

GÜNEŞ ENERJİSİ VE EKONOMİK BÜYÜME

Solar Energy and Economic Growth

Ümit KOÇ*

Öz

Anahtar Kelimeler:
Ekonomik Büyüme,
Güneş Enerjisi, Panel
Veri Yöntemi.

JEL Kodları:
C23, O44, Q42

Enerji, üretim süreçlerinin, ekonomik faaliyetlerin ve gündelik hayatın en önemli bileőenlerinden birisidir. Ülkelerin gerek ekonomik büyümelerinde, gerekse kalkınma göstergelerinde belirleyici olan enerji, aynı zamanda kıt bir kaynaktır. Öte yandan son 200 yıldır, enerji elde etmek için dünya kaynakları tüketilmekte ve zarar verilen doğal çevre de artık kıt bir kaynak haline gelmektedir. Doğal çevreye verilen zarar gittikçe geri dönülemez bir noktaya yaklaşmakta ve bu durum insanlığın tüm kazanımlarını tehdit etmektedir. Bu nedenle özellikle karbon emisyon oranlarını azaltacak yöntemlerin kullanılması için yenilenebilir kaynaklara yönelmek çok kritik hale gelmektedir. Ayrıca yenilenebilir kaynaklardan enerji elde etmek sürdürülebilir ekonomik büyüme için de elzemdir. Güneş enerjisi de sınırsız ve temiz olma özellikleri ile önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada güneş enerjisi ve ekonomik büyüme ilişkisi araştırılmaktadır. Deneysel çalışmada seçilmiş 19 ülkenin 1990-2019 yılları arasındaki bilgilerini kapsayan veri seti, panel veri yöntemleri ile analiz edilmektedir. Deneysel analizde hem statik hem de dinamik panel yöntemleri uygulanmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, güneş enerjisi kullanımı ile ekonomik büyüme arasında pozitif bir ilişki vardır. Elde edilen bulgular, kullanılan veri seti özelinde büyüme hipotezinin geçerli olduğunu göstermektedir.

Abstract

Keywords:
Economic Growth,
Solar Energy, Panel
Data Methods.

JEL Codes:
C23, O44, Q42

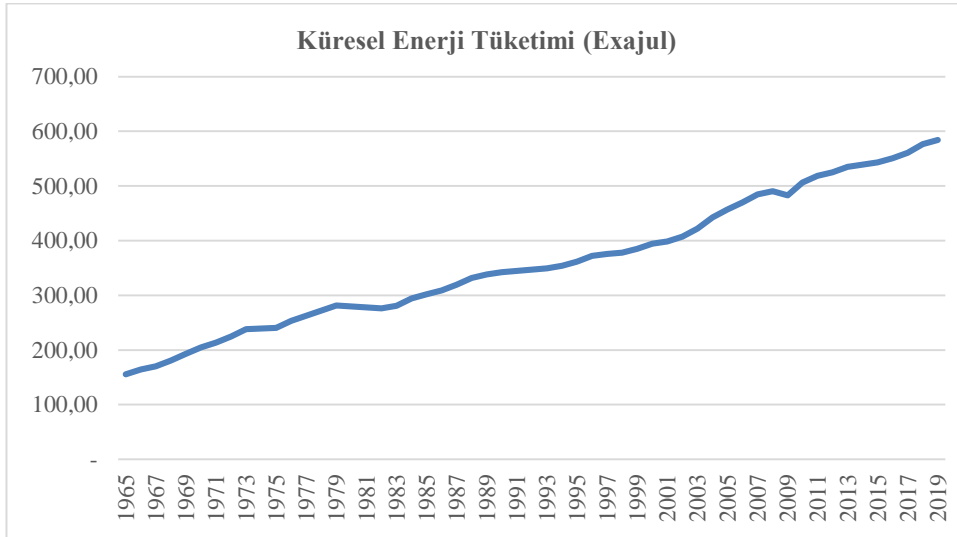
Energy is one of the most crucial components of production processes, economic activities and daily life. Being a determinant of both the economic growth and development indicators of the countries, energy is a scarce resource. On the other hand, in the last 200 years, world resources have been depleted for energy purposes, and the damaged natural environment has now become a scarce resource. The damage of the natural environment is getting closer to an irreversible point, and this situation threatens all the achievements of humanity. For this reason, it becomes very critical to use renewable resources especially for reducing the carbon emission rates. In addition, obtaining energy from renewable resources is essential for sustainable economic growth. Solar energy is an important renewable energy source that is unlimited and clean. In this study, the relationship between solar energy and economic growth is explored. In the empirical study, the data set covering the data of 19 selected countries between 1990 and 2019 is analyzed with panel data methods. Both static and dynamic panel data methods are applied in the empirical analysis. According to the results of the study, there is a positive relationship between solar energy use and economic growth. The findings show that the growth hypothesis is valid for this data set.

* Dr., Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, umit.koc@tcmb.gov.tr, ORCID: 0000-0002-1853-5156

1. Giriş

Dünya nüfusu büyük hızla artarken, doğal kaynaklar da büyük bir hızla tükenmektedir. Artan nüfusa bağlı olarak enerji talebi de çok hızlı bir yükseliş eğilimindedir. Enerji salt iktisadi faaliyetin değil, aynı zamanda yaşamın da ayrılmaz ve oldukça önemli bir parçasıdır. İnsanoğlunun 21. Yüzyılda geldiği noktada, enerjinin kullanılabilir bir formu olarak elektrik yaşamın her alanında vardır. İnsanlığın elektriksiz ya da kısıtlı olarak elektriğin olduğu bir yaşamı devam ettirmesi hiç kolay değildir. Öte yandan halen enerji arzını büyük ölçüde sağlayan fosil yakıtların tükenmesi de kaçınılmazdır. Bu çerçevede ağırlıklı olarak fosil yakıtlara dayanan enerji arzının, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren gündeme girmiştir.

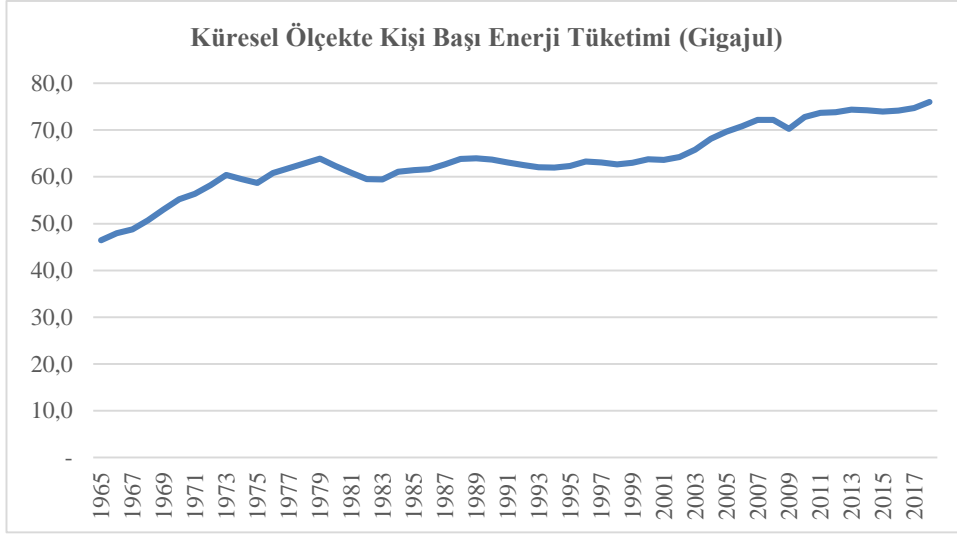
Ekonomik büyüme açısından son derece kritik bir noktada bulunan enerji aynı zamanda sosyal ve beşeri açıdan da çok önemli bir yerde durmaktadır (Koç, 2020; Koç ve Apaydın, 2020). Sürekli artan enerji tüketimi artan nüfusla ilgili olduğu gibi, dünya ölçeğinde kalkınmanın artışı ile de doğrudan ilgilidir. Dünya genelindeki enerji tüketimine ilişkin durum olarak Grafik 1’de verilmektedir. 1965 yılında yaklaşık 156 Exajul olan küresel enerji tüketimi 2019 yılına gelindiğinde yaklaşık 3.75 kat artarak 584 Exajul seviyesine çıkmıştır.



