

-ARAŞTIRMA MAKALESİ-

**SOLAR KAYNAKLI SÜRDÜRÜLEBİLİR ELEKTRİK TÜKETİMİNİN
GAYRİ SAFİ YURTIÇI HASILA ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: RASSAL
ORMAN REGRESYONU**

Nesibe MANAV MUTLU¹

Dr. Öğr. Üyesi

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

E-mail: nesibe.manavm@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-8656-8294

Fadime AKDOĞAN

Lisans Öğrencisi

İstanbul Gelişim Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

E-mail: akdoganf1510@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-7544-5202

Süreyya İMRE BIYIKLI

Dr. Öğr. Üyesi

İstanbul Gelişim Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

E-mail: simre@gelisim.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-8904-6635

Öz

Bu çalışmada, elektrik tüketiminde sürdürülebilir bir kaynak olarak solar enerjiden yararlanmanın ülkelerin ekonomisine pozitif katkıda bulunacağı öngörüsü, G8 ülkeleri ve Türkiye özelinde, bu ülkelerin 2016-2020 dönemine ait ilgili verileri analiz edilerek araştırılmaktadır. Bu verilerle makine öğrenmesi

* Bu çalışmada bilimsel araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyulmuştur.

¹ **Sorumlu Yazar:** nesibe.manavm@gmail.com

Atf (APA): Manav Mutlu, N., Akdoğan, F. & İmre Bıyıklı, S., (2024), Solar Kaynaklı Sürdürülebilir Elektrik Tüketiminin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla Üzerindeki Etkisi: Rassal Orman Regresyonu, Ekonomi Bilimleri Dergisi, 16 (1): 41-56., <https://doi.org/10.55827/ebd.1373639>.

yöntemlerinden Rassal Orman Regresyonu kullanılarak gayri safi yurtiçi hasıla tahmini yapılmış ve kurulan modelin performansı %89 olarak bulunmuştur. Bu çalışma, ekonomi ve çevrenin sürdürülebilirliğine katkı sağlarken güncel veri ve metot kullanımı ile literatürde fark yaratmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Sürdürülebilir Elektrik, Ekonomi Göstergesi, Yenilenebilir Enerji.*

Alan Tanımı: *Ekonomi, Ekonometri*

THE IMPACT OF SOLAR-POWERED SUSTAINABLE ELECTRICITY CONSUMPTION ON GROSS DOMESTIC PRODUCT: RANDOM FOREST REGRESSION

Abstract

In this study, the prediction that using solar energy as a sustainable source of electricity consumption will contribute positively to the countries' economy is investigated by analyzing the relevant data of these countries for the period 2016-2020, especially for the G8 countries and Turkey. With these data, gross domestic product was estimated using Random Forest Regression from machine learning methods and the performance of the established model was found to be 89%. This study makes a difference in the literature with the use of up-to-date data and methods while contributing to the sustainability of the economy and the environment.

Keywords: *Sustainable Electricity, Economy Indicator, Renewable Energy.*

JEL Classification: *B41, P28, Q42*

1. GİRİŞ

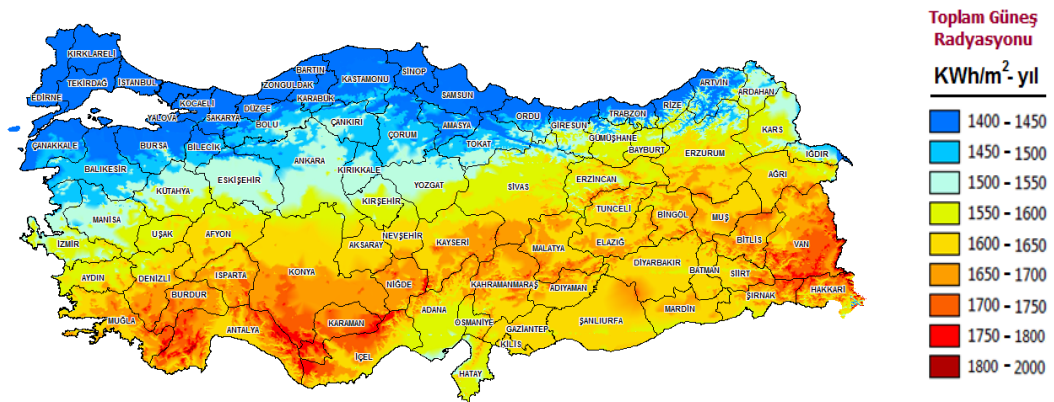
Dünya nüfusundaki sürekli artışın, küresel iklim değişikliğini doğrudan etkileyerek feci çevresel sonuçlara yol açtığı bilinmektedir. Bu durum, güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştırılmasında; temiz teknoloji inovasyonu ve bilgisayar bilimi gibi disiplinler arası alanlardan bilim insanlarının farkındalığın artırılması konusundaki çalışmalarını değerli kılmaktadır. Bu nedenle, Birleşmiş Milletler (BM); ucuz, sürdürülebilir ve temiz enerjiye küresel erişim olanağı sağlamak için hedefler belirlemiştir (Refaee, 2022:1). Bu çalışmada, bahsi geçen BM hedeflerinden olan “Erişilebilir ve Temiz Enerji” ile ilgilidir. Bu hedef kapsamında, insanlığın ihtiyaçlarını giderme konusunda en yaygın kullanılan enerji türü olan fosil yakıtların yanında solar enerjiden yararlanılması, yenilenemeyen enerjilerin tükenme zamanlarını geciktirme ve bunların atmosfere yaydıkları karbon miktarını azaltabilmek amaçlanmaktadır. Solar enerji

üretiminde, yerel bir sistem kullanılması ile bu sistemin kaynağı olan güneş ücretsiz olması nedeniyle para akışının yurt içinde kalacağı öngörülmektedir.

