Adıyaman University
Journal of Engineering Sciences
Adyü J Eng Sci 2025;12(27):416-425
Adıyaman Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
Adyü Müh Bil Derg 2025;12(27):416-425
https://doi.org/10.54365/adyumbd.1705664

Research Article / Araştırma Makalesi

Yapay Sinir Ağları ile Yenilenebilir Güneş Enerjisi Kaynağının Öngörüsü

Prediction of Renewable Solar Energy Source With Artificial Neural Networks

Ahmet Nur [1*], Bayram Güre [1], Sabir Rüstemli [1] Özlem Bezek Güre [2]

[1]Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye
[2]Batman Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler Ve Teknikler Bölümü, Batman, Türkiye

Öz

Elektrik enerjisi, ekonomik kalkınma ve teknolojik ilerlemenin temel unsurlarından biridir. Mevcut enerji alternatifleri arasında, özellikle güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, çevresel etkilerinin düşük olması nedeniyle öne çıkmakta ve küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli rol oynamaktadır.Yenilenebilir kaynaklar arasında yer alan güneş enerjisi sistemlerinde enerji üretimi; güneşlenme şiddeti, ortam sıcaklığı, nem ve rüzgar hızı gibi birçok meteorolojik ve çevresel değişkenden etkilenmektedir.

Bu çalışmada, fotovoltaik bir sistemdeki enerji üretimini yüksek doğrulukla tahmin edebilmek amacıyla yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir model geliştirilmiştir. Modelin oluşturulması ve doğrulanması sürecinde, Kaggle veri tabanından elde edilen 4212 örnek ve 21 girdi değişkeninden oluşan açık kaynaklı bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti %70 eğitim ve %30 test verisi olarak ayrılmıştır. Modelin performansı; Ortalama Kare Hata (MSE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Belirleme Katsayısı (R^2) gibi istatistiksel hata kriterleri kullanılarak ölçülmüştür. Bu çalışma fotovoltaik sistem verimliliği üzerinde etkili olan güneş parametrelerinin önemini araştırıp değerlendirerek literatüre katkıda bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Güneş enerjisi, Yapay sinir ağları, PV üretim, Kaggle verisi*

Abstract

Electrical energy is one of the fundamental elements of economic development and technological progress. Among the existing energy alternatives, renewable energy sources, especially solar energy, stand out due to their low environmental impact and play an important role in combating global climate change. Energy production in solar energy systems, which are among the renewable resources, is affected by many meteorological and environmental variables such as insolation intensity, ambient temperature, humidity and wind speed.

In this study, an artificial neural network based model was developed to predict the energy production in a photovoltaic system with high accuracy. In the creation and validation process of the model, an open-source dataset consisting of 4212 samples and 21 input variables obtained from the Kaggle database was used. The dataset was divided into 70% training and 30% test data. The performance of the model was measured using statistical error criteria such as Mean Square Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Coefficient of Determination (R^2). This study has contributed to the literature by investigating and evaluating the importance of solar parameters that affect the efficiency of photovoltaic systems.

Keywords: *Solar energy, Artificial neural networks, PV production, Kaggle data*

* Sorumlu yazar e-posta (Corresponding e-mail): anur@beu.edu.tr
Geliş Tarihi (Received):24.05.2025, **Kabul Tarihi (Accepted):** 03.11.2025

1. Giriş

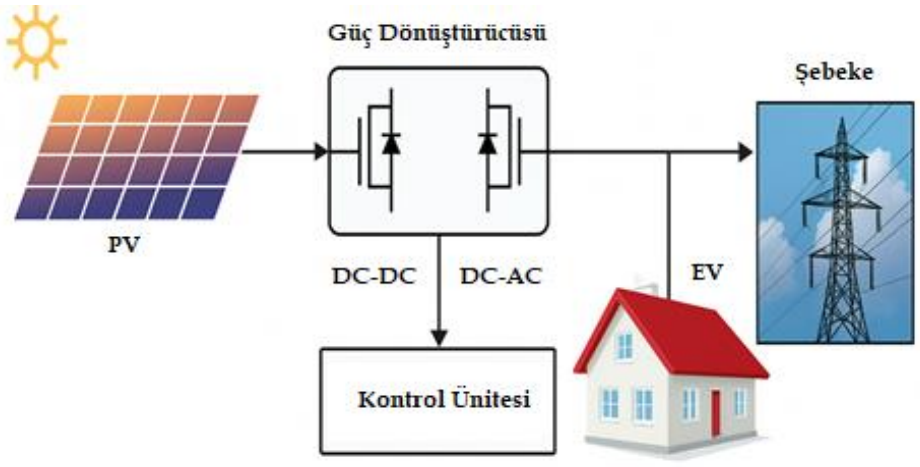
Enerjinin ekonomik kalkınmadaki önemi evrensel olarak kabul edilmiştir. Günümüz verileri enerjinin mevcudiyeti ile ekonomik faaliyet arasında güçlü bir ilişki olduğunu kanıtlamaktadır. Geçtiğimiz yirmi yıl boyunca çevresel bozulma riski ve gerçeği daha belirgin hale gelmiştir. İnsan faaliyetlerinin çevresel etkisi, dünya nüfusunun artışı, endüstriyel faaliyetlerin vb. artması nedeniyle çevre sorunları dramatik bir şekilde büyümüştür [1]. Günümüzde karşılaşılan çevre sorunlarına çözüm bulmak, sürdürülebilir kalkınma için uzun vadeli potansiyel eylemler gerektirmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları en verimli ve etkili çözümlerden biri olarak görülmektedir [2, 3].

