



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<http://dergipark.gov.tr/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Fotovoltaik Sistemin Güç Üretiminin Meteorolojik Değişkenler ile Modellenmesi: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Örneği

Emre BİÇEK*¹, H. Eray ÇELİK²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Enformatik Bölümü, 65080, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Emre BİÇEK, ORCID No: 0000-0001-6061-9372, H. Eray ÇELİK, ORCID No: 0000-0001-7490-8124

*Sorumlu yazar e-posta: emrebicek@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 24.06.2020

Kabul: 14.12.2020

Online Yayınlanma: Aralık 2020

Anahtar Kelimeler

Yenilenebilir enerji,
Fotovoltaik enerji,
Regresyon analizi,

Öz: Fotovoltaik sistemlerin güç çıktısının doğru tahmin edilmesi, bu sistemlerin doğru planlanması ve gelecekteki yatırımların teşvik edilmesi açısından çok önemlidir. Fotovoltaik sistemlerin güç üretimi, sistemin kurulduğu konumdaki meteorolojik değişkenlerden etkilenmektedir. Türkiye bulunduğu konum itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli bakımından avantajlı durumdadır. Türkiye'nin en fazla güneşlenme süresine sahip illerinden biri ise Van'dır. Bu çalışmada, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde kurulu bulunan (17 kWp kapasiteli) fotovoltaik sistemin enerji üretimine meteorolojik değişkenlerin etkisi analiz edilmiştir. Analizde 2015-2018 yılları arasında üretilen enerji ve aynı zaman dilimine ait meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Bu kapsamda çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılarak bir istatistiksel model çıkarımı yapılmıştır. Çalışma sonucunda ÜG değişkeninin SGŞ üzerinde en yüksek pozitif etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca SNN, SRH, SS ve SB değişkenlerinin ÜG üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu da saptanmıştır. Durağanlık varsayımı sağlandıktan sonra elde edilen modelin R^2 'si 0.445 olarak hesaplanmıştır.

Modeling the Power Generation of the Photovoltaic System with Meteorological Variables: The Case of Van Yüzüncü Yıl University

Article Info

Received: 24.06.2020

Accepted: 14.12.2020

Online Published: December 2020

Keywords

Renewable energy,
Photovoltaic energy,
Regression analysis,

Abstract: Estimating the power output of photovoltaic systems is very important in terms of planning these systems correctly and encouraging future investments. The power generation of photovoltaic systems is affected by the meteorological variables at the location where the system is installed. Turkey has the potential for solar energy as a location. Located in the eastern part of Turkey, Van is one of the provinces with the most sunshine hours. In this article, the effect of meteorological variables on the energy production of the Solar Photovoltaic system which is located in Van Yüzüncü Yıl University Campus (with a capacity of 17 kWp) was analyzed. In the analysis, the power generation data of the system and the meteorological variables were used between 2015 and 2018. A statistical model was extracted using the multiple linear regression analysis. As a result of the study, it was seen that the UG variable had the highest positive effect on SGS. It was also found that the variables SNN, SRH, SS and SB had a statistically significant effect on the UG. After providing the stationary assumption for the UG variable, the R^2 of the model was calculated as 0.445.

*Bu makale Emre BİÇEK'in Doktora tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Son yıllarda küresel ısınma tüm dünyanın odak noktası haline gelmiştir. Daha önce ölçülmemiş en yüksek sıcaklıklar, dünyamızın yaşam kaynağı olan buzulların her zamankinden daha hızlı erimesi, devasa orman yangınları ve şiddetli kasırgalar iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden birkaçıdır. Atmosfere salınan sera gazları bu durumun en büyük nedenlerindedir. Küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin her geçen gün arttığı günümüzde, yenilenebilir enerji kullanımının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. İklim değişikliğinin yol açtığı felaketler, ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimlerini büyük oranda artırmıştır. Enerji ihtiyacı tüm dünyada her geçen gün artmaktadır. Geleneksel enerji üretim sistemleri, atmosfere yoğun bir şekilde sera gazı salınımına sebep olmaktadır. Ülkeler, bu sera gazlarının salınımını düşürmek için çeşitli arayışlar içerisindeyler. Yenilenebilir enerji bu noktada hayat kurtarıcı niteliktedir. Son dönemlerde bu alana yatırım yapan veya kapasite artırımına giden ülke sayısı oldukça fazladır. Global ölçekte 2018 yılı sonu itibari ile 90'dan fazla ülkede, en az 1 gigawatt (GW) kapasiteli yenilenebilir enerji sistemi kurulumu yapılmıştır. 30 ülkede ise bu kapasite 10 GW'nin üzerine çıkmıştır. Dünya enerji kaynaklarının %26.2'si yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Güneş enerjisinin payı ise %2.4'tür. 2018 yılında fotovoltaik enerji teknolojisi GW ölçekli dünya pazarında dünyanın en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji üretim teknolojisi olmuştur. Bol miktarda kaynağa sahip olması, hava kirliliği oluşturmaması ve taşıma maliyetinin olmaması gibi nedenlerle, güneş enerjisi dünya üzerinde son yıllarda en fazla kapasite artırımı yapılan yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur. Dünya üzerinde kurulu fotovoltaik enerji sistemi kapasitesi, 2018 yılı sonu itibari ile %25 artarak, 505 GW'ye ulaşmıştır. Türkiye hâlihazırda kurulu sistem kapasitesi ile bu alanda ilk 10 ülke arasındadır. Türkiye'nin 2023 yılına kadar toplamda 5 GW'lik kurulu fotovoltaik sistemi kapasitesine ulaşma hedefi vardır (REN21, 2019).

Türkiye konum olarak güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça avantajlıdır. Türkiye Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerine göre Türkiye yıllık ortalama 2636.89 saat güneşlenme süresi ve 1524.18 kilowatt-saat/metrekare (kWh/m²) küresel radyasyon değeri ile yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu verilere göre, Van ili ise 1635.81 kWh/m² küresel radyasyon değeri ve 3068.74 saat güneşlenme süresiyle Türkiye ortalamasının çok üzerinde bir potansiyele sahiptir (GEPA, 2020). Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı (DAKA) verilerine göre güneş enerjisi sistemlerinin üretim kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri olan güneş radyasyonu bakımından ilk sırada Karaman, ikinci sırada Antalya ve üçüncü sırada ise Van bulunmaktadır. Toplam güneşlenme süresi bakımından ise Van ilk sırada yer almaktadır. Arazi elverişliliği ve sistem kurulumu için gerekli teknik koşulların karşılanabilmesi açısından da Van yine ilk sırayı almaktadır. Bu veriler ışığında karşılaştırıldığında Türkiye'de en fazla güneş enerjisi üretim potansiyeline sahip ilin Van olduğu görülmektedir (DAKA, 2008).