Grafik 1. Küresel Ölçekte Toplam Enerji Tüketimi

Kaynak: (BP Energy Outlook, 2020)

Kişi başına düşen enerji tüketimi ise Grafik 2’de yer almaktadır. Buradaki artış küresel ölçekte toplam enerji tüketimindeki kadar keskin değildir. 1965 yılında yaklaşık 46 Gigajul olan kişi başına enerji tüketimi 2018 yılına gelindiğinde 1.64 kat artarak 76 Gigajul seviyesine çıkmıştır. Burada dikkat çekici olan husus 1970’li yılların ortasına kadar net bir şekilde artan kişi başı enerji tüketimi, bu dönemde yaşanan krizle birlikte daha sabit bir forma bürünmüş, yeniden artış ise ancak 2000’li yıllarda tekrar başlamıştır. 1965-1973 arası dünya genelinde Keynesyen politikaların ağırlıklı olarak uygulandığı bir dönemdir. 2000’li yıllar ise teknolojik gelişimin hem üretime hem de tüketime damga vurduğu bir zaman dilimi olup bu dönemdeki artışı açıklayabilecek unsurlardan birisidir.

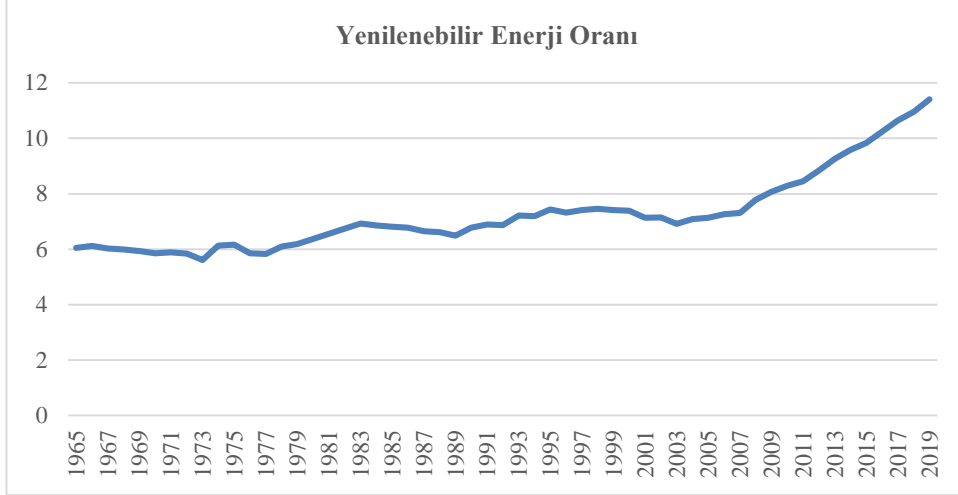


Grafik 2. Küresel Ölçekte Kişi Baři Enerji Tüketimi

Kaynak: (BP Energy Outlook, 2020)

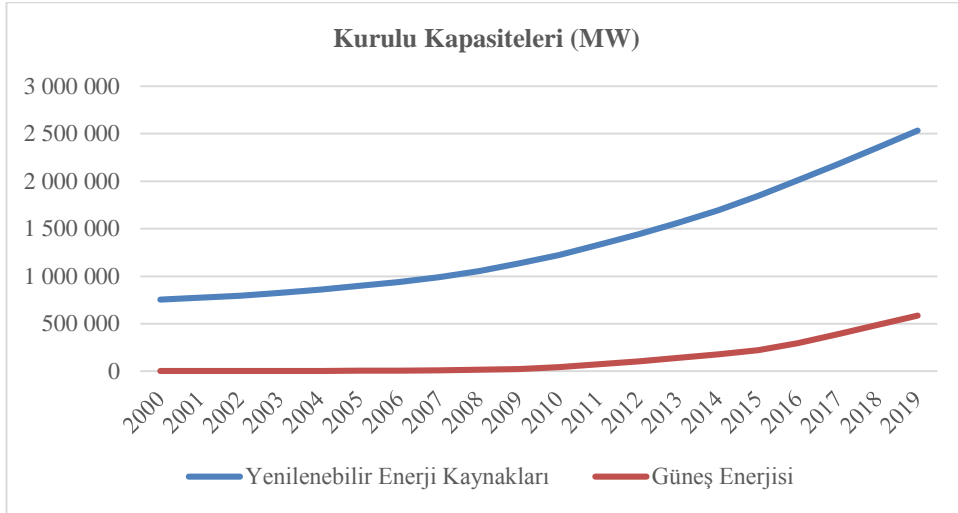
Arrow vd. (1995) çalışmasında ulusal ve uluslararası ekonomi politikalarının çoğu kez çevreyi görmezden gelerek, tek başına mekanik bir şekilde gayri safi milli hasıla artışının öne çıkarıldığı ifade edilmektedir. Fischer ve Heutel (2013), makroekonomik göstergeler ile çevre politikaları arasındaki etkileşimi göz ardı etmenin ekonomideki bazı temel tepkileri ihmal etme riski taşıdığını belirtmektedir. Sanayi Devrimi, ekonomik büyümeye yol açan fosil yakıt kaynaklarının kullanımını geliştirmeye olanak tanımıştır ancak geldiğimiz noktada halen fosil yakıt tabanlı enerji sistemleri ile devam etmek iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini kalıcı hale getirme riskini içermektedir. Apaydın (2020) çalışmasında, küreselleşme sürecinin bir bütün olarak ekolojiyi olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir.

Öte yandan insanların endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerinden kaynaklanan iklim değişikliği sorunu 1950'lerden beri geniş çapta kabul görmektedir. Bununla birlikte, çevre sorunu olarak kamuoyu nezdinde geniş kitlelerin dikkatini ancak 1980'lerin başında çekmeyi başaramıştır (Tennant-Wood, 2012). Sonraki yıllarda da çevre duyarlılığının artarak devam etmesi sonucunda yenilenebilir enerjinin payının sürekli olarak arttığı gözlemlenmektedir. Grafik 3'te paylaşılan verilerden de anlaşılacağı üzere, 1965 yılından 2000'li yılların başına kadar neredeyse sabit bir seyir izleyen yenilenebilir enerjinin toplam enerji içindeki payı anılan dönemde yaklaşık %6 düzeyindedir. 2003 yılından itibaren ise ciddi bir artış eğilimi başlamıştır ve bu artış eğilimi ile paralel olarak 2019 yılına gelindiğinde yenilenebilir enerjinin payı yaklaşık %11.4'e çıkmıştır. Bu durum kurulu kapasite verisini içeren Grafik 4'te de teyit edilmektedir. 2000 yılından 2019 yılına kadar kurulu kapasite miktarı toplam yenilenebilir enerji kaynakları için 3 kattan daha fazla bir artış göstermiştir. Bu artış güneş enerjisinin kurulu kapasitesinde ise yaklaşık 500 kattır. Bu artış güneş enerjisinin ciddi bir seçenek olarak öne çıktığının da bir göstergesidir.