Güneş enerjisi, hidroelektrik, rüzgâr enerjisi ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının dikkate alınıp yaygınlaştırılması çevre korunması açısından önemlidir. Güneş enerjisi, elektrik enerjisine dönüşen yenilenebilir enerjinin temiz bir formudur. Güneş dünyaya ısı ve ışık şeklinde ulaşır. Güneş en bol yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi santralleri yeşil enerji olarak da adlandırılır. Fakat güneş enerjisi üretiminin iklime bağlı olması, kurulum maliyeti ve düşük verimlilik gibi birçok dezavantajı da vardır [4]. Güneş enerjisi, birçok farklı uygulama alanında kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Bu enerji, fotovoltaik (PV) sistem teknolojileri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Güneş enerjisi otellerde, hastanelerde, pansiyonlarda vs. su ısıtmak için kullanılır [5]. Güneş enerjisi tarımda ürünleri kurutmak ve gıda maddelerinin yapımında da yardımcı olur. Yine toplu taşımada, sokak aydınlatmasında da yaygın olarak kullanılır [6].

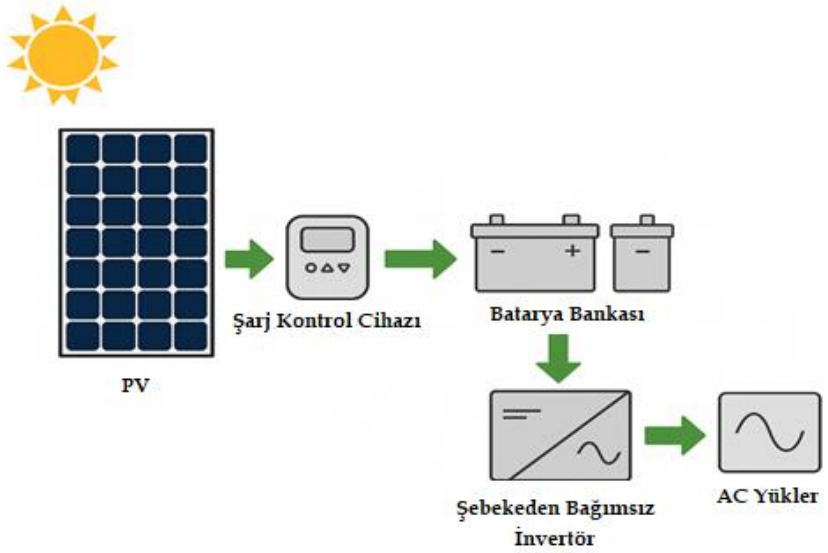
Fotovoltaik sistemler; güneş hücresi modülleri, aküler, inverterler, batarya şarj kontrol üniteleri ve uygulamaya bağlı olarak çeşitli elektronik destek devrelerinden oluşmaktadır. PV sistemlerin temel avantajları arasında sessiz çalışma, çalışırken karbondioksit salınımı yapmama, modüler yapı sayesinde ölçeklenebilirlik ve kolay kurulum yer almaktadır. Fotovoltaik panellerin maliyetlerindeki hızlı düşüş, bu teknolojinin yaygınlaşmasında önemli rol oynamıştır [7]. Fotovoltaik sistemler iki ana yapıda kurulabilmektedir. Bunlar şebeke bağlantılı (on-grid) sistemler ve şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler. Şekil 1'de görüldüğü gibi şebeke bağlantılı sistemlerde, sistem elektrik şebekesinden hem enerji alınabilmekte hem de ihtiyaç fazlası enerji şebekeye satılabilmektedir. Şebekeden bağımsız sistemlerde ise Şekil 2'de görüldüğü gibi enerji doğrudan kullanılmakta veya depolama sistemleri ile birlikte tasarlanmaktadır [8, 9].