Güneş enerjisi fotovoltaik sistemler tarafından elektrik enerjisine çevrilmektedir. Fotovoltaik sistemler yüzlerce fotovoltaik hücreden oluşan panellerin bir araya geldiği yalıtıkan sistemlerdir. Bir ve ya daha fazla panel inventörlerle birlikte bir sistemi oluşturmaktadır. Güneş tarafından sağlanan enerji, fotovoltaik panellerden ham doğru akım gücü olarak çıkar. Üretilen bu güç daha sonra fotovoltaik sistemin inventör bileşeninden geçer ve kullanılmak üzere alternatif akım gücüne dönüştürülür (Chang ve ark., 2019). Fotovoltaik sistemlerin güç üretimi çevresel faktörlere bağımlılığı dolayısıyla dalgalanan bir seyre sahiptir. Bu nedenle, büyük ölçekteki sistem kurulumları ve planlamaları karmaşık ve zordur. Operasyonel süreçlerin azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve doğru alanda doğru kapasitede sistem kurulumunun gerçekleştirilebilmesi için üretilebilecek enerjinin doğru tahmini son derece kritik bir rol oynamaktadır (Wang ve ark., 2019).

Güneş Fotovoltaik sistemlerin ürettiği enerjinin doğru tahmin edilmesinin önemi, dünyada bu alanda yapılan çalışma sayısını hızla artırmıştır. Sistemlerin ürettiği enerjinin doğru tahmin edilmesinde genel olarak doğrudan ya da dolaylı olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Doğrudan tahminlerde sistemin güç çıkışı hesaplanırken, dolaylı tahminlerde ise önce güneş ışınımı hesaplanır daha sonra sistemin enerji üretim verileri dikkate alınarak tahmin gerçekleştirilir. Ayrıca birçok çalışma sadece güneş ışınım tahminine odaklanır. Bunun nedeni sistemlerin ürettiği enerji miktarının güneş ışınımı ile büyük bir ilişki içerisinde olmasıdır (Antonanzas ve ark., 2016). Bu alanda kullanılan tahmin yöntemleri fiziksel, istatistiksel ve yapay zekâ tabanlı makine öğrenmesi yöntemleri olmak üzere üç kategoride ele alınabilir. Fiziksel modeller, uzun tahmin ufukları için daha uygun olan sayısal hava tahmini modellerini kullanır. İstatistiksel modeller fiziksel modellerden daha kolay uygulanabilir. Güneş

ışınım değerleri dış etkenlerden dolayı doğada sabit olmayan bir karakteristiğe sahip olduğu için devamlı ya da stokastik zaman serilerine bağlı istatistiksel modellerin tahmin performansı sınırlıdır (Qing & Niu, 2018). Yapay zekâ tabanlı makine öğrenmesi yöntemleri, yüksek boyutlu karmaşık ve doğrusal olmayan özellikleri etkin bir şekilde çıkarma ve bunları doğrudan çıktıya eşleme yeteneğine sahiptir. Makine öğrenmesine dayalı tahminler bu özelliklerinden dolayı zaman serileri tahminlerinde en sık kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Birçok çalışma bu yöntemlerin başarısını ortaya koymuştur (Wang ve ark., 2019).

Fotovoltaik sistemin güç çıktısının tahmini için yapay sinir ağlarını kullanılan bir çalışmada, güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgâr hızı, sinir ağının giriş değişkenleri olarak kullanılmış, önerilen modelin etkinliği günlük, aylık ve yıllık ölçekte değerlendirilmiştir. Önerilen yöntem, konvansiyonel çoklu doğrusal regresyon modeli kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Hiyama & Kitabayashi, 1997).

Deniz & Atik (2007) tarafından yapılan çalışmada, regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerinin hangisinin güneş ışınım şiddeti tahmininde daha etkin olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla; rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, deklinasyon açısı, nem miktarı, güneş ışınımı alımının gün uzunluğuna oranı ve aylık ortalama atmosfer dışı ışınım şiddeti değişkenleri kullanılmıştır. 2005 yılına ait veriler üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, regresyon analizi yönteminin daha iyi sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır.

Benghanem & Joraid (2007) tarafından Medine'nin potansiyel güneş enerjisi kapasitesini ortaya koyabilmek için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Dört yıllık veri kullanılan çalışmada, güneş ışınımının hem hava açıklık indeksi hem de güneşlenme süresi değişkenleri ile yüksek bir korelasyona sahip olduğu ifade edilmiştir. Sıcaklık ve güneş ışınımı değişkenlerinin gün doğumu ile öğle vakti arasındaki güneşli bir havada birbirleri ile yüksek bir korelasyona sahip olduğu açıklanmıştır. Genel olarak, elde edilen denklem tarafından tahmin edilen veriler ile ölçülen veriler arasında iyi bir uyum bulunmuştur.

İtalya'da bulunan 960 kilowatt-peak (kWp) kapasiteli bir fotovoltaik enerji tesisinin üretimini tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon analizine ve Elmann yapay sinir ağına dayalı istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Üretilen gücün zaman serilerinin farklı kombinasyonları ve yapay sinir ağlarının girdileri olarak, ölçülen meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Meteorolojik değişkenler ve güç üretimi arasında korelasyon analizi yapılarak bu değişkenler arasındaki ilişki incelenmiştir. Farklı girdiler kullanılarak yapay sinir ağları üzerinde bir model uygulanmış ve farklı girdilere göre elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Girdiler üç bölüme ayrılmış bunlar; sadece enerji girdisi, enerji ve güneş ışınımı girdisi, son olarak ise enerji, güneş ışınımı ve sıcaklık girdileridir (Giorgi ve ark., 2014).

Bursa'da gerçekleştirilen bir çalışmada tarım alanında kullanılmak için kurulan monokristal ve polikristal olmak üzere iki farklı fotovoltaik sistemin enerji üretimlerinin karşılaştırılması ele alınmıştır. Güneşlenme şiddetine bağlı olarak her iki sistemin anlık güç üretim çıktıları regresyon analizi ile incelenmiştir (Taşçıoğlu, 2015).

Yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmada, çevresel faktörlerin fotovoltaik sistemlerin ürettiği güç üzerine etkisi incelenmiş ve enerji üretim tahmini yapılmıştır. Bu kapsamda, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr soğuğu ve nem değişkenleri kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ve istatistiksel bir model olan çoklu doğrusal regresyon analizinin sonuçları karşılaştırılmıştır (Ayan & Mehtap, 2018).

Qing & Niu (2018) tarafından yapılan çalışmada sıcaklık, çiy noktası, nem, görüş mesafesi, rüzgâr hızı, hava çeşidi (yağmurlu, bulutlu, sisli vs. 13 farklı) değişkenleri güneş ışınımı tahmini için kullanılmıştır. Kullanılan veri seti Cape Verde'de bulunan Santiago adasına ait 30 aylık dönemi kapsamaktadır. Makine öğrenmesi ve klasik yöntemlerin kullanıldığı ve karşılaştırıldığı çalışmada, analizlere başlamadan önce güneş ışınımı ile diğer değişkenler arasındaki ilişkinin ortaya konulması için korelasyon analizi yapılmıştır.

Arslan ve ark. (2019) tarafından Mersin ilinde yapılan bir çalışmada hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ve bulut kapallığı verileri kullanılarak güneş ışınımı tahmini yapılmıştır. Yapay sinir ağlarına dayalı algoritmalar ve regresyon analizi uygulanmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

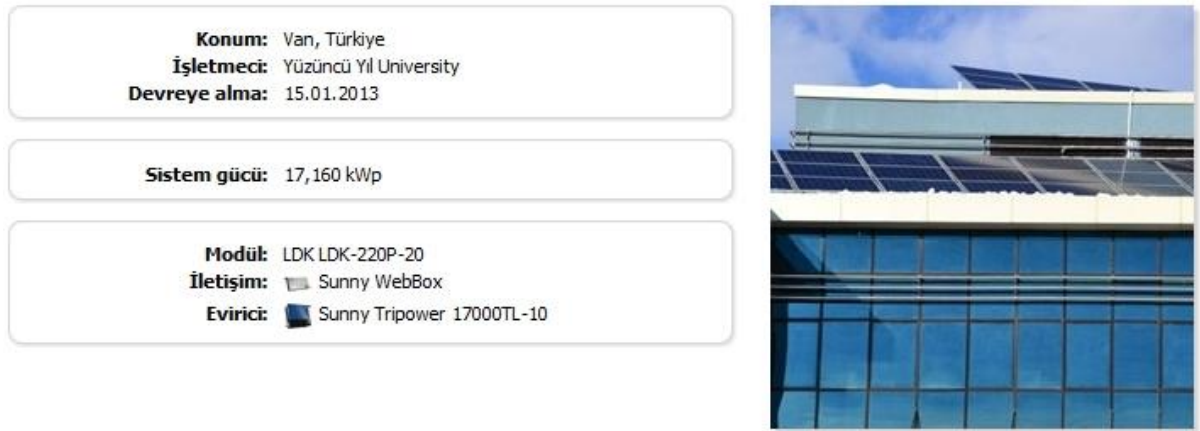
Dünya ülkelerinin yenilenebilir enerji alanında son zamanlarda artan yatırımları göstermektedir ki gelecekte daha fazla ülke, daha fazla oranda enerjiyi bu temiz enerji, yani yenilenebilir enerjiden sağlayacaktır. Türkiye'nin de bu alanda yatırımlarını artırması ve pastadan gerekli payı alması gerekmektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilecek bilimsel araştırmaların önemli rol oynayacağı

düşünülmektedir. Türkiye'nin son yıllarda yenilenebilir enerji kapsamında özellikle fotovoltaik enerji sistemleri alanında gerçekleştirmiş olduğu yatırımlar ve gelecek planları göz önüne alındığında bu konuda yapılacak bilimsel çalışmaların, ülkemizin bu alandaki yatırımlarının doğru planlanabilmesi ve kaynaklarının en etkin şekilde kullanılabilmesi adına katkısı olacaktır. Yukarıda paylaşılan veriler de göstermektedir ki Türkiye'nin en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip illerinin başında Van gelmektedir. Bu çalışmada Van ili sınırlarında bulunan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde kurulu, toplamda 17.160 kWp güç üretim kapasitesine sahip bir fotovoltaik sistemin enerji üretimine meteorolojik değişkenlerin etkisi, çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenerek bir istatistiksel model çıkarımı yapılmıştır. Bu çalışmada daha önce çalışılmamış bir veri seti ve konum kullanılarak literatüre katkıda bulunulmuştur. Çalışmanın Türkiye'de kurulu bir sistem üzerinde yapılmış olması, sistemin bulunduğu konuma bağlı çevresel faktörlerin enerji üretimine etkisini bölgesel olarak daha iyi açıklayarak, ülkemizin enerji yatırım planlama çalışmalarına önemli bir katkı sunmakla birlikte, Van bölgesinde gelecekte kurulacak sistemlerin planlanması noktasında da katkı sağlayacağı ve bu alanda yatırım yapmak isteyen kişi ve kurumlara da öngörü sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Fotovoltaik sistem ve enerji verileri

Çalışmada Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim Araştırma ve Uygulama Merkezi (BAUM) çatısına konuşlandırılmış bir fotovoltaik sistemin verileri kullanılmıştır. Kurulan sistemin gücü 17.160 kWp olup sistem 15.01.2013 yılında devreye alınmıştır. Sistem 38.4693 enlem, 43.3378 boylam coğrafi konumunda olup 1661 metre rakıma sahiptir. Kullanılan modül tipi LDK-220P-20'dir. Toplamda bugüne kadar 6 yıllık düzenli veri geçmişi bulunmaktadır. Şekil 1'de sistem ile ilgili genel bilgi ve sistemin çatıda konumlandırılmış fotoğrafı yer almaktadır.