Grafik 3. Küresel Ölçekte Yenilenebilir Enerji Oranı

Kaynak: Statista



Grafik 4. Küresel Ölçekte Yenilenebilir Enerji ve Güneş Enerjisi Kurulu Kapasiteleri

Kaynak: IRENA

Tüm bu çabaların temel nedeni temiz enerji teknolojilerinin, ekonomik kalkınma ve sürdürülebilir enerji arzı arasındaki ilişki açısından son derece önemli bir rol oynamasıdır. Sonuç olarak, iklim dostu enerji teknolojilerinin yayılması ve transferi, uluslararası iklim müzakerelerinde ve büyük konferanslardaki değişmez konulardan biri haline gelmiştir. Güneş enerjisi de, önemli temiz enerji kaynakları arasında yer almaktadır ve gerekli teknoloji bileşenlerini sağlayan bir endüstri için bu alanda büyük büyüme potansiyeli bulunmaktadır (Groba, 2014).

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji miktarının artması ve güneş enerjisinin de yenilenebilir enerji kaynakları arasında sınırsız bir kaynak olmasından hareketle bu çalışmada güneş enerjisi ve ekonomik büyüme ilişkisi araştırılacaktır. Deneysel çalışmada seçilmiş 19 ülkenin 1990-2019 yılları arasındaki verileri, panel veri yöntemleri ile analiz edilmektedir. Çalışmamızın bir sonraki bölümünde güneş enerjisinin kullanımına ve potansiyeline kısaca değinilmekte, güneş enerjisi ile ekonomik büyüme ilişkisinin teorik çerçevesi ortaya

konulmaktadır. Üçüncü bölümde ekonometrik model ile veri seti ve deneysel analiz sonuçlarının ele alındığı çalışma, sonuç bölümü ile tamamlanmaktadır.

2. Güneş Enerjisi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi

Geçtiğimiz iki yüz yılda birincil enerji kullanımları uzun vadede geleneksel yakıtlardan, kömüre, kömürden petrole ve doğal gazla doğru bir geçiş yaşamıştır. Halen mevcut birincil enerji arzının % 80'i sıvı fosil yakıtlara dayanmaktadır (Devezas, LePoire, Matias ve Silva, 2008; Madsen ve Hansen, 2019; Marchetti, 1977). Öte yandan artan karbon emisyon oranları ve birtakım kısıtlamaların zorunlu hale gelmesi nedeniyle yenilenebilir kaynaklı enerji arzına dönük yeni ve kapsamlı bir geçiş yaşanmaktadır. 2030 yılına kadar CO₂ emisyonlarında 2010 seviyesine göre % 45'lik bir azalma ve 2050 yılına kadar net sıfır durumuna ulaşma hedefinin önemli olduğu dile getirilmekle birlikte halen fosil yakıtlara bağımlılığın azaldığı gözlemlenmemektedir (Johnsson, Kjarstad ve Rootzen, 2019; Madsen ve Hansen, 2019; Rogelj vd., 2018).

Güneş enerjisi, dünyadaki diğer tüm enerji kaynaklarının çoğunu doğrudan veya dolaylı olarak türeten yenilenebilir ve sınırsız enerji kaynağını temsil eder. Dar anlamda güneş enerjisi, güneş ışınması ile aktarılan enerji miktarını ifade eder. Güneş enerjisi çoğunlukla sıcak su sistemleri ve ısıtma yanında güneş enerjisi santrallerinde termal enerji elde etmek için kullanılırken, fotovoltaik sistemler ile elektrik enerjisi elde etmek için de kullanılır. Güneş enerjili ısıtma sistemleri çoğunlukla ek termal kaynaklar olarak kullanılırken, temel olanlar buradaki sistemler gaz, petrol türevi ve elektrikle çalışan kazanlardır. Temel termal enerji kaynağı olarak tek başına güneş enerjisi kullanımı nadirdir ve uygun iklim koşulları ve kısa bir ısıtma mevsimi ile yıl boyunca yeterli miktarda güneş radyasyonuna sahip alanlarla sınırlıdır (Nizic ve Rudan, 2013).

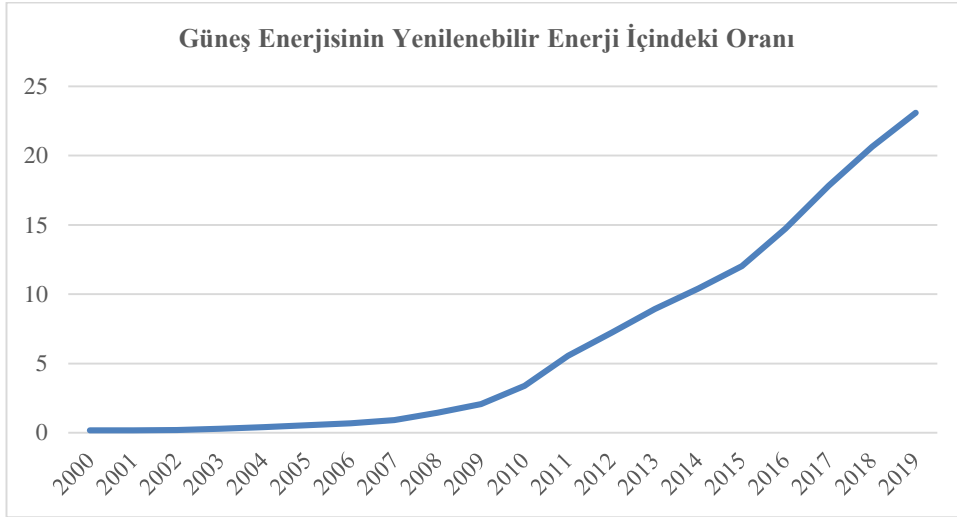
Güneş enerjisi, en bol enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilebilir. Güneş enerjisi, Dünya yüzeyine, nispeten sabit bir hızda, yılda 365 gün ışınma (radyasyon) yoluyla yayılır. Atmosfere nüfuz ederken güneş ışınmasının yoğunluğu 1367 W/m² olarak kabul edilir, ancak yer yüzeyinde 1000 W/m²'ye düşer. Dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonunun gücü coğrafi konuma, hava koşullarına, çevre kirliliğine ve bina yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir (Bailey, Brinker, Curtis, Jenkins ve Scheiman, 1997; Pacesila, 2015).

Güneş enerjisi aktif ve pasif olarak kullanılabilir. Termal ve fotovoltaik dönüştürücüler ile uygulanan aktif uygulamadan farklı olarak, güneş enerjisinin pasif uygulaması, aktarılan güneş enerjisinin ilgili binaların fiziki durumu (inşa sürecinden başlayarak) ile doğrudan kullanımını ifade eder. Binaların geometrik şekli, boyutu ve yüksekliği, tek tek duvarların ve odaların ısı kapasitesi, camlar, binanın fiziksel özellikleri ve yapı malzemeleri, yıl boyunca toplam enerji tüketimi üzerinde önemli etkiye sahiptir (Nizic ve Rudan, 2013).

Güneş enerjisi, insanların modern enerji hizmetlerine erişim ihtiyacını karşılayan geniş bir uygulama yelpazesıyla farklı enerji biçimlerine dönüştürülebilir. Örneğin ısıyı emen malzemelerden yapılmış kolektörlerin yardımıyla termal enerji üretilirken; güneş radyasyonunun bir fotovoltaik hücre sistemi tarafından yakalanması ve doğrudan elektrığe dönüştürülmesi ile fotovoltaik elektrik elde edilmektedir. Bu elektrik de ya doğrudan kullanılır ya da özel pillerde saklanır ya da ulusal şebekeye verilir (Pacesila, 2015; Zamfir, 2014).

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi, karbondioksit nötr olması ve hem alan hem de su ısıtması için kullanılabilmesi nedenleriyle büyük ilgi görmektedir. Güneş enerjisi teknolojilerinin birçok ülkede konut sektöründeki ısı talebini büyük ölçüde karşılayabileceği ve bu kapsamda son kullanıcı ve ülke sathında birincil enerji tüketiminde tasarruf, konvansiyonel enerji kaynaklarının fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı enerji güvenliğinde artış, şebekeden gelen elektriğe olan bağımlılığı azaltmak ve şebeke stabilizasyonuna katkıda bulunmak gibi çeşitli avantajları vardır (Jamar, Majid, Azmi, Norhafana ve Razak, 2016; Olsthoorn, Haghghat ve Mirzaei, 2016; Pinel, Cruickshank, Beausoleil-Morrison ve Wills, 2011; Raluy, Serra, Guadalajara ve Lozano, 2014; Tulus vd., 2019).