Hava koşulları, coğrafi konum, gün boyunca maksimum güneş ışığına erişim, elektrik üretimindeki dalgalanmalar bazı sınırlamalardır ve şebekeye bağlandığında dalgalanmalar en önemli sınırlama olarak kabul edilir [10, 11]. Bu nedenle, zorlukların üstesinden gelinirken önemli bir rol oynayan güneş enerjisi tahmini gereklidir [12]. Anlamlı bir yük tahmini, şebekenin sürdürülebilirliğini sağlar ve geleneksel enerji üretiminin yedeklemesini azaltır, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve talep yanıtları için stratejilerin daha iyi koordinasyonunu sağlar, ayrıca şebeke operatörlerinin enerji kaynaklarının dağıtımını optimize etmelerini sağlar, enerji israfını ve işletme maliyetlerini sınırlar [13-15].

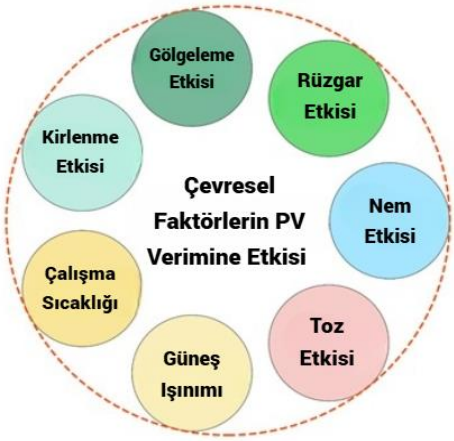
Şekil 3'te görüldüğü üzere, güneş enerjisi üretimini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında; kullanılan güneş paneli modüllerinin tipi, coğrafi konum, güneşlenme şiddeti, ortam sıcaklığı, nem oranı, kirlenme etkisi, gölgelenme etkisi, rüzgar hızı ve günlük hava olaylarındaki ani değişimler sayılabilir [16]. Bu çok değişkenli yapı nedeniyle, fotovoltaik sistemlerin yüksek verimlilikle çalışmasını sağlamak mühendislik açısından önemli bir araştırma alanıdır. Olumsuz çevresel koşulların etkilerini en aza indirebilecek ya da farklı hava şartlarında da enerji üretimini sürdürebilecek sistemlerin tasarlanması gerekmektedir. Aynı zamanda, tasarlanan bu sistemlerin üreteceği enerji miktarının düşük hata oranlarıyla tahmin edilebilmesi de kritik öneme sahiptir [17, 18].



Şekil 1. Şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistem



Şekil 2. Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistem



Şekil 3. Güneş enerjisi üretimini etkileyen faktörler

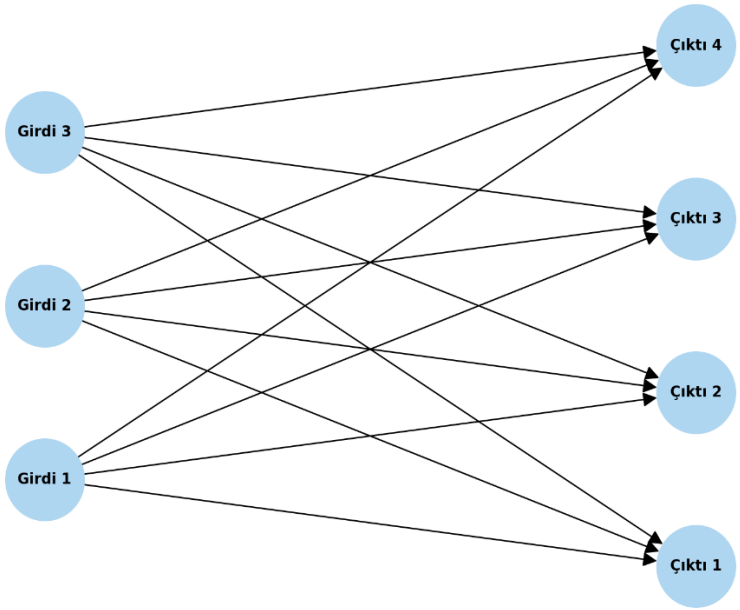
Bu çalışmada, fotovoltaik bir sistemde enerji üretimini tahmin etmek amacıyla; sıcaklık, nem, kısa dalga radyasyonu, ışınım gelme açısı, tepe noktası ve güneş açısı gibi değişkenlere göre güç tahmini yapan yapay sinir ağı mimarisine sahip bir model oluşturulmuştur. Modelleme sürecinde, Kaggle veri tabanında