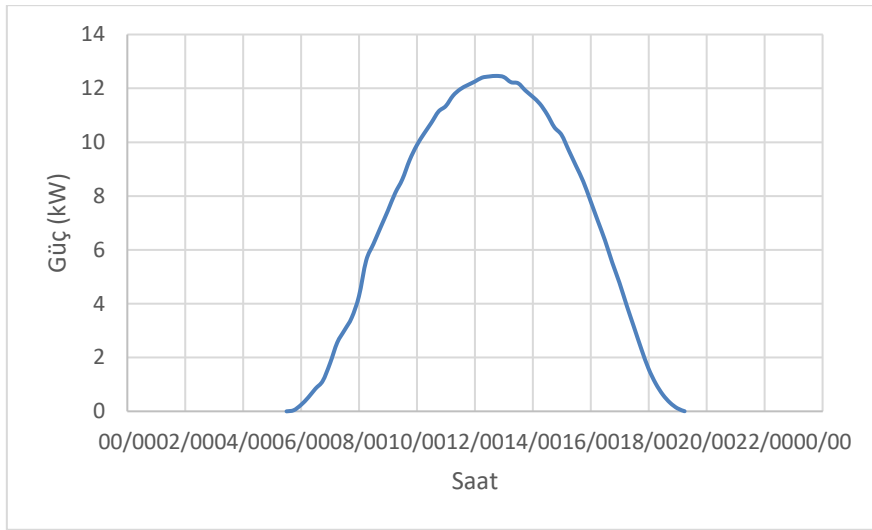
Şekil 1. Fotovoltaik sistemin genel tanımlanma bilgileri ve çatıda konumlandırılmış fotoğrafı.

Çalışmada, Şubat 2015 ve Kasım 2018 tarihleri arasında toplam 12237 gözlemden oluşan enerji üretim verisi kullanılmıştır. Her bir gözlem bir saat içerisinde üretilen ortalama güç (kW) değerini göstermektedir. Bu tarihler arasında sistem toplamda 85.750 megawatt-saat (MWh) enerji üretmiştir. Üretilen Güç (ÜG) analizde bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Enerji üretimi gün doğumu ile başlayıp gün batımı ile sona eren bir süreçtir. Bu nedenle veri seti hazırlanırken güneşin doğduğu ve ilk enerji üretiminin başladığı saatten başlayarak, enerji üretiminin bittiği saate kadar olan zaman dilimi esas alınmıştır. Çizelge 1'de üretilen güç değişkeni ile ilgili istatistiklere yer verilmiştir.

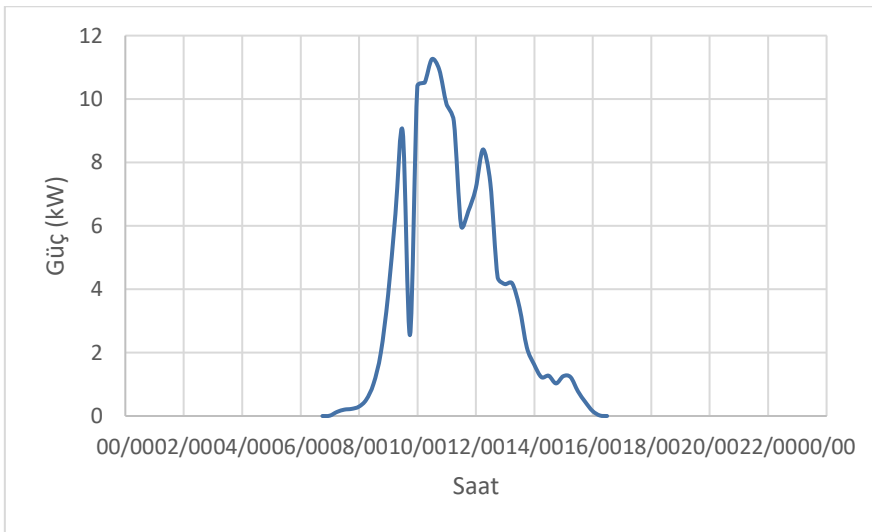
Çizelge 1. Üretilen güç değişkeni ile ilgili tanımlayıcı istatistikler

	Ortalama	Minimum	Maksimum	Değişim Aralığı	Standart Sapma
Üretilen Güç (kW)	6.12	0.01	15.33	15.32	5.03

Üretilen enerji yıl içindeki meteorolojik durumlara göre dalgalı bir seyir izlemektedir. Bu makalede yıl boyu üretilen tüm enerji göz önüne alınmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3'te yaz ve kış aylarındaki bir güne ait saatlik enerji üretim değerleri örnek olarak verilmiştir. Ağustos ayındaki bir güne ait saatlik enerji üretim eğrisinin verildiği Şekil 2'deki grafik incelendiğinde, Güneş'in doğması ile birlikte enerji üretiminin başladığı ve batışı ile birlikte enerji üretiminin sonlandığı görülmektedir. En yüksek enerji üretimi, güneş ışıklarının en dik geldiği öğlen vaktinde gerçekleşmiştir. Fotovoltaik sistemlerin enerji üretimi meteorolojik koşullardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Seçilen tarihte hava açık ve verimli bir şekilde enerji üretimi için koşullar uygundur. Havanın güneşli ve meteorolojik koşulların uygun olduğu bir günde enerji üretim seyrinin bu şekilde olması beklenmekte ve en iyi seviyede gerçekleştiği ifade edilebilmektedir.



Şekil 2. Fotovoltaik sistemin 15.08.2018 (Yaz Mevsimi) tarihindeki bir günlük enerji üretim eğrisi.



Şekil 3. Fotovoltaik sistemin 15.01.2018 (Kış Mevsimi) tarihindeki bir günlük enerji üretim eğrisi.

2018 yılı Ocak ayındaki bir güne ait saatlik enerji üretim eğrisinin verildiği Şekil 3'teki grafik incelendiğinde ise enerji üretiminin dalgalı bir seyir izlediği ve anlık meteorolojik değişimlerden ne ölçüde etkilendiği izlenebilmektedir. Bilindiği üzere güneş, yaz aylarında erken doğup geç batarken kış aylarında ise geç doğup erken batar. Bu durum kış aylarında günlük enerji üretim süresinin daha az, yaz aylarında ise daha fazla olması ile sonuçlanır. Verilen grafikler incelendiğinde de bu sonuca da ulaşmak mümkündür. İlerleyen bölümlerde hangi meteorolojik değişkenlerin üretilen enerji ile ne düzeyde bir ilişkiye sahip olduğu çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenecektir.