Fosil yakıtlara alternatif olarak elektrik elde etme yöntemlerinden güneş enerjisinin değişken olarak seçilme sebebi; güneş enerjisinin dünyadaki yaşamın sürdürülebilirliği için mühim bir konu olan çevre kirliliğini arttıracak etkide bulunmaması, ülkelerin güneş enerjisini yerel olarak kullanabilmesi ve fotovoltaik (PV) enerji sisteminin kurulumu için basit teknolojinin yeterli olmasıdır (İnce, 2021:1).

Elektrik için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlama konusunda diğer ülkelere bağımlı olmayı azaltan ülkeler, ekonomilerine olumlu yön vermektedirler (Coşkun ve Rençber, 2021:248). Dışa bağımlılığı azaltmayı amaçlarken öte yandan yaşamın kaynağı olan doğanın dengesini korumayı hedefleyen ülkeler için yenilenebilir enerjilerden yararlanmak büyük önem teşkil etmektedir (Erdoğan, 2020:284). Bahsi geçen ilişkiden yola çıkılarak bu çalışmada, “Elektrik kaynağı olarak solar enerji tüketimi, ülkelerin ekonomik büyümelerinde pozitif etkiye sahiptir” hipotezi G8 ülkeleri ve Türkiye’nin 2016-2020 dönemindeki verileri yardımıyla gelecek yıllara ait fotovoltaik enerji kurulu kapasitesi doğrultusundaki gayri safi yurtiçi hasıllarını (GSYİH) tahmin etme amacı ile makine öğrenmesi uygulanmaktadır. Çalışmadaki amaç, daha fazla fotovoltaik enerjiden yararlanıldığında GSYİH’nin da pozitif yönlü artış gösterip göstermediğinin belirlenmesi yoluyla hipotezin doğruluk durumunun gösterilmesidir.

Şekil 1: GEPA - Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası



Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

Türkiye, yenilenemeyen enerji olarak düşük miktarda kaynağa sahip olmasına karşın yenilenebilir enerji kaynaklarınca oldukça zengin bir ülkedir (Çandarlı & Unakıtan, 2021:30). Türkiye'nin yer aldığı, 36° 42° kuzey, paralellerin etkisi ile ülkenin güney kesimlerinin ağırlıklı güneş alması durumu ve ülkenin bir yılda aldığı güneş ışınları Şekil 1'de görülmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından bu kadar yüksek değerlere sahip olmasına karşın güneşten enerji elde etme yöntemlerine yatırım yapma konusunda beklenen düzeyin altında olmasının nedeni, son zamanlarda fiyatları düşmekte olsa da güneş enerji sistemlerinin geleneksel enerji sistemlerine göre daha pahalı olmasıdır (Cebeci, 2017:13).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde, bu çalışmada ele alınmakta olan Fotovoltaik ve GSYİH değişkenlerinin farklı analiz teknikleri ile ele alındığı görülmektedir. Koç (2021), Güneş enerjisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek amacıyla 19 ülkeye ait 1990-2019 yılları arasındaki bilgileri kapsayan bir panel veri setini analiz etmiştir. Elde ettiği bulgular sonucunda güneş enerjisi kullanımı ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin pozitif olduğunu ortaya koymaktadır.

Dağtekin (2020), çalışmasında 20 bin piliç kapasiteli kümesler için buharlaştırılmalı serinletme (yani fan-ped) sisteminin elektrik ihtiyacının PV yöntemle üretilen elektrik ile karşılanması amacı ile 15 kWe gücünde PV santrallere odaklanarak tasarlanacak olan sistemin tekno-ekonomik değerlendirmesini yapmıştır. Bu çalışma, geri ödeme için net süreyi 9.2 yıl ve elektrik üretme maliyetini 0.1100 TL/kWh olarak belirlemektedir.

Uğuz vd. (2019), literatüre kazandırdığı çalışmalarında 8 değişken kullanılarak, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde kurulması planlanan PV sistemlerin güneş ışınımı tahminini gerçekleştirme işlemi Yapay Sinir Ağları yardımıyla yapılmış ve 0.959 gibi bir R² değeri verilmiştir.