yer alan güneş enerjisi üretim verisi kullanılmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağı modeli, enerji üretimini yüksek doğrulukla tahmin etmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan özel veri seti, dört farklı yapay zeka algoritması ile eğitilmiş ve elde edilen sonuçlar çok katmanlı algılayıcı yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan YSA yönteminin oldukça başarılı olduğu ve minimum hata ile sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma, günlük bazda güneş enerjisi üretimini tahmin edebilen sağlam ve güvenilir bir çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır. Önerilen inceleme literatüre, verimli ve doğru bir enerji tahmin modeli sağlayarak, sürdürülebilir enerji uygulamalarını kolaylaştırarak ve geleneksel enerji kaynaklarının yerine rekabetçi bir alternatif olarak güneş enerjisinin yaygın kullanımını teşvik ederek güneş enerjisi sistemlerinin gelişmesine katkıda bulunmaktadır.

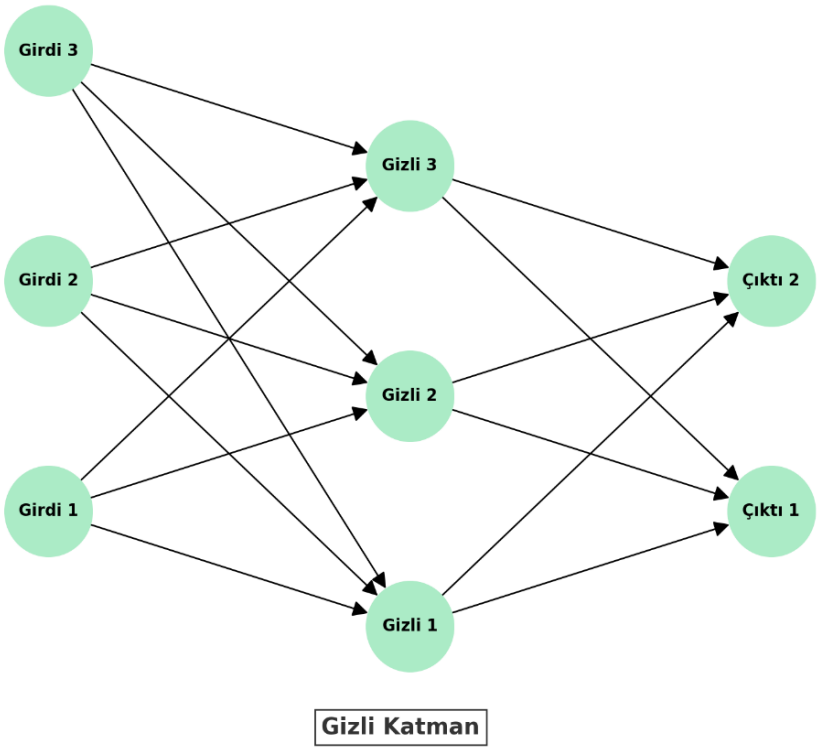
2. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks - ANN), bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ya da örüntüleri analiz etmeye yönelik yöntemler bütünü olarak tanımlanabilir. Yapay sinir ağları mühendislik başta olmak üzere eğitim, sağlık gibi birçok farklı alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu yöntemler, herhangi bir istatistiksel varsayım gerektirmemeleri nedeniyle araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Yöntemin temelinde, insan beyninin işleyişinden esinlenilmiş bir yapı yer almaktadır [19].

Yapay sinir ağlarının temelleri 1940'lı yıllarda McCulloch ve Pitts tarafından atılmış olup, zaman içerisinde elektriksel devreler ve bilgisayar tabanlı sistemler kullanılarak geliştirilmeye devam edilmiştir. Sınıflandırma ve kümeleme gibi uygulamalarda başarılı sonuçlar verdiği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir. Ayrıca tanıma, yorumlama ve teşhis amaçlı uygulamalarda da etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimi incelendiğinde, ilk olarak tek katmanlı algılayıcı yapay sinir ağlarının geliştirildiği görülmektedir [20]. Şekil 4'te görülebileceği üzere, temel tek katmanlı yapay sinir ağı hücresinin matematiksel modeli, biyolojik bir sinir hücresine kıyasla oldukça basitleştirilmiş bir yapıya sahiptir [21]. Günümüzde özellikle mühendislik alanındaki çalışmalarda çok katmanlı yapay sinir ağları tercih edilmektedir. Şekil 5'te gösterildiği üzere, çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı; giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Bu katmanların her biri, farklı sayıda nöron veya işlem birimi içerebilir. Gizli katman sayısı bir ya da birden fazla olabilir ve bu sayı, problem performansını etkileyen belirli kriterler dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Çok katmanlı yapay sinir ağlarının en önemli özelliklerinden biri de öğrenme yeteneğine sahip olmalarıdır; bu öğrenme süreci eğitim verileri üzerinden gerçekleştirilir [22].