Grafik 5'ten de anlaşılacağı üzere, güneş enerjisinin, yenilenebilir enerji kaynakları içindeki oranı 2000 yılında % 0.16 iken, 2010 yılından itibaren hızlı bir şekilde artmaya başlamış ve 2019 yılında yaklaşık olarak % 23 seviyesine ulaşmıştır.



Grafik 5. Güneş Enerjisinin Yenilenebilir Enerji İçindeki Oranı

Kaynak: IRENA

Dünya enerji haritasını değiştirmeye yönelik küresel eğilim çok hızlı bir şekilde gündem oluşturmaktadır. Burada temel hedef mevcut enerji üretim sistemlerini daha temiz ve daha az karbon salınımına yol açacak kaynaklara kaydırmaktır. Halen ciddi bir oranda fosil yakıtlara dayanan enerji kullanımı, önümüzdeki on yıllarda da ciddi biçimde artmaya devam edecektir. Ham petrol ve doğalgaz kullanımının sırasıyla % 30 ve % 53,2 oranında artması ve küresel enerji tüketiminin de 2040 yılında % 48 oranında bir büyüme gerçekleştireceği tahmin edilmektedir. Bu eğilim, daha fazla sera gazına ve ardından iklim üzerindeki etkileri ile ciddi çevresel sorunlara yol açma potansiyeli taşımaktadır (Rezaie ve Rosen, 2012; Tulus vd., 2019; U.S. Energy Information Administration, 2016).

Öte yandan, çeşitli iklim modelleri, karbondioksit miktarındaki bir artışın küresel yüzey sıcaklığında bir artışa yol açacağını, daha yüksek bir buharlaşma ve yağış oranına ve yükselen deniz seviyeleri ve kasırgalar gibi daha aşırı olaylara neden olacağını tahmin etmektedir. Ancak yine de, çevresel değişim ve bunun ekosistem üzerindeki etkilerini net bir biçimde sunabilmek, bilim adamları için oldukça zordur. Bunun temel nedeni, Dünya'nın açık ve karmaşık bir dinamik sistem olması ve doğrusal olmayan etkileşimlerinin doğası gereği öngörülemez

olmasıdır. Bunun yanında ana akım ekonomik büyüme görüşü doğanın kaynaklarının bu kadar çok tüketilmesi ve geri dönülemez şekilde zarar görmesi ile ilgili bulguların çoğunu görmezden gelmektedir (Dawson, Rounsevell, Kluvanková-Oravska, Chobotova ve Stirling, 2010; Farhidi, 2017; Nordhaus, 2008).

Dünyada nüfus artışının bir sonucu olarak enerji talebi de yükselmekte ve bu da sürdürülebilir ekonomik büyümenin önündeki en önemli zorluklardan birisi haline gelmektedir. Artan enerji talebi, yükselen enerji fiyatları ve küresel ısınmaya karşı gerekli önlemleri güçlendirme ihtiyacı ışığında, yenilenebilir enerji kaynakları hızla küresel ölçekte bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır (Adenle, 2020). Enerji arzının fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara doğru aktarılması sadece arz güvenliğini ve garantisini sağlamak için değil, aynı zamanda fosil yakıtların doğa üzerinde yarattığı tahribattan kurtulmak için de son derece kritiktir. Fosil yakıtların yol açtığı karbon salınımının yarattığı çevresel etkiler, her geçen daha fazla gündem işgal etmekte ve farklı uluslararası kuruluşlar konuya ilişkin çeşitli çağrılarda bulunmaktadır. Bu kapsamda Haziran 2009 tarihinde yapılan bir toplantı ile Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) bünyesinde yeşil büyüme stratejilerini kapsayan bir çerçeve program hazırlanacağı duyurulmuş ve sonrasında ekonomi, çevre, teknoloji ve sosyal kalkınmayı birlikte ele alan “Yeşil Büyüme” stratejileri hazırlanmıştır (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü [OECD], 2011; OECD, 2012). Benzer şekilde Dünya Bankası tarafından da kapsayıcı bir yeşil büyüme stratejisi sürdürülebilirliği de dahil ederek ele alınmıştır (World Bank, 2012).

Ekonomik büyüme teorilerinde nüfus, girişimcilerin varlığı, doğal kaynakların mevcudiyeti, mevcut sermaye ve sermaye kompozisyonu vb. ekonomik gelişimin ana bileşenleri olarak kabul edilir. Enerji de uzun süreli ilerlemenin anahtarı konumundaki doğal bir kaynaktır. Öte yandan, güneş enerjisi yenilenebilir bir enerjidir ve güneş var olduğu sürece yani dünya hayatı devam ettiği sürece kullanılabilir. Ayrıca çevre sorunlarının henüz çok fazla ilgi görmediği gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kalkınması için son derece değerli ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Toplumlar geldiğimiz noktada ekonomik büyümenin bir bedeli olarak, çevresel bozulmayı yaşamak ve yaşatmak zorunda değildiler. Güneş enerjisi, diğer birçok doğal kaynak gibi mekansaldır, yani belirli bölgelerde lokalizedir ve güneş kuşağının içinde veya çevresinde bulunan bir ülke, büyük bir enerji potansiyeline sahiptir (Apaydın ve Taşdoğan, 2019a; Özsabuncuoğlu, 1995).

Çevre endişelerinin, enerji arzında güvenlik taleplerinin ve yakıt ithalatında daha fazla bağımsızlık ihtiyacının bir sonucu olarak daha fazla ilgi gören yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir dezavantajı vardır. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin maliyeti, hala geleneksel tesislerden elde edilen enerji maliyetinden daha yüksektir. Ancak yenilenebilir kaynakların kullanımındaki ekolojik ve sosyal avantajlar, kullanımının geleneksel enerjiden daha pahalı olmasına rağmen hem küresel hem de ulusal ve bölgesel düzeylerde çok sayıda fayda sağladığını göstermektedir. Sonuç olarak, gelişmiş ülkeler çeşitli mekanizmalar kullanarak bunların kullanımını teşvik etme eğilimindedir (Nizic ve Rudan, 2013).

Ekonomik sürdürülebilirliği ve küresel çevresel değişiklikleri içeren çerçevelerde, çoğu model enerjiiyi birincil üretim faktörü olarak kabul etmektedir. Bu perspektifte, tüm değer, emek ve sermaye tarafından yönlendirilen enerjinin hareketiyle gelişmekte ve oluşmaktadır. Ekonomideki enerji akışı, çoklukla fosil yakıt kaynakları ile, son zamanlarda da bir miktar yenilenebilir kaynaklar ile sağlanmaktadır. Enerji sınırlı olduğunda, ekonomik büyüme de aynı

şekilde sınırlanmaktadır, tersi durumda, enerji yeterince erişilebilir olduğunda, ekonomik büyüme bundan pozitif etkilenmektedir (Asafu-Adjaye, 2000; Farhidi, 2017; Oh ve Lee, 2004; Soytaş ve Sari, 2003).