Kaşan (2021), termodinamik dönüşüm tekniği, solar-fotovoltaik, Kalina çevrimli ve vakum tüplü sistemlerden elektrik üretiminin maliyet analizini yaparak kıyaslama gerçekleştirmektedir. En ucuz birim hidrojen maliyeti 10,20 \$/kg ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden elde edilirken, en pahalı maliyet ise 13,29 \$/kg ile Karadeniz Bölgesi'nden elde edildiği sonucuna ulaşmaktadır. Aynı zamanda çalışmada bahsi geçen sistemin güneş enerjisi potansiyeli en yüksek bölgeye kurulması durumunda birim maliyetlerin en az şekilde olduğu anlaşılmaktadır.

Kaya ve Bayraktar (2021), güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi ile teşvik araçları arasındaki ilişkiyi ölçmek amacıyla 28 ülkenin 2001-2015 dönemi verilerini Arellano Bond Genelleştirilmiş Momentler Metoduna dayalı dinamik panel yöntemiyle incelemiştir. Sonuç ise; GSYİH, tarife garantisi/prim sistemi, vergi teşvikleri ve yeşil sertifika sistemi, güneş enerjisi kurulu güç kapasite artışı ile pozitif ve anlamlı ilişkili olduğu yönündedir.

Refaee (2022), çalışmasında, güneş santrallerinin enerji çıkış performansını değerlendirmek için makine öğrenimi tabanlı yöntemler kullanmış ve toplanan verileri, arızaların erken tespitini yapma amacı ile modelleri eğitmek için kullanmıştır.

Rao vd. (2019) çalışmasında fotovoltaik (PV) dizilerde kusur tespiti için Siber-Fiziksel sistem yaklaşımı kullanılmıştır. Verileri algılayan ve her bir bağımsız panelde harekete geçen izleme cihazlarından arıza tespiti için uyarlanmış sinir ağı tekniklerini daha ayrıntılı olarak araştırıp hataları tespit etmek ve tanımlamak için ileri beslemeli sinir ağlarını kullanılacak bir çerçeve oluşturulmuştur. Yaklaşımları, şebeke ölçeğindeki PV dizilerinde güç çıkışını etkileyen sekiz çeşitli kusuru, düzenli olarak meydana gelen koşulları tanıyarak ve tanımlayarak verimliliğin artırılması vaat edilmiştir.

Güzel vd. (2021) çalışmalarında, Güneş enerji sistemlerinde üretilecek olan enerjinin ön görülmesinin önemini vurgulayarak, bir gün önceden güneş ışınım değerlerini tahmin etmeyi amaçlamaktadırlar. Veri kapsamı olarak Isparta iline ait 2016-2020 dönemindeki meteorolojik veriler aracılığı ve Yapay Sinir Ağları tekniğini kullanmaktadırlar. Zaman serisi analizi için NAR ve NARX yöntemleri kullanılan çalışmada veri girişindeki zaman gecikmesi arttıkça, performansın düştüğü tespit edilmiştir.

Güneş enerjisi sistemlerinin kurulu olduğu konumlardaki meteorolojik hava durumunun, fotovoltaik panellerin vereceği enerji gücü ve enerji maliyetini etkilediğini belirten Akal ve Umut (2022), fotovoltaik panellerin sağladığı veriler doğrultusunda sistemlerin sağladığı gücü tahminlemeyi amaçlamaktadır. Akdeniz bölgesine ait 1993 ile 2010 yılları arasındaki veriler yardımıyla Yapay Sinir Ağları ve KNN (K-Nearest Neighbors) yöntemleri kullanılarak panel güç değeri tahmini yapılmakta olup %98.7945 doğruluk skoru ile Yapay Sinir Ağı modelinin diğer yöntemle oranla daha yüksek sonuç verdiği gözlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın bu kısmında; makine öğrenmesi modeli kurmak için kullanılan veri setini oluşturan değişkenlerin seçimi, analizleri, bir araya getirilme koşulları ve kullanılan metotların aktarılması amaçlanmaktadır.

3.1. Veri Seti

Çalışmada, dünya net gayri safi hasılasının %60'ını kapsamakta olan G8 ülkelerinden (Altay vd. 2011:4); Almanya, ABD, Fransa, İngiltere, İtalya, Japonya ve Kanada ülkelerine ait 2016-2020 dönemini kapsayan veriler kullanılmakta olup eksik veri nedeni ile Rusya çalışmaya dahil edilmemektedir. Bu G8 ülkelerine ek olarak karşılaştırma yapma amacı ile çalışmaya Türkiye dahil edilmiştir. Elde edilen veri seti 40 adet kayıt içermektedir. Çalışmaya ait tüm veriler **Our World in Data** isimli internet sitesinden elde edilerek zaman serisi yöntemi ile bir araya getirilmiştir.

Yukarıda bahsi geçen ülkelere ait solar enerji tüketimi ve ekonomi ilişkilerini veri bilimi teknikleri ile ortaya koymak amacıyla 3 değişken kullanılmaktadır:

Fotovoltaik değişkeni, seçilen ülkelerin sınırları içerisinde bulunmakta olan fotovoltaiklerin kümülatif kapasitesinin verilerinin megawatt (MW) cinsinden değeridir. Fotovoltaik ismi, güneş ışınları anlamına gelen foton ve elektrik birimi olan volt kelimelerinin birleşimi ile oluşmaktadır. Fotovoltaik sistemler, güneş ışığı enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürmeye yarayan araçlar olarak bilinmektedir (Karaca, 2012:16).