Şekil 4. Temel tek katmanlı yapay sinir ağı



Şekil 5. Temel çok katmanlı yapay sinir ağı

3. Literatür Özeti

Fotovoltaik sistemlerde üretilecek olan enerjinin doğru şekilde tahmin edilmesi, elektrik şebekesinin güvenliğinin sağlanması ve alternatif enerji kaynaklarının mevcut rezervlerinin etkin bir şekilde depolanması açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, araştırmacılar tarafından güneş enerjisi tahminine yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. Literatürde yapay sinir ağları kullanılarak gerçekleştirilen güneş enerjisi tahmin çalışmalarına sıkça rastlanmaktadır. Premalatha ve Valan, sıcaklık, bağıl nem, atmosfer basıncı ve rüzgâr hızı parametrelerini kullanarak, güneş radyasyonunu; Levenberg-Marquardt, dirençli yayılım ve ölçeklenmiş konjüge gradyan eğitim algoritmaları ile tahmin etmişlerdir. Yadav ve Chandel, güneş radyasyonu tahminine yönelik uygun yöntemlerin belirlenmesi ve literatürdeki araştırma boşluklarının tespit edilmesi amacıyla yapay sinir ağlarına dayalı teknikleri inceleyen kapsamlı bir derleme çalışması gerçekleştirmiştir. Karaman ve ark., ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi gibi giriş parametreleri ile farklı aktivasyon ve transfer fonksiyonları kullanarak uç öğrenme makinesi modeli geliştirmiştir. Akal ve Umut, çalışmalarında sensörler aracılığıyla toplanan verileri kullanarak yapay sinir ağları ve en yakın komşu yöntemiyle makine öğrenimi gerçekleştirmiş ve fotovoltaik panel çıkış gücünü gün bazında tahmin etmişlerdir [23–27].

Saberian ve ark., güneş enerjisi sisteminde fotovoltaik modülün modellenmesi için genel regresyon yapay sinir ağı ve ileri beslemeli geri yayılımlı iki farklı yapay sinir ağı yapısı kullanmıştır. Zhu ve ark., fotovoltaik güç sistemlerinde doğrusal veya zaman serisine dayalı geleneksel tahmin modellerinin yerine, dalgacık ayrıştırması ile yapay sinir ağı yapısını birleştiren bir güç tahmin yöntemi önermiştir. Bu yöntem, fotovoltaik güç üretiminin değişken doğasına daha uygun çözümler sunmaktadır. Coşkun ve ark., fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklığını tahmin etmek amacıyla yeni bir yapay sinir ağı modeli önermiştir. Önerilen ANN modelinin eğitiminde; sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı gibi giriş parametreleri kullanılmıştır. Sağaltıcı ve ark. ise, altı farklı eğim açısıyla kurulan fotovoltaik panellerden elde edilen güç değerlerini tahmin etmek amacıyla; parçacık sürü optimizasyonu, geri yayılımlı yapay sinir ağı ve klonal seçim algoritması modellerini kullanmıştır [28–31].