Gerek enerji alanında gerekse ekonomi alanındaki karar vericilerin bilgi setinde enerji kullanımı ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğüne ilişkin verilerin bulunması son derece önemlidir. Enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki Kraft ve Kraft (1978) çalışması ile birlikte araştırmacıların gündemine girmiş ve pek çok araştırmaya konu olmuştur. Bu ilişki genel olarak büyüme, koruma, geri besleme ve tarafsızlık olarak adlandırılan 4 farklı hipotez ile tanımlanmaktadır. Büyüme hipotezinde enerji kullanımının ekonomik büyümeyi etkilemesi, koruma hipotezinde ekonomik büyümenin enerji kullanımını etkilemesi, geri beslemede ekonomik büyüme ve enerji kullanımının birbirlerini çift yönlü etkilemesi ve son olarak tarafsızlık hipotezinde enerji kullanımı ile ekonomik büyümenin ilişkisiz olma durumları ifade edilmektedir (Apergis ve Payne, 2011; Ben-Salha, Hkiri ve Aloui, 2018; Karanfil ve Li, 2015).

Diaz, Marrero, Puch ve Rodriguez (2019) çalışmasında, enerji ve ekonomi arasındaki ilişkiyi analiz etmek için üretim teknolojisinde sermaye ve enerji arasındaki tamamlayıcılığın önemini vurgulanmaktadır. Ekonomik büyüme ve enerji kullanımı arasındaki ilişkiyi araştıran çeşitli ampirik çalışmalarda dört hipotezi de destekleyen sonuçlara rastlanmaktadır. Örneğin (Apergis ve Payne, 2010; Apergis ve Payne, 2011; Bhattacharya, Paramati, Öztürk, ve Bhattacharya, 2016; Bowden ve Payne, 2009; Inglesi-Lotz, 2016; Narayan ve Smyth, 2008; Narayan ve Doytch, 2017; Özbek ve Apaydın, 2020) çalışmaları büyüme hipotezini desteklerken (Apaydın ve Taşdoğan, 2019b; Kraft ve Kraft, 1978; Thoma, 2004; Zhang ve Cheng, 2009) çalışmaları koruma hipotezini, (Belloumi, 2009; Lee, 2006; Paul ve Bhattacharya, 2004) çalışmaları geri besleme hipotezini, (Karanfil, 2009; Narayan ve Prasad, 2008; Soytaş ve Sari, 2003) çalışmaları ise tarafsızlık hipotezini desteklemektedir. Atkeson ve Kehoe (1999) ve Diaz, Puch ve Guillo, (2004) çalışmalarında ise sermaye ile enerji arasındaki kısa vadeli ikamenin arkasındaki mekanizmaları ve bunların üretim üzerindeki sonuçlarını üzerine analizler yapmıştır. Elde ettikleri sonuçlar, ülkeler arasında enerji fiyatlarındaki büyük farklılıkların makroekonomik performansta büyük farklılıklara yol açmadığı yönündedir.

3. Deneysel Model ve Tahmin Sonuçları

Güneş enerjisi kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin araştırıldığı bu ekonometrik model kurgusu Bilgili ve Öztürk (2015) çalışması baz alınarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada hem statik hem de dinamik panel veri analizi sonuçlarına yer verilmektedir. Bağımlı değişken olan ekonomik büyüme; sermaye stoku, istihdam düzeyi ve güneş enerjisi ile açıklanmakta olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\text{Buyume}_{i,t} = f(\text{Sermaye}_{i,t}, \text{Istihdam}_{i,t}, \text{Gunes}_{i,t}) \quad (1)$$

(1) numaralı denklemde $\text{Buyume}_{i,t}$, $\text{Sermaye}_{i,t}$, $\text{Istihdam}_{i,t}$, $\text{Gunes}_{i,t}$ sırasıyla (i) ülkesi için (t) zamanında ekonomik büyümeyi, sermaye stokunu, istihdam düzeyini, güneş enerjisi kullanımını göstermektedir. (1) numaralı denklemden yola çıkarak indirgenmiş form denklemi ise aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\text{Buyume}_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Sermaye}_{i,t} + \alpha_2 \text{Istihdam}_{i,t} + \alpha_3 \text{Gunes}_{i,t} + u_{i,t} \quad (2)$$

$u_{i,t}$ hata terimidir ve (3) numaralı denklem ile gösterilmektedir:

$$u_{i,t} = \mu_i + v_{i,t} \quad (3)$$

(3) numaralı denklemde μ zamana göre sabit ancak kesite göre farklı olan bireysel etkiyi kapsarken, v zamana ve kesite göre ortaya çıkan değişiklikleri göstermektedir (Baltagi, 2021; Koç ve Şahin, 2015).

Etik kurul izni ve/veya yasal/özel izin alınmasına gerek olmayan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Deneysel çalışmada 19 ülkeye ait 1990-2019 yılları arasındaki veri seti kullanılmakta ve kapsanan ülkeler Tablo 1’de yer almaktadır. Yıllık verilerin kullanıldığı analiz, toplam olarak 570 gözlem üzerinden yapılmaktadır. Ekonomik büyüme, sermaye stoku ve istihdam verisi “PENN World Table” serisinden, güneş enerjisi verisi “BP Energy Outlook (2020)” den alınmıştır.

Tablo 1. Deneysel Çalışmada Yer Alan Ülkeler

Ülke	Ülke	Ülke	Ülke	Ülke
Almanya	Çin	Hindistan	İsveç	Kanada
ABD	Finlandiya	Hollanda	İsviçre	Meksika
Avustralya	Fransa	İngiltere	İtalya	Portekiz
Avusturya	Güney Kore	İspanya	Japonya	

Modelde yer alan değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de verilmektedir. Modelde tüm değişkenlerin yıllık % değişim oranları kullanılmaktadır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maximum
Büyüme	0.0350191	0.2634117	-2.077	2.8915
Sermaye	0.0394914	0.2414974	-1.92	1.733
İstihdam	0.0260192	0.3064914	-1.956	4.401
Güneş	0.1788145	1.1044	-10.099	4.05

Kullanılan veri seti için birim kök analizi Im-Pesaran-Shin testi ile yapılmakta olup sonuçlar Tablo 3’te yer almaktadır. Test sonuçlarına göre kullanılan veri setindeki değişkenler birim kök içermemektedir.

Tablo 3. Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	Birim Kök Testi	Test İstatistięi	P Deęeri
Büyüme	Im-Pesaran-Shin	-20.083	0.0000
Sermaye	Im-Pesaran-Shin	-19.76	0.0000
İstihdam	Im-Pesaran-Shin	-20.87	0.0000
Güneş	Im-Pesaran-Shin	-14.2	0.0000

Veri seti üzerinde (2) numaralı denklem için sabit etkiler ve tesadüfü etkiler yöntemleri uygulanmış, elde edilen sonuçlar Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4. Sabit ve Tesadüfi Etkiler Panel Veri Analizi Sonuçları

	Sabit Etkiler Yöntemi Büyüme	Tesadüfi Etkiler Yöntemi Büyüme
Sermaye	0.626*** (19.72)	0.617*** (19.91)
İstihdam	0.383*** (16.81)	0.388*** (17.28)
Güneş	0.071* (1.99)	0.071* (2.03)
Sabit	0.0006 (0.19)	0.0009 (0.26)
Gözlem sayısı	570	570

Not: Parantez içindeki değerleri t istatistikleridir

*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001 anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Tablo 4’te verilen sonuçlar çerçevesinde ekonomik büyüme ile sermaye stoku, istihdam ve güneş enerjisi arasında hem sabit etkiler hem de tesadüfi etkiler modellerinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin mevcut olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5. Hausman Test Sonuçları

	(b) Sabit etkiler	(B) Tesadüfi etkiler	(b-B) Fark	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
Sermaye	0.6260463	0.6178946	0.0081517	0.00669
İstihdam	0.3836454	0.388554	-0.0049086	0.00396
Güneş	0.0071123	0.0071839	-0.0000717	0.000542
b = Ho ve Ha altında tutarlı; panel regresyondan elde edilmiş				
B = Ha altında tutarsız, Ho altında etkili; panel regresyondan elde edilmiş				
Chi2(4)	=	1.77		
Prob>chi2	=	0.62		