Yenilenebilir değişkeni, ele alınan ülkelerin yenilenebilir elektrik tüketim miktarlarının genel tüketime oranla yüzde cinsinden değeridir. Bu değişken ülkelerin yenilenebilir enerji tüketimleri arasındaki fotovoltaik kapasitenin analiz edilmesi amacıyla çalışmaya dahil edilmiştir.

GSYİH değişkeni ise, ülkelerin seçili yıllara ait Amerikan doları para birimi cinsinden gayri safi yurtiçi hasıla verileridir. GSYİH; belirli dönemde, o ülkenin sınırları içerisinde ekonomik birim farkı olmadan üretilen tüm nihai mal ve hizmetlerin para birimi cinsinden karşılığı olarak tanımlanır (Uca vd, 2009:1243). Ülkelerin ekonomik durumlarının en önemli göstergelerinden biri olduğu için hedef değişken olarak GSYİH belirlenmiştir.

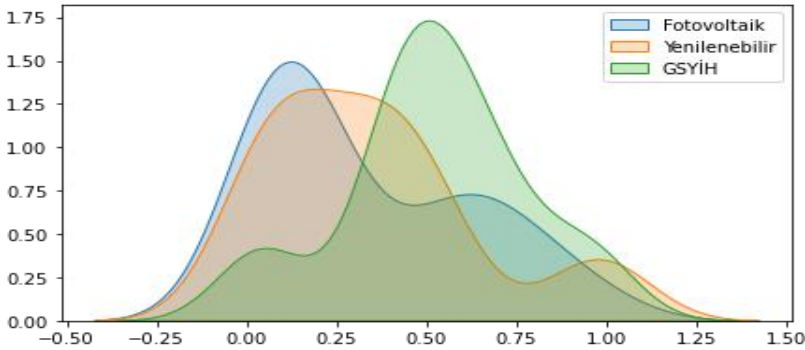
3.2 Veri Analizi

Değişkenler	n	Ortalama	Std. Sapma	Min.	%25	%50	%75	Max.
GSYİH	40.0	45295.71	9145.42	26385.00	41330.66	45506.72	50663.78	62630.87
Yenilenebilir	40.0	33.45	15.52	15.00	20.00	32.00	40.50	68.00
Fotovoltaik	40.0	25202.92	21526.57	833.00	7443.25	16423.00	42774.75	73814.00

Tablo 1: Çalışmada Kullanılan Değişkenlerin İstatistiksel Analizi

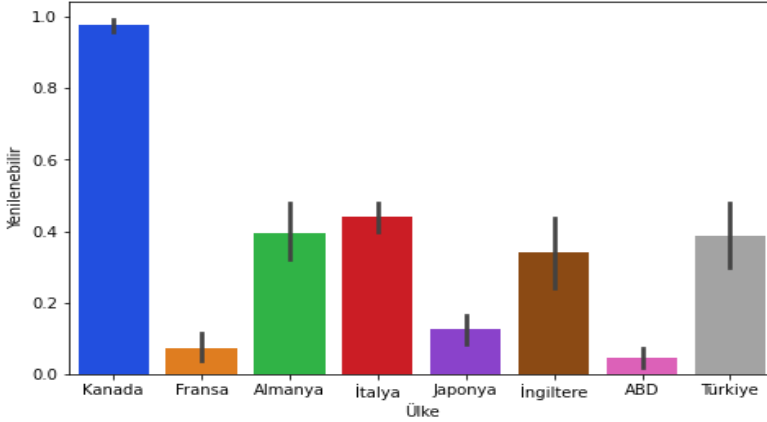
Veri seti hakkında daha çok bilgi almak ve en uygun metodu seçebilmek amacı ile sayısal değişkenlerin tanımlayıcı istatistiksel bilgilerinin yer aldığı tablo yukarıda gösterilmektedir (Tablo 1). Bu istatistiksel tablo yorumlandığında; GSYİH ve Fotovoltaik değişkenlerinin maksimum değerlerinde analizi zorlaştıracak kadar büyük sayılar bulunması ve Yenilenebilir değişkeninin diğer iki değişkene oranla aykırı derecede küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sebeplerden, veriyi anlama ve görselleştirme adımına geçmeden önce normalizasyon uygulanmıştır.

