerji Görünümü 2021", <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>, (Erişim tarihi: 17.08.2022).
- Usta, C. (2016). "Türkiye'de Enerji Tüketimi Ekonomik Büyüme İlişkinin Bölgesel Analizi", *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 2(2), 181-201.
- Usta, C. ve Berber, M. (2017). "Türkiye'de Enerji Tüketimi Ekonomik Büyüme İlişkinin Sektörel Analizi", *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(1), 173-187.
- Wolde-Rufael, Y. (2006). "Electricity Consumption and Economic Growth: A Time Series Experience for 17 African Countries", *Energy Policy*, 34,1106-1114.

- Yalçın, H.E. ve Yalçın, C. (2021). "Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji ve Cari İşlemler Dengesi: Ekonometrik Bulgular ve Türkiye İçin Senaryo Analizleri", 21. *Ulusal İktisat Kongres (EKON-TEK2021)*, Eskişehir, Türkiye, 1-37.
- Yapraklı, S. ve Yurttañıkımaz, Z. (2012). "Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik: Türkiye Üzerine Ekonometrik bir Analiz", *CÜ İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 13(2), 195-215.
- Yoo, S. H., ve Lee, J.S. (2010). "Electricity Consumption and Economic Growth: A Cross-country Analysis", *Energy Policy*, 38(1), 622-625.
- Zortuk, M. ve Karacan, S. (2018). "Energy–growth Nexus Revisited: An Empirical Application on Transition Countries", *Environment, Development and Sustainability*, 20(2), 605-623.
- Zortuk, M., Karacan, S. ve Aydın, N. (2017). "Energy Consumption and Economic Growth Nexus in Selected Transition Economies: Quantile Panel-Type Analysis Approach", *Sosyoekonomi*, 25(34), 187-196.