2.2. Meteorolojik veriler

Çalışmada Meteoroloji 14. Bölge Müdürlüğü tarafından sağlanan Van bölgesine ait meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Analizde kullanılan meteorolojik değişkenler literatürdeki çalışmalar incelenerek bu alanda yaygın olarak kullanılan değişkenlerden seçilmiştir. Analizde Saatlik Güneşlenme Şiddeti (SGŞ), Saatlik Nispi Nem (SNN), Saatlik Rüzgâr Hızı (SRH), Saatlik Sıcaklık (SS), Saatlik Bulutluluk (SB) değişkenleri kullanılmıştır. Elde edilen Şubat 2015 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki saatlik meteorolojik veriler fotovoltaik sistemin ürettiği aynı zaman dilimine ait ÜG değişkeni ile eşleştirilerek tahminde kullanılacak veri seti oluşturulmuştur. Tahminde ÜG değişkeni bağımlı değişken, meteorolojik değişkenler ise bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Üzerinde çalışılan meteorolojik değişkenlerin birimleri ve değer aralıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Meteorolojik değişkenlerin üretilen güç üzerindeki etkisinin incelenmesi adına literatüre bakıldığında, her değişken için beklenti şu şekildedir; fotovoltaik panellerden elde edilen enerji ile güneşlenme şiddetinin yüksek bir ilişki içerisinde olduğu görülmekte ve bir çok çalışmada bu değişken doğrudan enerji üretimi tahmininde bağımlı değişken olarak kullanılmaktadır (Hamrouni, 2008; Nasrin & Rahim, 2018; Kara, 2019). Fotovoltaik paneller güneş ışığını soğurarak enerji üretir. Panel üzerinde biriken nem tabakası bu soğurma işlemi azaltıcı etkiye sahiptir. Bu nedenle, nem değişkeninin üretilen enerji ile ters orantılı olması beklenmektedir (Panjwani & Narejo, 2014). Güneş panellerinin yukarıda da bahsedildiği gibi sıcaklığı arttıkça veriminin azalması beklenmektedir. Rüzgâr panellerin soğumasına katkı sağladığı için enerji üretiminin az da olsa artması beklenmektedir (Bhattacharya ve ark., 2014). Üretilen enerji panel sıcaklığı ile ters orantılıdır. Panel sıcaklığı artarken üretilen güç azalır. Ortam sıcaklığı ne kadar yüksek ise panel sıcaklığı da bu durumdan etkilenecek ve verimi düşecektir. Sıcaklık değişkeninin üretilen güç ile ters orantılı olması beklenmektedir (Razak ve ark., 2016; Adak ve ark., 2019). Yapılan çalışmalarda bulutluluk değişkeninin üretilen enerji ile doğrudan bir ilişki içerisinde olmadığı gösterilmiştir. Yıl genelinde incelendiğinde çok az da olsa üretimi etkilediği görülse de, günlük olarak değerlendirildiğinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Bulutluluk değişkeninin az da olsa üretimi azaltıcı etkiye sahip olması beklenmektedir (Chrobak ve ark., 2018).

Çizelge 2. Meteorolojik değişkenlerin birimleri ve değer aralıkları

Meteorolojik Değişkenler	Değer Aralıkları
Saatlik Güneşlenme Şiddeti (cal/cm ²)	0.0 – 94.15
Saatlik Nispi Nem (%)	6.0 – 99.0
Saatlik Rüzgâr Hızı (m/sn)	0.0 – 8.8
Saatlik Sıcaklık (°C)	-16.3 – 34.6
Saatlik Bulutluluk (okta)	0.0 – 9.0

Analizde kullanılan meteorolojik değişkenler ile ilgili tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Meteorolojik değişkenler ile ilgili tanımlayıcı istatistikler

	Ortalama	Minimum	Maksimum	Değişim Aralığı	Standart Sapma
SGŞ	32.98	0.00	94.15	94.15	26.30
SNN	45.70	6.00	99.00	93.00	18.38
SRH	1.83	0.00	8.80	8.80	1.15
SS	14.52	-16.3	34.6	50.90	9.59
SB	3.16	0.00	9.00	9.00	2.35

2.3. Çoklu doğrusal regresyon analizi

Fotovoltaik sistemlerin güç üretimi çeşitli dış faktörlerden etkilenen bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılarak, fotovoltaik sistemin ürettiği gücün, meteorolojik değişkenlerle olan nedensel ilişkisi tespit edilmiştir.

Regresyon analizi istatistiksel modelleme yöntemlerinden biridir. Farklı bilim dallarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çoklu doğrusal regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin, bir bağımlı değişkendeki toplam değişimin ne kadarını açıkladığı doğrusal bir matematiksel model kullanılarak analiz edilir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi temsil eden doğrusal matematiksel model en genel haliyle Denklem (1)'de gösterildiği gibidir.

$$Y = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Bu çalışmada regresyon katsayılarının hesaplanmasında en küçük kareler (EKK) yöntemi kullanılmaktadır. Yukarıdaki denklemde Y bağımlı değişkeni, X_i bağımsız değişkeni, α ve β_i regresyon denkleminin katsayıları, k bağımsız değişken sayısını, ε_i hata terimini temsil etmektedir. Modelin başarısını ölçmede R^2 ile ifade edilen belirlilik katsayısı kullanılır. Bu katsayı denklemin başarısını ölçtüğü gibi, denklemin tahmin gücünü de yansıtan bir istatistiktir (Günel, 2004). Regresyon analizi için gerekli varsayımların karşılanması durumunda, EKK tahmin edicileri yansız ve minimum varyans özelliklerini taşımaktadır. Yani EKK tahmin edicilerinin varyansı diğer yöntemler ile hesaplanacak tahmin edicilerin varyansları arasında en küçük değere sahip olacaktır.

3. Bulgular

İstatistiksel modellemede çoklu doğrusal regresyon analizi sıklıkla tercih edilmektedir. Genellikle model parametrelerinin tahmininde EKK yöntemi kullanılmaktadır. Ancak, EKK tahmin edicilerinin yansız ve minimum varyans özelliklerini göstermesi için bazı kısıtlar (varsayımlar) sağlanmalıdır. Bu varsayımların ihlali, gerçekleştirilen analiz ile elde edilecek sonuçların güvenilirliğini zayıflatacak ve hatalı sonuçların elde edilmesine neden olacaktır. Bu bölümde regresyon modeli kurulmadan önce sırasıyla, verinin durağan olup olmadığı incelenmiş, model tahmin edildikten sonra ise hata terimleri için normallik ve otokorelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çoklu doğrusal bağlantı durumu da incelenmiştir.