Tablo 5’te verilen Hausman sonuçları çerçevesinde ise sabit etkiler modeli reddedilmekte ve çalışmada yapılacak değerlendirmelerde tesadüfi etkiler sonuçları dikkate alınmaktadır. Tesadüfi etkiler yönteminde güneş enerjisinin ekonomik büyümeye etkisinin beklentiler çerçevesinde sermaye stoku ve istihdama göre çok daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Üretim sürecinin iki temel girdisi olan sermaye stoku ve istihdamın etkisinin, güneş enerjisi etkisinden çok daha belirgin ve yüksek olması hem teorik hem de deneysel çalışmalar ile uyumludur. Bu çalışmadaki sonuçların önemi, etkilerin büyüklüğünden ziyade istatistiksel olarak anlamlılığındadır. Güneş enerjisi ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir ve bu pozitif etki istatistiksel olarak anlamlıdır. Bulunan sonuçlar, Apergis ve Payne (2010), Apergis, Payne, Menyah ve Wolde-Rufael (2010), Inglesi-Lotz (2016), Bhattacharya vd. (2016) ve Koç ve Apaydın (2020) çalışmaları ile de uyumluluk göstermektedir. Bulgular enerji kullanımının ve ekonomik büyüme ilişkisi bağlamında, büyüme hipotezinin seçilmiş veri seti için geçerli olduğunu göstermektedir.

Ekonomide değişkenler arasındaki ilişkiler çoğu zaman dinamik bir karakter taşımaktadır. Bu çerçevede (2) numaralı denklem dinamik hale getirilerek dinamik panel veri analiz yöntemi uygulanacak ve statik ile dinamik sonuçların karşılaştırması yapılacaktır. Blundell ve Bond (1998) takip edilerek (2) numaralı denklemi şöyle ifade etmek mümkündür:

$$\text{Buyume}_{i,t} = \beta_0 \text{Buyume}_{i,t-1} + \beta_1 \text{Buyume}_{i,t-2} + \beta_2 \text{Sermaye}_{i,t} + \beta_3 \text{İstihdam}_{i,t} + \beta_4 \text{Gunes}_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

$\epsilon_{i,t}$ hata terimidir ve (5) numaralı denklem ile gösterilmektedir:

$$\epsilon_{i,t} = \Phi_i + \Psi_{i,t} \quad (5)$$

(5) numaralı denklem (3) numaralı denklemle aynı karakteristiktir. Veri seti üzerinde (4) numaralı denklem için dinamik panel veri yöntemi uygulanmış ve Tablo 6'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6. Dinamik Panel Veri Analizi Sonuçları

Dinamik Panel Yöntemi	
Büyüme	
Büyüme _{t-1}	-0.0227845 (-0.69)
Büyüme _{t-2}	0.0069875** (2.63)
Sermaye	0.183344*** (8.77)
İstihdam	1.35054*** (15.77)
Güneş	0.0066809** (2.88)
Gözlem sayısı	508

Not: Parantez içindeki değerleri z istatistikleridir

*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001 anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

Tablo 6'dan da görülebileceği üzere Büyüme_{t-2}, Sermaye, İstihdam ve Güneş değişkenlerinin katsayıları istatistiki olarak anlamlıyken, Büyüme_{t-1} değişkeninin katsayısı istatistiki olarak anlamlı değildir. Genel olarak değerlendirildiğinde dinamik panel veri analizi ile elde edilen sonuçlar beklendiği gibi pozitifdir. Güneş enerjisinin ekonomik büyüme üzerindeki pozitif etkisi, bu yöntemde de büyüme hipotezinin desteklendiğini göstermektedir. Öte yandan dinamik panel sonuçlarından elde edilen katsayılar, tesadüfi etkiler yöntemine göre farklılık göstermektedir. Dinamik panel yönteminde, tesadüfi etkiler yöntemi ile karşılaştırıldığında sermaye stoku ve güneş enerjisinin katsayısı azalırken, istihdamın katsayısı artmaktadır. Tesadüfi etkiler yönteminde en yüksek etki sermaye stoku üzerinden gelirken, dinamik panel yönteminde en yüksek etki istihdam üzerinden gelmektedir.

Deneysel çalışma ile hem tesadüfi etkiler hem de dinamik panel veri analizi sonuçlarına göre 1990-2019 yılları arasında, seçili ülkeler bağlamında büyüme hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Ekonomik büyümenin uzun vadeli kalkınma için anahtar konumunda olan sosyal ve çevresel hedeflerle uyumlu olması sürdürülebilirlik açısından bir zorunluluktur. Enerji yoğunluğunun¹ azaltılması ve yenilenebilir enerjilere geçiş, belirli kalkınma düzeyleri için özellikle karbondioksit salınımını azaltmada uygulanabilir seçeneklerdir (Ang, 2007; Ang, 2008; Apergis vd., 2010; Diaz vd., 2019; Marrero, 2010; World Bank, 2012). Dünyamızda kaynak olarak en bol enerji türü güneş enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş

¹ Enerji yoğunluğu, birim üretim başına harcanan enerji miktarıdır.

temizdir ve güneş ışığı yoluyla elde edilir. Öte yandan güneşten enerji elde etmenin maliyeti de hızla düşmektedir. Bir enerji türü olarak güneş enerjisi, düşük karbon ayak izi ve çevreye minimum zarar ile güneş radyasyonundan elektrik üretmenin verimli bir yolunu sağlamaktadır. Sürdürülebilir ekonomik büyümeyi teşvik etmek ve özellikle dünyanın kırsal kesimlerinde yaşam kalitesini iyileştirmek için güneş enerjisi teknolojileri kullanarak ulusal enerji karışımını çeşitlendirmek, büyük ölçüde güneş enerjisinin uygulanmasına yönelik hükümet stratejilerinin ve politika araçlarının uygulanmasına bağlıdır (Adenle, 2020; Ramakumar ve Hughes, 1981; Timilsina, Kurdelashvili ve Narbel, 2012).

4. Sonuç

Bu çalışmada güneş enerjisi kullanımının ekonomik büyüme üzerinde etkili olup olmadığı araştırılmaktadır. Deneysel çalışmada hem statik hem de dinamik panel veri analiz yöntemleri uygulanmaktadır. Sermaye stoku ve istihdam değişkenleri de büyümenin temel belirleyicileri olarak modele dahil edilmektedir. Toplam 19 ülke için 1990-2019 yılları arasındaki veri ile yapılan analiz sonuçlarına göre her iki yöntemde de sermaye stoku, istihdam ve güneş enerjisi kullanımı ekonomik büyümeyi pozitif olarak etkilemektedir. Elde edilen katsayılardan bağımsız olarak güneş enerjisi kullanımının ekonomik büyümeyi pozitif yönde etkilemesi büyüme hipotezini de desteklemektedir.

Öte yandan tesadüfi etkiler ve dinamik panel veri analiz yöntemlerinde elde edilen katsayıların birbirlerinden farklı olduğu da gözlemlenmektedir. Tesadüfi etkiler yönteminde sermaye stokunun, dinamik analizde ise istihdamın ekonomik büyüme üzerinde en büyük belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Güneş enerjisi kullanımının etkisinin tesadüfi etkiler yönteminde daha yüksek olduğu da elde edilen bir diğer bulgudur.

Genelde yenilenebilir enerjinin ve özelden ise güneş enerjisi kullanımının önemli hale gelmesinin temelde iki ana nedeni vardır. İlki, iklim değişikliğine gösterilen ilgi ve dolayısıyla CO2 emisyonlarının azaltılması konusudur. CO2 emisyonlarını azaltmanın açık bir yolu, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve burada üretim kapasitesini artırmaktır. İkinci konu enerji arz güvenliğidir. Bu noktada ülkelerin bağımlılıklarını azaltarak ulusal ölçekte kendi kaynaklarına yönelmeleri pek çok açıdan fayda sağlayacaktır. İklim değişikliği hedeflerine ulaşmak ve ülkelerin enerji bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin daha da genişletilmesi gerekmektedir. Bu da daha geniş sübvansiyonlar ve vergi indirimleri gibi destek mekanizmalarının sürekli uygulanmasını gerekli kılmaktadır.