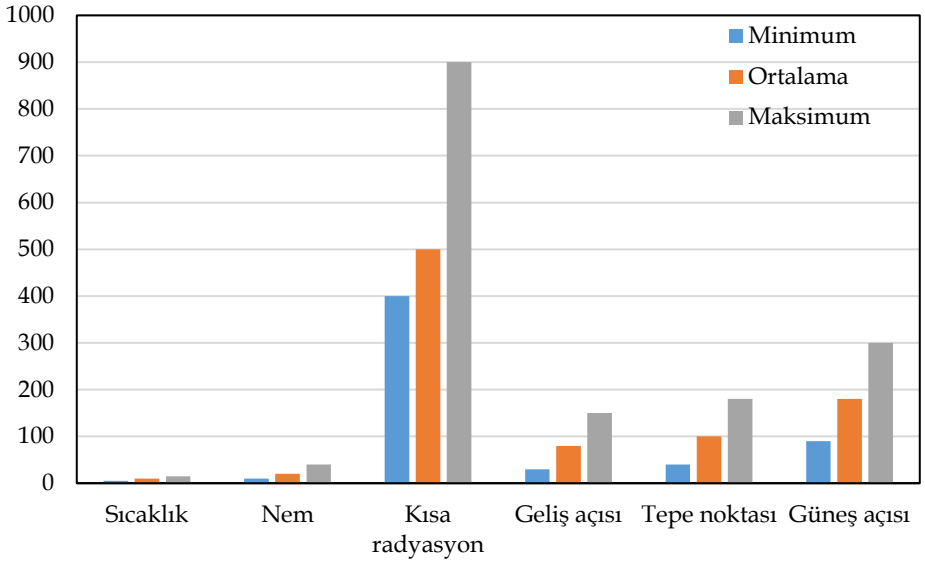
4. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, veri madenciliği yöntemlerinden biri olan yapay sinir ağları ailesi altında yer alan çok katmanlı algılayıcı modeli kullanılarak güneş enerjisi üretim gücünün tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, analizlerde Kaggle veri tabanında yer alan "Solar Energy Power Generation" başlıklı veri seti kullanılmıştır (https://www.kaggle.com/datasets/stucom/solar-energy-power-generation-dataset). Kullanılan veri seti, meteorolojik olaylara ilişkin toplam 21 değişkenden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, biri bağımlı değişken olmak üzere toplam 7 değişken analiz sürecine dâhil edilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. İlgili analizler için SPSS istatistiksel paket programı kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler

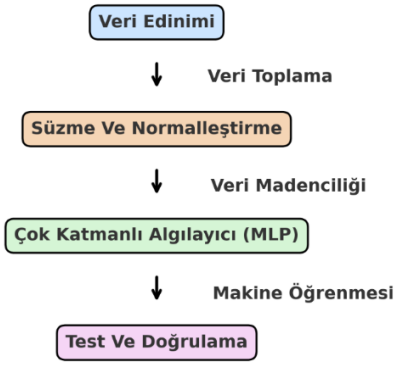
	Sıcaklık	Nem	Kısa radyasyon	Geliş açısı	Tepe noktası	Güneş açısı
Ortalama	15.06	51.36	387.76	50.83	59.98	169.16
Ortanca	14.75	48.00	381.81	47.33	62.14	163.24
Standart sapma	8.85	23.52	278.45	26.63	19.85	64.56
Değişim aralığı	40.25	93	952	117.88	110.68	234.66
Minimum	-5.35	7	0	3.75	17.72	54.37
Maksimum	34.90	100	952	121.63	128.41	289.04

Şekil 6'daki grafiği incelediğimizde kısa radyasyon, açık ara en geniş değer aralığına sahip değişkendir. Bu, farklı hava koşullarında (güneşli, kapalı, bulutlu) yoğun ölçümler alındığını gösterir. Güneş açısı, yüksek ortalama ve maksimum değeriyle, gün boyunca güneşin gökyüzündeki hareketini temsil eder. Bu değişkenin geniş varyasyonu, tahmin modeline yön verir. Sıcaklık ve nem, daha sınırlı değer aralıklarına sahiptir. Özellikle sıcaklık değişkeni negatif değerlere ulaşarak sistemin soğuk hava koşullarında da test edildiğini ortaya koymaktadır. Geliş açısı ve tepe noktası, daha dengeli dağılım göstermektedir.