3.1. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları

Granger & Newbold (1974) tarafından zaman serisi analizlerinde durağanlığın yeni başlayan araştırmacılar tarafından genellikle ihmal edildiği bildirilmektedir. Durağanlığın ihmal edilmesi hatalı sonuçlara ve sahte regresyona neden olmaktadır. Sahte regresyonun tanımlanmasındaki temel kural ise yüksek bir R^2 değeri ve ona eşlik eden düşük (0 'a yakın) bir Durbin Watson (DW) değeridir. Zaman serisi verileri üzerinde gerçekleştirilen regresyon analizlerinde bu şekilde değerler elde edilmesi bağımlı değişkenin otokorelasyona sahip olduğunu göstermektedir.

Durağan olmayan zaman serilerinin durağan hale getirilmesinde fark alma işlemi uygulanabilmektedir. Fark alma işlemi Denklem (2)'de gösterildiği şekildedir.

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \quad (2)$$

Denklem (2)'de Δy_t ilk fark olarak adlandırılır ve bu işlem sonucunda durağan bir süreç elde edilirse I(1) olarak gösterilir. Denklemde gösterilen y_t verinin t anındaki değerini, y_{t-1} ise t-1 anındaki yani bir önceki zamandaki değerini temsil etmektedir. Bazı durumlarda daha fazla fark almak gerekebilir. Durağan bir zaman serisi elde etmek için p sayıda fark almamız gerekiyorsa bu durumda $I(p)$, $p \in N$ şeklinde ifade edilir (Baumohl ve Lyocsa, 2009). Bu çalışmada fark işlemi uygulanmadan gerçekleştirilen analizde yukarıda bahsedildiği gibi yüksek bir R^2 (0.828) ve düşük bir DW (0.010) değeri elde edilmiştir. Çalışma daha sonra bağımlı değişken üzerinde Δy_t şeklinde birinci dereceden fark alma işlemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Meteorolojik değişkenlerin (SGŞ, SNN, SRH, SS, SB), ÜG üzerindeki etkisinin incelenmesi adına kurulan regresyon modeli istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($F=1958.888$ | $p<0.05$). Modelde bağımlı değişken ÜG olarak tanımlanmış ve geri kalan beş değişken (SGŞ, SNN, SRH, SS, SB) ise bağımsız değişken olarak belirlenmiştir. Modele ilişkin sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları

Model 1	$\hat{\beta}$	SH	$\hat{\beta}$	t	Sig.	VIF
Sabit	-4.117	0.245		16.810	<0.001	
SGŞ	0.152	0.002	0.658	133.553	<0.001	1.547
SNN	-0.009	0.003	-0.026	-12.501	0.012	2.459
SRH	0.135	0.042	0.026	8.458	0.002	1.440
SS	-0.037	0.006	-0.059	-33.014	<0.001	2.033
SB	-0.062	0.021	-0.024	0.0187	0.003	1.440

$R^2=0.445$ | $\bar{R}^2=0.444$ | Std. E. E.=4.524 | F:1958.888 | Durbin-Watson=2.021

Regresyon Modeli

$$\widehat{\Delta \text{ÜG}} = -4.117 + 0.658\text{SGŞ} - 0.026\text{SNN} + 0.026\text{SRH} - 0.059\text{SS} - 0.024\text{SB}$$

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilecek t ve F istatistiklerinin anlamlılığı ve güvenilirliği, hata terimlerinin normal dağıldığı varsayımına bağlıdır. Aksi durumda küçük veya büyük örnekler üzerinde yapılan testler geçerliliğini yitirecektir. Normal dağılım analizi için literatürde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada Jarque-Bera (JB) testi kullanılmıştır. JB istatistiği Denklem (3)'te gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$JB = n \left[\frac{S^2}{6} + \frac{(K - 3)^2}{24} \right] \quad (3)$$

Jarque & Bera (1987), büyük örneklerde JB istatistiğinin değerinin 2 serbestlik derecesinde Ki-Kare (χ^2) dağılımına sahip olduğunu göstermişlerdir. Denklemdeki n değeri gözlem sayısını, S değeri çarpıklık değerini, K değeri ise basıklık değerini temsil etmektedir. H_0 (Hatalar normal dağılır) hipotezi altında JB istatistiği kullanılarak hesaplanan p değeri alfa (α) anlamlılık düzeyinden küçük ise H_0 hipotezi reddedilir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen hata terimlerinin normal dağılıp dağılmadığı varsayımını saptamak adına yapılan JB analizinde çarpıklık (S) değeri -0.022 basıklık (K) değeri ise 3.043 olarak bulunmuştur. Denklem (3)'te yerine koyulan bu değerler ile JB istatistiği 2.160 olarak bulunmuş ve buna bağlı p değeri ise 0.339 olarak bulunmuştur. Elde edilen p değeri 0.05'den büyük olduğu durumda hata terimlerinin normal dağıldığı kabul edilir. Yapılan test sonucunda hata terimlerinin normal dağıldığı görülmüştür.

Regresyon analizi için temel varsayımlardan biri de hata terimlerinde otokorelasyon olmamasıdır. Bunun tespiti için kullanılan en yaygın test Durbin & Watson (1951) tarafından geliştirilen ve literatürde Durbin Watson d (DW) istatistiği olarak bilinen testtir. Bu test Denklem (4)'te gösterildiği şekilde tanımlanır.

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n} \hat{u}_t^2} \quad (4)$$

Denklem (4)'te gösterildiği şekilde d istatistiği ardışık artıkların farklarının kareleri toplamının, artık kareleri toplamına bölünmesi ile elde edilir. Denklem pay kısmında gözlem sayısı bir eksiktir. Bunun nedeni, ardışık artıkların farkı alırken bir gözlemin kaybedilmesidir. DW istatistiğinin büyük bir avantajı, regresyon analizinde rutin olarak hesaplanan tahmini artıklara dayanmasıdır. Bu avantaj nedeniyle R^2 , düzeltilmiş R^2 , t ve F gibi özet ölçülerle birlikte yaygın olarak raporlanmaktadır (Gujarati & Porter, 2009).

Analizde bağımlı değişken üzerinde birinci dereceden fark alma işlemi uygulandığında R^2 değeri 0.44 ve DW değeri ise 2.021 olarak elde edilmiştir. Bu değerler yukarıda bahsedilen sahte regresyon durumunun ortadan kalktığını ve yanıltıcı sonuçların önüne geçildiğini göstermektedir. DW değerinin 2'ye çok yakın olduğu durumlarda, otokorelasyon olmadığı sonucuna varılır. DW test istatistiği değeri için Savin-White tablosuna bakılarak otokorelasyon düzeyi incelenir.