Şekil 3: Değişkenlerin Yoğunluk Dağılımı

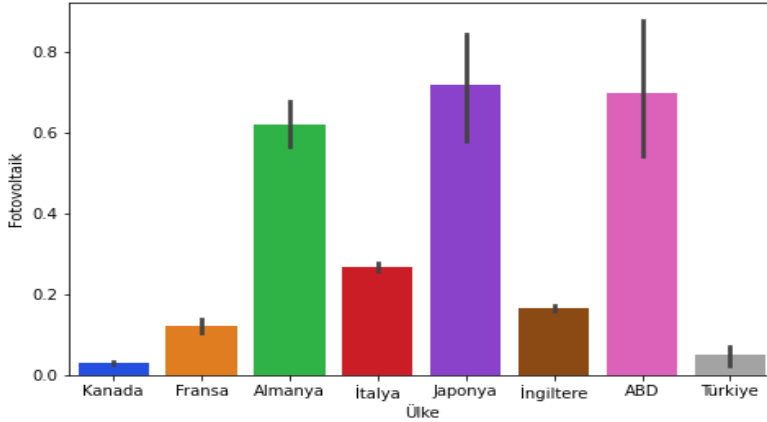


Şekil 3’te, normalizasyondan sonra sayısal değişkenlerin yoğunluk dağılım grafiği görülmektedir. Bu grafik Python Seaborn kütüphanesi yardımıyla elde edilmiştir. Burada; Fotovoltaik ve Yenilenebilir isimli değişkenlerin sola çarpık olduğu bunun yanında GSYİH’nin ise normal dağılıma daha yakın olduğu ve ortalama etrafında daha yoğun olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 4: Çalışmadaki Ülkelerin Yenilenebilir Enerji Tüketim Miktarları



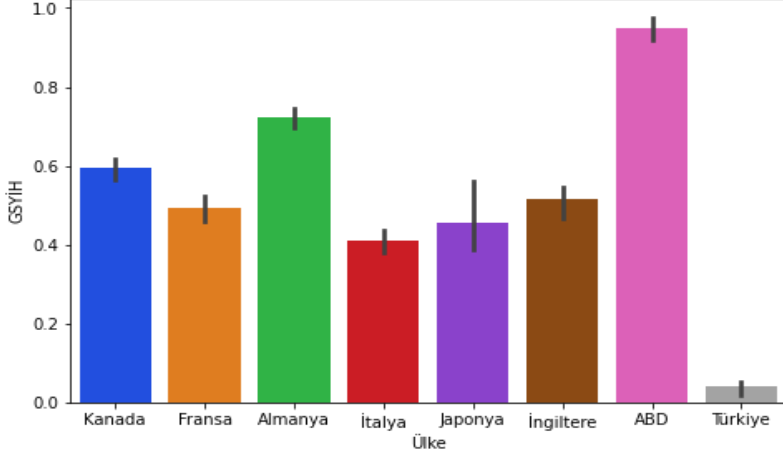
Şekil 5: Çalışmadaki Ülkelerin Fotovoltaik Kapasitesi



Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde, veri setindeki ülkelerin genelinde Yenilenebilir enerji tüketimi ve Fotovoltaik kapasiteleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunduğu gözlemlenmektedir. Örneğin, Kanada Yenilenebilir elektrik tüketiminde en yüksek, Fotovoltaik kapasitede ise en düşük değerlere sahiptir. Bu

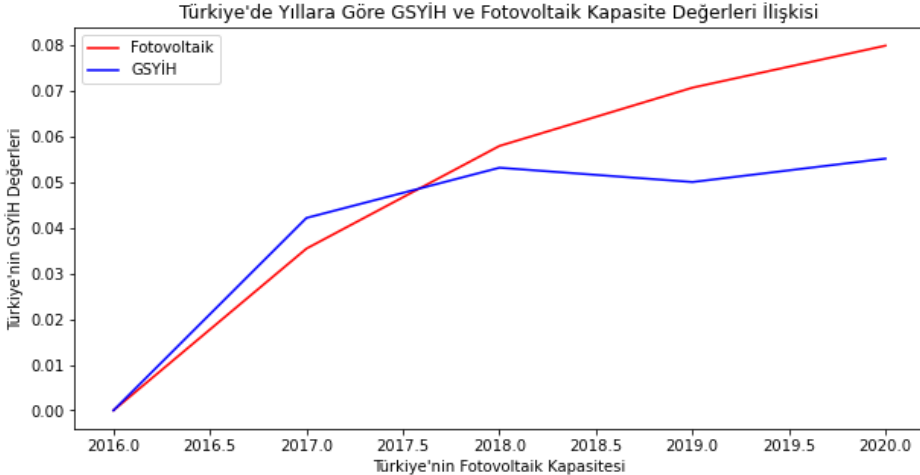
durumun nedeni Kanada'nın yenilenebilir bir kaynak olan sudan her yıl 5000 kWh'den fazla elektrik üretiyor olmasıdır (Our World in Data).

Şekil 6: Çalışmadaki Ülkelerin GSYİH Değerleri



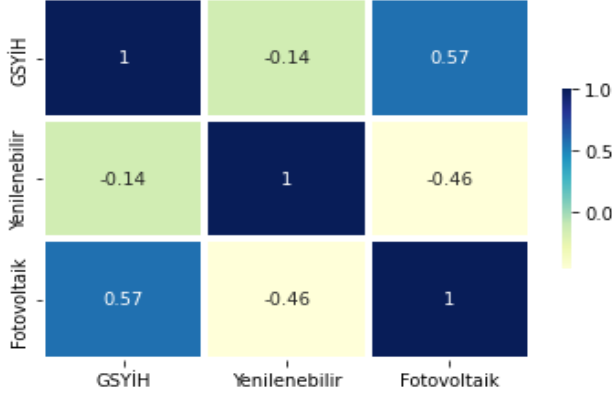
Çalışmanın ana konusu olan Fotovoltaik elektrik tüketimi ile GSYİH ilişkisini gözlemlemek adına Şekil 5 ve Şekil 6 birlikte gözönüne alındığında, görsel olarak bile farkedilebilen anlamlı bir benzerlik görülmektedir.