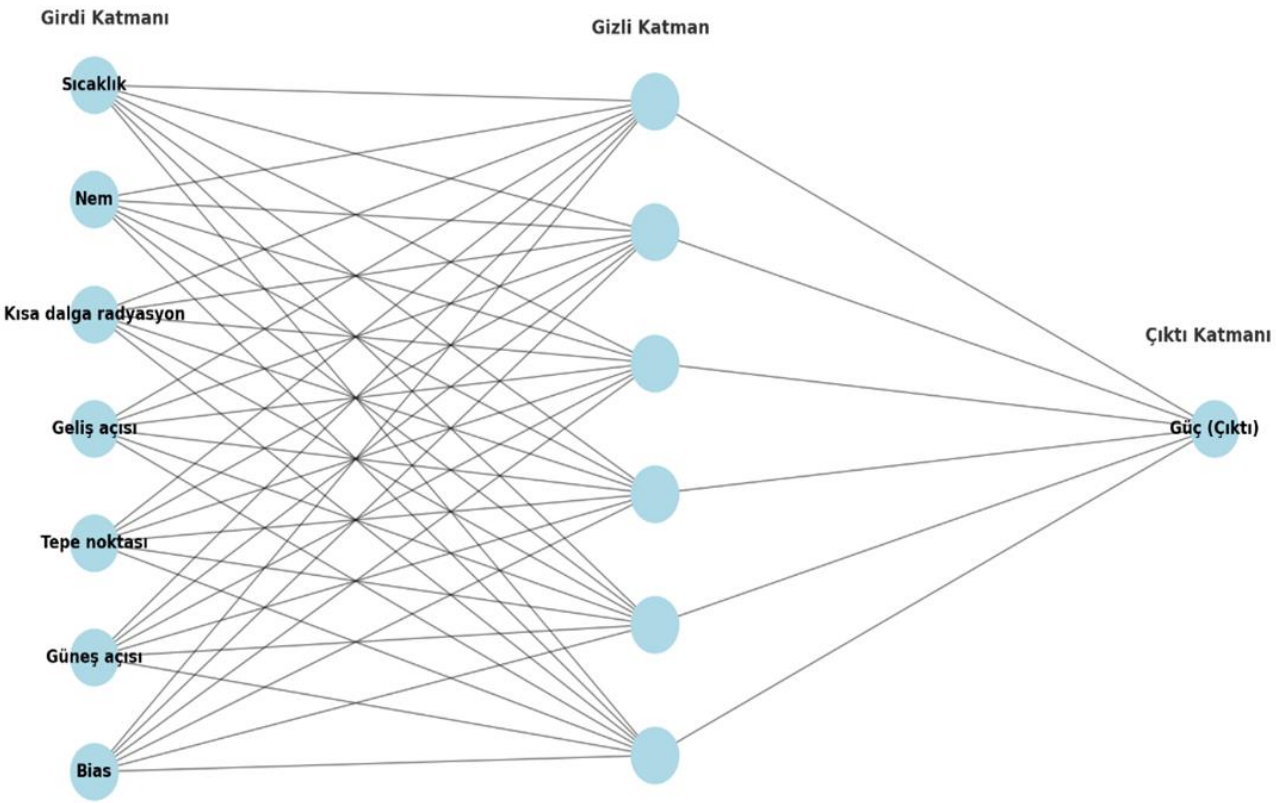
Şekil 6. Değişkenlerin minimum, ortalama ve maksimum değerleri

Önerilen çalışma çerçevesi Şekil 7'de gösterilmektedir. Çalışmada; sıcaklık, nem, kısa dalga radyasyon, ışık geliş açısı, tepe noktası ve güneş açısı değişkenleri kullanılmıştır. Analizlere başlamadan önce, bu değişkenlere logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.



Şekil 7. Güneş enerjisi tahmin süreci

Veri seti eğitim, doğrulama ve test olmak üzere iki ana bölüme ayrılmış ve oranlar sırasıyla %70 eğitim, %30 doğrulama ve test seti olacak şekilde belirlenmiştir. Ardından, analiz süreci için yapay sinir ağı yöntemi uygulanmıştır. Kullanılan yapay sinir ağı yapısı Şekil 8'de sunulmaktadır. Çalışmada gizli katman olarak hiperbolik tanjant, çıktı katmanı olarak ise özdeşlik kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

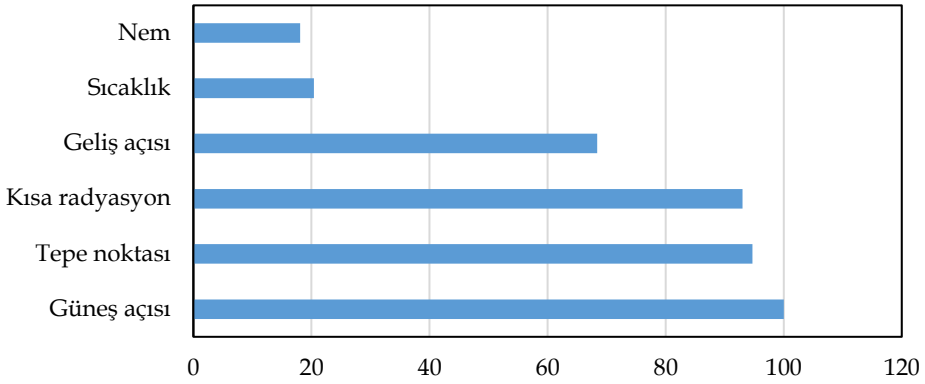


Şekil 8. Kullanılan yapay sinir ağı yönteminin ağ yapısı

Çizelge 2. Değişkenlerin önem düzeyleri

	Önem düzeyleri	**Standartlaştırılmış önem düzeyleri (%)**
Güneş açısı	0.253	100.0
Tepe noktası	0.240	94.7
Kısa radyasyon	0.236	93.0
Geliş açısı	0.173	68.4
Sıcaklık	0.052	20.4
Nem	0.046	18.1

Şekil 9'da görüldüğü gibi ilk üç değişken (güneş açısı, tepe noktası, kısa radyasyon) toplam model etkisinin %287'sini oluşturmakta olup, ana belirleyici faktörler olarak öne çıkmaktadır. Diğer değişkenler (geliş açısı, sıcaklık, nem), modelin performansını artırsa da ikinci derecede etkidedir.