Çoklu doğrusal regresyon analizinin bir diğer varsayımı ise bağımsız değişkenler arasında ilişkililerin bulunmamasıdır. Bu duruma çoklu doğrusal bağlantı (Multicollinearity) adı verilmekte ve istenmeyen bir durumdur. Bu durumun saptanmasında kullanılan birkaç yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan biri de Varyans Şişme Faktörü (Variance Inflation Factor-VIF) kullanılmasıdır (Gujarati, 1995). VIF değerinin hesaplanması için Denklem (5)'te verilen üç bağımsız değişkenli bir çoklu doğrusal regresyon denklemini inceleyelim.

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + e_i \quad (5)$$

Denklem (5)'te verilen değişkenlerden ilk olarak x_1 bağımlı, x_2 ve x_3 bağımsız değişken olarak alınıp modelin R_1^2 'si hesaplanır ve $VIF(x_1) = 1/(1-R_1^2)$ olarak bulunur. Diğer değişkenler içinde x_2 bağımlı, x_1 ve x_3 bağımsız aynı şekilde x_3 bağımlı, x_2 ve x_1 bağımsız olacak şekilde aynı işlemler uygulanır ve VIF değerleri her bir değişken için hesaplanır. VIF değeri 10'un altında ise çoklu doğrusal bağlantı problemi olmadığı kabul edilir (Kunter ve ark., 2004). VIF değeri 10 ve üzerine çıktıkça çoklu doğrusal bağlantı da o derecede artmaktadır. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlere ait VIF değerleri Çizelge 4'te raporlanmıştır.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde kullanılan değişkenlerin p değerleri 0.05 anlamlılık düzeyinden düşük çıkmıştır. \hat{B} standartlaştırılmamış veriler üzerinden gerçekleştirilen modelin katsayılarını ifade etmekte iken, $\hat{\beta}$ standartlaştırılmış veriler üzerinden her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini açıklamaktadır. SH standart hatayı temsil ederken, Std. E. E. ise standart tahmin hatasını göstermektedir.

Modelin belirlilik katsayısı R^2 0.445 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, meteorolojik değişkenlerin modeldeki açıklama gücü %44.5'dir. Diğer değişkenler sabit tutulduğunda SGŞ değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde 0.658 birim artışa neden olduğu, SNN değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde -0.026 birim azalışa, SRH değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde 0.026 birim artışa, SS değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde -0.059 birim azalışa, SB değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde -0.024 birim azalışa neden olduğu görülmektedir.

Bölüm 2.2'de açıklanan meteorolojik değişkenlerin üretilen güç üzerindeki etkisine dair beklentilerin, yapılan analizden sonra ortaya çıkan sonuçlar ile örtüştüğü görülmüştür. Yapılan çalışmada üretilen enerjiye hangi meteorolojik değişkenin ne yönde ve ne kadar etki ettiği görülmüştür. Sırasıyla, SGŞ değişkeninin enerji üretiminde en fazla katkıya sahip olduğu, SS değişkeninin pozitif yönde etki ettiğini, SNN ve SRH değişkenlerinin üretilen güç üzerinde etkisi aynı olmakla beraber, SNN'nin üretilen güçü negatif yönde etkilerken, SRH'nin pozitif yönde etkilemekte olduğu, SB değişkeninin de en az etkiye sahip olmakla beraber, negatif yönde etki ettiği görülmüştür.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde kurulu bulunan fotovoltaik sistemin enerji üretimine meteorolojik değişkenlerin etkisi analiz edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında sistemlerin kurulu bulunduğu konumlara bağlı fiziksel koşullar ve kısıtlardan dolayı güç üretimi tahmini modellerinde kullanılan meteorolojik değişkenler farklılık göstermektedir. Dolayısıyla dünyanın farklı ülkelerindeki sistemlerin güç üretimi potansiyellerinin açıklanabilmesi ait olduğu konumlara özel fiziksel koşullara ve kısıtlara bağlıdır. Bu çalışmada Van bölgesine ait veriler kullanılmış ve konuma bağlı enerji üretimini etkileyen meteorolojik değişkenler ve bu değişkenlerin üretilen güç ile ilişkisi ortaya koyulmuştur.

Fotovoltaik enerji alanında yapılan benzer çalışmalarda, verilerin durağan olduğu ve olmadığı durumlarda regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve durağan olmayan seriler üzerinde gerçekleştirilen analizlerin, aralarında anlamlı bir doğrusal ilişki olmasa da, değişkenler arasında güçlü bir ilişkinin var olduğu sonucuna varılmasına neden olabildiği görülmüştür (Ramenah ve ark., 2018). Regresyon analizinin kullanıldığı farklı alanlardaki çalışmalarda da bu durum ortaya koyulmuştur. Baumohl ve Lyocsa (2009) tarafından yapılan bir çalışmada BUX, WIG, PX, SAX endekslerinin kapanış fiyatları analiz edilmiştir. Durağan olmayan bu seriler olduğu gibi analiz edildiğinde yüksek bir R^2 ve düşük bir DW değeri elde edilirken, seriler durağanlaştırıldıktan sonra ise elde edilen R^2 değerleri daha düşük ve DW değerleri ise daha yüksek bulunmuştur. Literatürde yapılan bu ve benzeri çalışmalarda vurgulanmak istenen, durağan olmayan bir serinin durağan kabul edilmesi ile yapılacak çalışmalarda yanıltıcı sonuçlar elde edilebileceğidir. Granger & Newbold (1974), regresyon analizinin temel varsayımlarından biri olan otokorelasyon durumunun göz ardı edildiği çalışmalarda R^2 'nin yüksek çıktığından bahsetmişlerdir. Bu çalışmada otokorelasyon göz önüne alınmadan kurulan modelde R^2 %82.8 olarak bulunmuş, otokorelasyon durumu ortadan kaldırıldıktan sonra ise R^2 %44.5 bulunmuştur.