Çevresel yükü az olan güneş enerjisinin kullanımı her ülke için olumlu çevresel, sosyal ve ekonomik etkiler yaratmaktadır. Güneş enerjisi, fosil yakıtların yerini alarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmanın yanı sıra elektriğe erişimi olmayan bölgelerde önemli elektrik kaynağı olabilir ve bu sayede ekonomiye katkı sağlayabilir. Bütüncül olarak kullanıldığı bölgede geleneksel termik santrallerin aksine toplumun sağlığı üzerinde negatif bir etki oluşturmaz. Kısaca ifade etmek gerekirse, güneş enerjisi, elektrik enerjisi üretiminde, ısıtmada ve hatta alansal soğutmada kullanılırken, enerji bağımsızlığı, çevre koruma ve tasarruf alanlarında ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Güneş enerjisi kullanımının büyüme hipotezini desteklemesi uygulanacak teşvik, vergi indirimi, yatırım kolaylığı gibi tüm politikalarda dikkate alınması gereken bir husus olarak öne çıkmaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

ıkar atışması Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar atışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Adenle, A. A. (2020). Assessment of solar energy technologies in Africa-opportunities and challenges in meeting the 2030 agenda and sustainable development goals. *Energy Policy*, 137(111180). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111180>
- Ang, J. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.032>
- Ang, J. (2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2007.04.010>
- Apaydın, Ş. (2020). Küreselleşmenin ekolojik ayak izi üzerindeki etkileri: Türkiye örneği. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 23-42. <https://doi.org/10.30784/epfad.695836>
- Apaydın, Ş. ve Taşdoğan, C. (2019a). Türkiye'de iktisadi büyüme ve birincil enerji tüketiminin karbon salınımı üzerindeki etkisi: Yapısal VAR yaklaşımı. *Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(16), 19-35. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/asbider>
- Apaydın, Ş. ve Taşdoğan, C. (201b). Türkiye'de yenilenebilir ve birincil enerji talebinin büyüme üzerindeki uzun dönem etkileri. 3. *Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 54(1), 431-445. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.19.03.1109>
- Apergis, N. and Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38, 656-660. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.002>
- Apergis, N. and Payne, J. E. (2011). The renewable energy consumption-growth nexus in Central America. *Applied Energy*, 88(1), 343-347. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.013>
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K. and Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics*, 69(11), 2255-2260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.014>
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., ... Pimentel, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 15(2), 91-95. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)
- Asafu-Adjaye, J. (2000). The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: Time series evidence from Asian developing countries. *Energy Economics*, 22(6), 615-625. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(00)00050-5)
- Atkeson, A. and Kehoe, P. J. (1999). Models of energy use: Putty-Putty versus Putty-Clay. *American Economic Review*, 89(4), 1028-1043. <https://doi.org/10.1257/aer.89.4.1028>
- Bailey, S., Brinker, D., Curtis, H., Jenkins, P. and Scheiman, D. (1997). Solar cell calibration and measurement techniques. *NASA Technical Memorandum*, 113155. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/>
- Baltagi, H. (2021). *Econometric analysis for panel data* (Sixth edition). Sweden: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53953-5>
- Belloumi, M. (2009). Energy consumption and GDP in Tunisia: Co-integration and causality analysis. *Energy Policy*, 37(7), 2745-2753. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.027>
- Ben-Salha, O., Hkiri, B. and Aloui, C. (2018). Sectoral energy consumption by source and output in the U.S.: New evidence from wavelet-based approach. *Energy Economics*, 72, 75-96. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.029>
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Öztürk, İ. and Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104>
- Bilgili, F. and Öztürk, İ. (2015). Biomass energy and economic growth nexus in G7 countries: Evidence from dynamic panel data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.098>

- Blundell, R. and Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115–143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Bowden, N. and Payne, J. E. (2009). The causal relationship between US energy consumption and real output: A disaggregated analysis. *Journal of Policy Modelling*, 31(2), 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2008.09.001>
- BP Energy Outlook. (2020). *Statistical review of world energy*. Retrieved from <https://www.bp.com/>
- Dawson, T. P., Rounsevell, M. D., Kluvanková-Oravska, T., Chobotova, V. and Stirling, A. (2010). Dynamic properties of complex adaptive ecosystems: Implications for the sustainability of service provision. *Biodiversity and Conservation*, 19, 2843-2853. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9892-z>
- Devezas, T., LePoire, D., Matias, J. O. and Silva, A. M. (2008). Energy scenarios: Toward a new energy paradigm. *Futures*, 40(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2007.06.005>
- Diaz, A., Marrero, G. A., Puch, L. A. and Rodriguez, J. (2019). Economic growth, energy intensity and the energy mix. *Energy Economics*, 81, 1056–1077. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.05.022>
- Diaz, A., Puch, L. A. and Guilló, M. D. (2004). Costly capital reallocation and energy use. *Review of Economic Dynamics*, 7(2), 494-518. <https://doi.org/10.1016/j.red.2003.09.005>
- Farhidi, F. (2017). Solar impacts on the sustainability of economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 440–450. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.033>
- Fischer, C. and Heutel, G. (2013). Environmental macroeconomics: Environmental policy, business cycles, and directed technical change. *Annual Review of Resource Economics*, 5(1), 197-210. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-091912-151819>
- Groba, F. (2014). Determinants of trade with solar energy technology components: Evidence on the porter hypothesis? *Applied Economics*, 46(5), 503–526. <https://doi.org/10.1080/00036846.2013.857005>
- Inglesı-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, 53, 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.003>
- Jamar, A., Majid, Z. A., Azmi, W. H., Norhafana, M. and Razak, A. A. (2016). A review of water heating system for solar energy applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>
- Johnsson, F., Kjarstad, J. and Rootzen, J. (2019). The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. *Climate Policy*, 19(2), 258-274. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1483885>
- Karanfil, F. (2009). How many times again will we examine the energy–income nexus using a limited range of traditional econometric tools? *Energy Policy*, 36, 1191–1194. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.029>
- Karanfil, F. and Li, Y. (2015). Electricity consumption and economic growth: Exploring panel-specific differences. *Energy Policy*, 82, 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.001>
- Koç, Ü. (2020). Sektörel enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi*, 55(1), 508-521. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.20.03.1289>
- Koç, Ü. ve Apaydın, Ş. (2020). İktisadi büyüme ve rüzgar enerjisi ilişkisi: Seçilmiş G-20 ülkeleri için bir analiz. *Fiscaoeconomia*, 4(3), 595-612. <https://doi.org/10.25295/fsecon.765376>
- Koç, Ü. ve Şahin, H. (2015). Parasal aktarım mekanizması: Firma bilanço kanalı ve Türkiye. *Ege Academic Review*, 15(1), 19-26. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/eab/>
- Kraft, J. and Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *Journal of Energy and Development*, 3, 401–403. Retrieved from <http://www.jstor.org>
- Lee, C. (2006). The causality relationship between energy consumption and GDP in G-11 countries revisited. *Energy Policy*, 34, 1086–1093. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.04.023>