Şekil 7: Türkiye'nin Yıllara Göre Fotovoltaik ve GSYİH Değerleri



Şekil 7'de, diğer grafiklerden farklı olarak iki değişkenin (GSYİH-Fotovoltaik) ilişkisi zaman serisi yöntemi kullanılarak ele alınmıştır. Bu grafik ile 2018-2019 dönemi dışında, sürekli artan ve doğrusal bir ilişki bulunduğu desteklenmektedir.

Şekil 8: Veri setindeki Değişkenlerin Korelasyon Isı Haritası



Korelasyon katsayısı; iki değer arasında var olan doğrusal bağımlılık ilişkisini anlamlandırmaya yarar (Akşit, 2020:16). Korelasyon katsayısına göre bu ilişki pozitif/negatif yönlü ve güçlü/zayıf ilişki şeklinde yorumlanmaktadır. Şekil 8’de, bu çalışmada kullanılan veri setine ait sayısal değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının ısı haritası bulunmaktadır. Bu şekle ve verilen korelasyon katsayısı değerlerine Fotovoltaik ile GSYİH arasında pozitif yönlü ve orta kuvvetli, Yenilenebilir ile Fotovoltaik arasında negatif ve düşük kuvvetli, GSYİH ile Yenilenebilir arasında negatif ve çok düşük kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır.

3.3 Metodoloji

Veri setini algoritmaya hazırlama aşamasında normalizasyon uygulanmıştır. Normalizasyon uygularken amaç; veri setindeki sayısal değişkenleri, değerlerin arasındaki farklılıkları bozmadan belirli ölçekte değiştirmektir (Gültepe, 2019:12). Bu çalışmada, değerleri 0-1 aralığına indirmek amacıyla normalizasyon yöntemlerinden minimum-maximum metodu seçilerek uygulanmıştır.

Minimum-maximum Normalizasyon Formülü (Gültepe, 2019:12);

$$X_n = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

Denklem 1’deki eşitlikte;

X: x değeri için geçerli sayıyı,

X_n: x değeri için normalize edilen sayıyı,

X_{min}: veri setindeki bulunan en küçük sayı,

X_{max}: veri setinde bulunan en büyük sayıyı, ifade etmektedir.

Normalize edilen veri, dışarıda tutma (hold-out) yöntemi ile eğitim ve test olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Eğitim verisi ile algoritmaya değerleri ve aralarındaki ilişkiyi öğretmek, test verisi ile öğrenme doğruluğu ölçülmektedir (Balaban ve Kartal, 2015:30). Çalışmada kurulan modelde verinin %70'i eğitim ve kalan %30'luk kısmı test verisi olarak belirlenmiştir.

Gelecek değerlere ilişkin tahmin yapabilme amacıyla Rassal Orman Regresyonu kullanılmaktadır. Rassal Orman karar ağaçlarının bir araya gelerek oluşturduğu sınıflandırma ve regresyon olarak iki yöntemi bulunan bir algoritmadır. Eğitilmesi için verilen veri setinde her bir ağaçta kararlar alarak sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmekte, en çok oyu alan sınıf seçilmektedir. Rassal Orman Regresyon yönteminde ise karar ağaçlarının sonuç tahminlerinin ortalamaları alınarak orman ismindeki tek tahmine indirgenmektedir (Gök, 2017:143).

Rassal Orman algoritmasının adımları şu şekilde açıklamaktadırlar (Biau & Scornet, 2016:206):

1. Eğitim setinden rastgele k veri noktası seçilir.
2. Bu k veri noktasıyla ilişkili bir karar ağacı oluşturulur.
3. İnşa edilmek istenilen N ağaç sayısı seçilir ve 1. ve 2. adımlar tekrarlanır.
4. Yeni bir veri noktası için, N-ağaç ağaçlarının her birinin söz konusu veri noktası için değerini tahmin etmesi sağlanır ve yeni veri noktası tüm öngörülen y değerlerinin ortalamasına atanır.

Uygulanan modelin doğruluk skoru ve performans değerlendirmesini yapabilmek amacıyla Tablo 2'de belirtilen 4 farklı ölçüm kullanılmaktadır (Sel, 2021:878).