Literatürde yenilenebilir enerji alanında kurulan sistemlerin enerji üretiminin tahmini için birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmaların birçoğunda sistemlerin kurulu bulunduğu konumlara ait meteorolojik değişkenler enerji tahmini için kullanılmaktadır. Van bölgesinin meteorolojik değişkenlerinin kullanıldığı bu çalışmanın, ileride bu bölgede yapılacak enerji üretim tahmini çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Van bölgesi güneşlenme süresi bakımından Türkiye'de ilk sıralardadır. Bu potansiyelin doğru şekilde kullanılabilmesi bölgemiz ve ülkemiz açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu alanda bölgemizin sahip olduğu meteorolojik ve fiziki koşullar göz önüne alınarak yapılacak bilimsel çalışmalar sistemlerin doğru planlanması açısından faydalı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, fotovoltaik panel verilerini tarafımızla paylaşan ve değerli görüş ve önerileri ile katkıda bulunan, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Güneş Enerji Santrali Projesi yürütücüsü Sayın Prof. Dr. Naci GENÇ'e teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Adak, S., Cangi, H., & Yılmaz A. S. (2019). Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 316-327.
- Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Urraca, R., Martinez-de-Pison, F. J., & Antonanzas-Torres, F. (2016). Review of photovoltaic power forecasting. *Solar Energy*, 136, 78-111. [doi:10.1016/j.solener.2016.06.069](https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.069)
- Arslan, G., Bayhan, B., & Yaman, K. (2019). Mersin/Türkiye için ölçülen global güneş ışınımının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi ve yaygın ışınım modelleri ile karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 80-96. [doi:10.29109/gujsc.419473](https://doi.org/10.29109/gujsc.419473)
- Ayan, İ., & Mehtap, S. (2018). *Fotovoltaik sistemin yapay zeka algoritması ile güç tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kırklareli, Türkiye.
- Baumohl, E., & Lyocsa, S. (2009). Stationarity of time series and the problem of spurious regression. Available at SSRN 1480682.

- Benghanem, M., & Joraid, A. A. (2007). A multiple correlation between different solar parameters in Medina, Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 32(14), 2424-2435. [doi:10.1016/j.renene.2006.12.017](https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.12.017)
- Bhattacharya, T., Chakraborty, A. K., & Pal, K. (2014). Effects of ambient temperature and wind speed on performance of monocrystalline solar photovoltaic module in Tripura, India. *Journal of Solar Energy* 2014, ID:817078
- Chang, K., Siddiqui, A., & Slater, R. (2019). Forecasting localized weather-based photovoltaic energy production. *SMU Data Science Review*, 2(2), 2. <https://scholar.smu.edu/datasciencereview/vol2/iss2/2> Erişim tarihi: 03.01.2020.
- Chrobak, P., Skovajsa, J., & Zalesak, M. (2016). Effect of cloudiness on the production of electricity by photovoltaic panels. In MATEC Web of Conferences (Vol. 76, p. 02010). EDP Sciences.
- DAKA (2008). Güneş enerjisi sektör raporu, https://www.daka.org.tr/panel/files/files/yayinlar/gunes_sektorel.pdf Erişim tarihi: 22.12.2019.
- De Giorgi, M. G., Congedo, P. M., & Malvoni, M. (2014). Photovoltaic power forecasting using statistical methods: impact of weather data. *IET Science, Measurement & Technology*, 8(3), 90-97. [doi:10.1049/iet-smt.2013.0135](https://doi.org/10.1049/iet-smt.2013.0135)
- Deniz, E., & Atik, K. (2007). Güneş ışınım şiddeti tahminlerinde yapay sinir ağları ve regresyon analiz yöntemleri kullanımının incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 27(2), 15-20.
- Durbin J. & Watson G. S. (1950). Testing for Serial Correlation in Least-Squares Regression: I. *Biometrika*, 37(3/4), 159-171.
- GEPA (2020). Güneş enerjisi potansiyel atlası, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> Erişim tarihi: 20.12.2019.
- Granger, C.W. & Newbold, P. (1974). Spurious Regressions in Econometrics. In: *Journal of Econometrics*, 1974, vol. 2, no. 2, p. 111 – 120. ISSN 0304-4076
- Gujarati, D. N., & Porter, D. (2009). *Basic Econometrics*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Gujarati, D. N. (1995). *Basic Econometrics, 3rd Ed*. McGraw-Hill, New York
- Günel, A. (2004). Regresyon denkleminin başarısını ölçmede kullanılan belirleme katsayısı ve kritiği. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 4(2), 133-140.
- Hamrouni, N., Jraidi, M., & Chérif, A. (2008). Solar radiation and ambient temperature effects on the performances of a PV pumping system. *Revue des Energies Renouvelables*, 11(1), 95-106.
- Hiyama, T., & Kitabayashi, K. (1997). Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environmental information. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 12(3), 241-247. [doi:10.1109/60.629709](https://doi.org/10.1109/60.629709)
- Jarque, C. M. & Bera, A. K. (1987). A Test for Normality of Observations and Regression Residuals. *International Statistical Review*, (55), 163-172.
- Kara, A. (2019). Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Global Güneş Işınımı Zaman Serileri Tahmini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(4), 882-892.
- Nasrin, R., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2018). Effect of high irradiation on photovoltaic power and energy. *International Journal of Energy Research*, 42(3), 1115-1131.
- Panjwani, M. K., & Narejo, G. B. (2014). Effect of humidity on the efficiency of solar cell (photovoltaic). *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4), 499-503.
- Qing, X., & Niu, Y. (2018). Hourly day-ahead solar irradiance prediction using weather forecasts by LSTM. *Energy*, (148), 461-468. [doi:10.1016/j.energy.2018.01.177](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.177)
- Ramenah, H., Casin, P., Ba, M., Benne, M., & Tanougast, C. (2018). Accurate determination of parameters relationship for photovoltaic power output by augmented dickey fuller test and engle granger method. *AIMS Energy*, 6(1), 19-48.
- Razak, A., Irwan, Y. M., Leow, W. Z., Irwanto, M., Safwati, I., & Zhafarina, M. (2016). Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(5), 682-688.
- REN21 (2019). *Renewables 2019 Global Status Report*, Paris, REN21 Secretariat.
- Taşçıoğlu, A. (2015). *Monokristal ve polikristal güneş panellerinin bursa koşullarındaki güç performansı üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bursa, Türkiye.

Wang, K., Qi, X., & Liu, H. (2019). A comparison of day-ahead photovoltaic power forecasting models based on deep learning neural network. *Applied Energy*, 251, 113315. [doi:10.1016/j.apenergy.2019.113315](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113315)