- Madsen, D. N. and Hansen, J. P. (2019). Outlook of solar energy in Europe based on economic growth characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114(109306). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109306>
- Marchetti, C. (1977). Primary energy substitution models: On the interaction between energy and society. *Technological Forecasting and Social Change*, 10(4), 345-356. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(77\)90031-2](https://doi.org/10.1016/0040-1625(77)90031-2)
- Marrero, G. A. (2010). Greenhouse gases emissions, growth and the energy mix in Europe. *Energy Economics*, 32(6), 1356–1363. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.09.007>
- Narayan, S. and Doytch, N. (2017). An investigation of renewable and non-renewable energy consumption and economic growth nexus using industrial and residential energy consumption. *Energy Economics*, 68, 160-176. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.09.005>
- Narayan, P. K. and Prasad, A. (2008). Electricity consumption-real GDP causality nexus: Evidence from a bootstrapped causality test for 30 OECD countries. *Energy Policy*, 36, 910–918. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.10.017>
- Narayan, P. K. and Smyth, R. (2008). Energy consumption and real GDP in G7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks. *Energy Economics*, 30(5), 2331-2341. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.10.006>
- Nizic, M. K. and Rudan, E. (2013). Economic possibilities and management of solar energy use in tourism. *Economia Seria Management*, 16(1), 93-105. Retrieved from <http://www.management.ase.ro/revec-onomia>
- Nordhaus, W. D. (2008). *A question of balance: Economic models of climate change*. Yale University Press: London.
- OECD. (2011). *Towards green growth* (OECD Green Growth Studies). <https://dx.doi.org/10.1787/9789264111318-en>
- OECD. (2012). *Green growth and developing countries a summary for policy makers*. Retrieved from <http://oecd.org/dac>
- Oh, W. and Lee, K. (2004). Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: The case of Korea 1970–1999. *Energy Economics*, 26(1), 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(03\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(03)00030-6)
- Olsthoorn, D., Haghghat, F. and Mirzaei, P. A. (2016). Integration of storage and renewable energy into district heating systems: A review of modelling and optimization. *Solar Energy*, 136, 49-64. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.054>
- Özbek, R. and Apaydın, Ş. (2020). The role of renewable energy generation in sustainable economic growth: The case of Turkey. *Fiscaoeconomia*, 4(3), 554-567. <https://doi.org/10.25295/fsecon.761992>
- Özsabuncuoğlu, İ. H. (1995). Economic analysis of flat plate collectors of solar energy. *Energy Policy*, 23(9), 755-763. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(95\)00063-O](https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)00063-O)
- Pacesila, M. (2015). Solar energy policy developments in Europe. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 10(1), 13-24. Retrieved from <http://www.um.ase.ro/>
- Paul, S. and Bhattacharya, R. N. (2004). Causality between energy consumption and economic growth in India: A note on conflicting results. *Energy Economics*, 26(6), 977-983. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.07.002>
- Pinel, P., Cruickshank, C. A., Beausoleil-Morrison, I. and Wills, A. (2011). A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3341-3359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.013>
- Raluy, R. G., Serra, L. M., Guadalfajara, M. and Lozano, M. A. (2014). Life cycle assessment of central solar heating plants with seasonal storage. *Energy Procedia*, 48, 966-976. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.110>

- Ramakumar, R. and Hughes, W. L. (1981). Renewable energy sources and rural development in developing countries. *IEEE Trans Edu*, 24(3), 242–251. <https://doi.org/10.1109/TE.1981.4321499>
- Rezaie, B. and Rosen, M. A. (2012). District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements. *Applied Energy*, 93, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.020>
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., ... Vilarino, M. V. (2018). Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, . . . T. Waterfield (Eds.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report>
- Soytas, U. and Sari, R. (2003). Energy consumption and GDP: Causality relationship in G-7 and emerging markets. *Energy Economics*, 25, 33–37. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(02\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00009-9)
- Tennant-Wood, R. (2012). Environment, climate change and solar energy. In R. Tennant-Wood (Ed.), *Following the sun* (pp. 59-67). Australia: ANU E Press. Retrieved from <https://press.anu.edu.au/publications/>
- Thoma, M. (2004). Electrical energy usage over the business cycle. *Energy Economics*, 26, 363–385. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.04.006>
- Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L. and Narbel, P. A. (2012). Solar energy: Markets, economics and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 449-465. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.009>
- Tulus, V., Abokersh, M. H., Cabeza, L. F., Valles, M., Jimenez, L., ... Boer, D. (2019). Economic and environmental potential for solar assisted central heating plants in the EU residential sector: Contribution to the 2030 climate and energy EU agenda. *Applied Energy*, 236, 318–339. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.094>
- U.S. Energy Information Administration. (2016). *International energy outlook 2016*. Retrieved from www.eia.gov/forecasts/ieo/
- World Bank. (2012). *Inclusive green growth: The pathway to sustainable development*. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9551-6>
- Zamfir, A. (2014). Developing urban renewable energy projects: Opportunities and challenges for Romania. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 9(4), 52-64. Retrieved from <http://www.um.ase.ro/>
- Zhang, X. P. and Cheng, X. M. (2009). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics*, 68(10), 2706-2712. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.011>

SOLAR ENERGY AND ECONOMIC GROWTH

EXTENDED SUMMARY

Research Problem

Energy is one of the most crucial components of production processes, economic activities and daily life. Being a determinant in both the economic growth and development indicators of the countries, energy is a scarce resource. On the other hand, in the last 200 years, world resources have been depleted for energy purposes, and the damaged natural environment has now become a scarce resource. The damage of the natural environment is getting closer to an irreversible point, and this situation threatens all the achievements of humanity. Arrow et al. (1995) state that economic policies often ignore the environment and just highlight the mechanical increase in gross national product. With the Industrial Revolution, mankind heavily began to use fossil fuels that led to economic growth, but at this point, continuing with fossil fuel-based energy systems is very risky because of the destructive effects on climate change. In Apaydın (2020), it is stated that the globalization process affects ecology as a whole. For this reason, it becomes very critical to use renewable resources especially for reducing the carbon emission rates. In addition, obtaining energy from renewable resources is essential for sustainable economic growth. Solar energy is an important renewable energy source that is unlimited and clean. Regarding to this unlimited source, the aim of the study is explore the relationship between solar energy and economic growth.

Theoretical Background and Methodology

Solar energy is a renewable and unlimited energy source that derives most of all other energy sources in the world directly or indirectly. Generally, solar energy refers to the amount of energy transferred by solar radiation. It is emitted to the Earth's surface 365 days a year via radiation (radiation) at a constant rate. The intensity of solar radiation while penetrating the atmosphere is considered to be 1367 W / m^2 , but decreases to 1000 W / m^2 at the ground surface.

Following the pioneering study of Kraft and Kraft (1978), the relationship between energy and economic growth has been analyzed many times. This relationship is generally defined by 4 different hypotheses These hypotheses are classified as growth, conservation, feedback and neutrality. In the growth hypothesis, it is stated that energy affects economic growth; economic growth affects energy use in the conservation hypothesis; economic growth and energy affects each other in feed-back hypothesis; and finally, in the neutrality hypothesis, energy use and economic growth are unrelated.

In this study, the relationship between solar energy and economic growth is explored. The econometric model is based on the study Bilgili ve Öztürk (2015). Both static and dynamic panel data analysis are included in the empirical work. Economic growth is defined as a function of capital stock, employment and solar energy. In the empirical study, the data set covering the data of 19 selected countries between 1990 and 2019 is analyzed with panel data methods. It is found out that there is a statistically significant relationship between economic

growth and capital stock, employment and solar energy in both random effects and dynamic panel data models.

Results and Conclusion

According to the results of the empirical model there is a positive relationship between solar energy use and economic growth. The findings show that the growth hypothesis is valid for this data set. The coefficients in random effects and dynamic panel data methods are different from each other. In the random effects method capital stock and in the dynamic panel data method employment are the main determinants of economic growth. The effect of solar energy use is higher in the random effects method.

The use of solar energy creates positive environmental, social and economic effects for every country. With the positive effects to the reduction of greenhouse gas emissions by replacing fossil fuels, solar energy can be an important source of electricity. Using solar energy in electricity generation, heating and even space cooling, it provides a serious advantage in terms of energy independence and environmental protection. As the use of solar energy supports the growth hypothesis, governments should consider this fact in policies such as incentives, tax reductions, and ease of investment.