Tablo 2: Çalışmada Kullanılan Performans ve Hata Ölçütleri

Ölçüt	Formül
R ²	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
MAE	$\frac{\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i }{n}$

MSE	$\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$
RMSE	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$

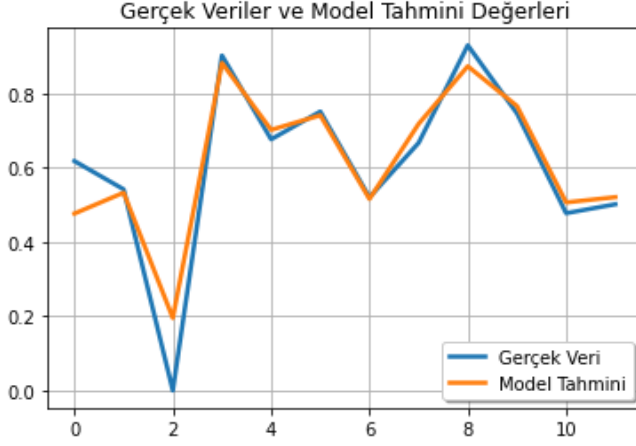
Ölçütlerden R^2 (R-Kare) Açıklayıcılık Katsayısını hesaplamakta olup model ölçütü 1'e ne kadar yakınsa o kadar yüksek performansa sahip olmaktadır. MAE (Ortalama Mutlak Hata), MSE (Ortalama Hata Kare) ve RMSE (Ortalama Hata Kare Kökü) ölçütlerinde ise R^2 'nin tersine değer 0'a yaklaştıkça modelin hata oranı düşük, performansı yüksek sayılmaktadır (Sel, 2021: 878).

4. UYGULAMA VE BULGULAR

Bu bölümde fotovoltaik kapasite ve yenilenebilir enerji tüketimi bağımsız, GSYİH bağımlı değişken olarak alınarak Rassal Orman Regresyonu uygulanmıştır. Model sonucunda, bağımsız değişkenlere ait Solar elektrik tüketimini destekleyici biçimde değerler girildiğinde GSYİH'nin alacağı değer tahmin sonucuna ulaşılmaktadır. Tahmini yapılacak bu değer ne kadar gerçek değere yakın olacağını ölçmek amacıyla çalışmada 4 performans test ölçütü kullanılmıştır.

Model uygulaması için Python Sklearn kütüphanesinde yer alan Random Forest Regressor metodu kullanılmaktadır. Modelde yer alacak ağaç sayısını belirleyen $n_estimators$ değeri 100 olarak belirlenmiştir. Ardından eğitim verisine ait bağımlı ve bağımsız değişkenler fit metodu ile modele uygunlaştırılmış ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkene ne kadar uyduğu test edilmiştir. Performans testi sonucunda eğitim veri setinin %91 R-Kare skoruna sahip olduğu gözlemlenmektedir. Aynı işlem test verisinde uygulanarak daha önce eğitim verisinde öğrendiği ilişki ile modele hiç görmediği değerlerin sonuçları tahmin ettirmekte ve %89 R-Kare değeri elde edilmektedir. Test verisindeki başarının eğitim verisine çok yakın olması ve ikisinin de güçlü açıklayıcı katsayıya sahip olması nedeniyle modelin başarıyla tamamlanmıştır.

Şekil 9: Rassal Orman Regresyonu Modeli



Mavi çizgi veri setindeki modele gösterilmeyen GSYİH değişkeninin test kısmını, turuncu çizgi ise modelin tahmin ettiği GSYİH değerlerini göstermektedir. Bu çizgiler arasındaki ilişkinin doğruluk skorlanmasından oluşan hata metriklerinin aldığı değerler Tablo 3’de gösterilmektedir.

Tablo 3: Hata Ölçütlerinin Sonuçları

Ölçüt	Değer
MAE	0.04
MSE	0.00
RMSE	0.07

GSYİH değişkenine ait tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki fark ölçümlerinden oluşan hata metrik tablosundaki değerler hedeflendiği gibi 0’a yakın sonuç vermektedir, bu da tahmin ile gerçek değerler arasında çok az hata olduğu ve güçlü bir model kurulduğunu desteklemektedir.

5. SONUÇ

Elektrik enerjisi, modern dünyadaki insan yaşamında hayatın her alanında olması dolayısıyla ihtiyaç haline gelmiş bulunmaktadır. Bu çalışmada, karbondioksit salınımını azaltmaya yarayacak bir uygulama olması dolayısıyla ücretsiz bir kaynak olan güneşten yararlanarak ülkelerin para akışını yurt içinde tutmanın getirilerine dikkat çekmek hedeflenmektedir. Söz konusu Güneş enerjisinden yararlanmak olduğunda Fotovoltaik sistemler ve sağladıkları enerji, maddi ve çevresel açıdan büyük önem arz eden bir konumda olması sebebiyle enerji elde etme yöntemi olarak burada seçilmiştir.

Çalışma boyunca ele alınan ülke grubu ve Türkiye'ye ait veriler grafik ve görseller ile açıklanmıştır. Sonuç olarak, buradaki makine öğrenmesi modeli ülkelere ait Fotovoltaik enerji kapasitesi ve yenilenebilir enerji miktarları verildiğinde GSYİH değerlerini %88 doğrulukla tahmin edecek bir model kurulmuştur. Aynı zamanda elde edilen pozitif yönlü ve anlamlı korelasyon ile "Elektrik kaynağı olarak solar enerji tüketimi, ülkelerin ekonomik büyümelerinde pozitif etkiye sahiptir" hipotezinin doğruluğu çalışma ile desteklenmiştir.

YAZARLARIN BEYANI

Katkı Oranı Beyanı: Yazarlar, çalışmanın tümüne ortak katkı sağlamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı: Çalışmada herhangi bir kurum ya da kuruluştan destek alınmamıştır.

Çatışma Beyanı: Çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması söz konusu değildir.

KAYNAKÇA

Akşit, M. (2020) Büyük Veride Hiyerarşik Kümeleme Yöntemlerinin Kofenetik Korelasyon İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Altay, B. , Tuğcu, C. T. & Topcu, M. (2011). İşsizlik Ve Enflasyon Oranları Arasındaki Nedensellik İlişkisi: G8 Ülkeleri Örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(2), 1-26.

Kartal, E., & Balaban, M. E.(2015) Sınıflandırmaya Dayalı Makine Öğrenmesi Teknikleri Ve Kardiyolojik Risk Değerlendirmesine İlişkin Bir Uygulama.

Biau, G., Scornet, E. (2016). A random forest guided tour. TEST 25, 197–227
<https://doi.org/10.1007/s11749-016-0481-7>

Güzel, B., Okatan, E. & Kırbaş, İ. (2021). Yapay Zekâ Yaklaşımlarıyla Gün Öncesi Güneş Işınımı Tahmini. 3rd International Young Researchers Student Congress.

Cebeci, S. (2017). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, TC.Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.

Çandarlı, M., & Unakitan, G. (2021). Yenilenebilir Enerji Kullanımının Sürdürülebilir Ekonomik Büyümeye Etkisi. Balkan & Near Eastern Journal of Social Sciences (BNEJSS), 7.

Coşkun, A. & Rençber, Ö. F. (2021). Enerji Üretim Miktarlarının Gayri Safi Yurtiçi Hasıla Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Conference: 1st International Mediterranean Scientific Research And Innovation - Akdeniz Üniversitesi

Dağtekin, M. (2012). Etlik Piliç Kümeslerinin Serinletilmesinde Güneş Enerjisi Kullanımının Tekno-Ekonomik Analizi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi , 27 (2) , 11-20 .

Demirezen, S. & Çetin, M. (2021). Rassal Orman Regresyonu Ve Destek Vektör Regresyonu İle Piyasa Takas Fiyatının Tahmini. Nicel Bilimler Dergisi , 3 (1) , 1-15. DOI: 10.51541/nicel.832164

Er, Y. & Karaca, E. (2021). Farklı Yöntemlerle Karadeniz Bölgesi’nin Aylık Elektrik Tüketim Tahmini. Sürdürülebilirlik İçin Akademik Araştırmalar 137-147.

Erdoğan, S. (2020). Enerji, Çevre ve Sera Gazları . Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 10 (1) , 277-303 .

Gök, M. (2017). Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Akademik Başarının Tahmin Edilmesi . Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology , 5 (3) , 139-148.

Gültepe, Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (16) , 8-15 . DOI: 10.31590/ejosat.530347

İnce, İ. T. (2021). Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretiminde Örnek Uygulamalar . Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi , 1 (1) , 1-10 .

Karaca, C. (2012). Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Tasarımı.

Kaya, H. & Bayraktar, Y. (2021). Kamu Teşvik Mekanizmalarının Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üzerine Etkisi: AB Ülkeleri ve Türkiye’de Güneş Enerjisine Yönelik Dinamik Panel Veri Analizi. *Sosyoekonomi*, 29 (48), 181-204. DOI: 10.17233/sosyoekonomi.2021.02.10

Koç, Ü. (2021). Güneş Enerjisi ve Ekonomik Büyüme . *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi* , 6 (2) , 515-533 . DOI: 10.30784/epfad.890910

Our world in data. <https://ourworldindata.org/>

Rao, S. , Spanias, A. & Tepedelenlioglu, C. (2019). Solar Array Fault Detection Using Neural Networks. *IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (Icps)*, pp. 196–200, 2019.

Refaee, E.A. (2022). Using Machine Learning for Performance Classification and Early Fault Detection in Solar Systems, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2022, Article ID 6447434, 9 pages.

Sel, A. (2021). Hibrit Regresyon Modelleri İle BİST’e Etki Eden G20 Endekslerinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 12(31), 870-884.

Uca, N. , Civelek, M. E. & Çemberci, M. (2019). Yolsuzluk Algısının Gayrisafi Yurt İçi Hasıla Üzerine Etkisinde Lojistik Performans ile Küresel Rekabetin Ara Değişken Rolü: Türkiye Değerlendirmesi . *OPUS International Journal of Society Researches* , 10 (17) , 1229-1261 .

Uğuz, S. , Oral, O. & Çağlayan, N. (2019). PV Güç Santrallerinden Elde Edilecek Enerjinin Makine Öğrenmesi Metotları Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 769-779 . DOI: 10.29137/umagd.514933