Şekil 9. Değişkenlerin standartlaştırılmış önlem düzeyleri

Çalışmada kullanılan yönteme ait performans ölçütleri Çizelge 3'te sunulmuştur. Çizelge 3 incelendiğinde, yapay sinir ağı yönteminin bağımlı değişkenin %84'ünü açıkladığı görülmektedir. Kullanılan performans kriterleri açısından değerlendirildiğinde, düşük hata oranları ile başarılı bir tahmin performansı sergilediği anlaşılmaktadır. R^2 değerinin 0,80 üzeri olması modelin genel doğruluk açısından başarılı olduğunu gösterir. RMSE ve MAE değerlerinin düşük olması, doğruluk ve stabilite açısından YSA yönteminin uygun bir seçim olduğunu desteklemektedir. MSE değeri düşük ve sapmaların etkisi sınırlı olduğundan, modelimiz büyük hatalardan kaçınmaktadır.

Çizelge 3. Yöntemlere ait performans ölçütleri

Yöntem	MSE	RMSE	MAE	R2
YSA	0.59	0.77	0.42	0.84

5. Sonuç ve Değerlendirme

Giderek artan dünya nüfusu ile birlikte çevre kirliliği günümüzün en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu durum, küresel iklim değişikliklerinin ortaya çıkmasında da etkili bir rol oynamaktadır. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde olmak üzere enerji kaynaklarına olan ihtiyaç da her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan güneşten elde edilen elektrik enerjisi bu ihtiyacın karşılanmasında çevreci bir alternatif olmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde güneş enerjisinden elektrik üretim kapasitesi; başta panel özellikleri olmak üzere, doğru projelendirme, kurulum, işletme ve iklimsel koşullara bağlıdır. Güneş enerjisi dönüşüm santrallerinin uygun lokasyonlara kurulması, kurulum ve enerji maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, üretilen enerjinin doğru ve minimum hata ile tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, fotovoltaik bir sistemdeki güneş enerjisi üretiminin ileri düzeyde tahmini amacıyla; ortam sıcaklığı, bağıl nem, kısa dalga radyasyon şiddeti, ışınımın gelme açısı, tepe noktası ve güneş açısı gibi çok boyutlu iklimsel ve çevresel parametreler ile YSA tabanlı bir model kullanılmıştır. Modelleme aşamasında, Kaggle veri tabanından temin edilen geniş kapsamlı güneş enerjisi üretim verileri analiz edilerek eğitime tabi tutulmuştur. Kurulan YSA mimarisi çok katmanlı algılayıcı yapısı ile yüksek doğruluk ve güçlü genelleme kapasitesi sergilemiştir. Çalışmada ayrıca, oluşturulan özel veri seti dört farklı yapay zeka algoritması ile eğitilmiş ve algoritmalar arası performans metrikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen YSA tabanlı yöntemin minimal tahmin hatası ürettiğini ve başarılı bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Gerçek veri setleriyle desteklenen ve YSA yöntemi kullanılarak yapılan bu tahminler, kurulacak fotovoltaik sistemleri daha doğru ve güvenilir hale

getirebilir. Ayrıca elde edilen bu tahmin sonuçlarına göre enerji üretim stratejileri geliştirilebilir ve geleceğe yönelik enerji politikaları yönlendirilebilir.

Katkı Beyanı

Veri Toplama ve verilerin analizi: Bayram Güre, Analizlerin doğrulanması: Sabir Rüstemli, Bulguların yorumlanması: Tüm yazarlar.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalenin yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

[1] Şahin G, Levent I, Işık G, van Sark W, Rustemli S. Prediction and comparative analysis of rooftop PV solar energy efficiency considering indoor and outdoor parameters under real climate conditions factors with machine learning model. Computer Modeling in Engineering & Sciences 2025;143(1):1215–1248.
[2] Temiz D, Gökmen A. The importance of renewable energy sources in Turkey. International Journal of Economics and Finance Studies 2010;2(2):23–30.
[3] Kesler S, Kivrak S, Dinçer F, Rüstemli S, Karaaslan M, Ünal E, Erdiven U. The analysis of PV power potential and system installation in Manavgat Turkey: A case study in winter season. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014;31:671–680.
[4] Rani P, Taya R, Reddy VP. A review on solar energy and different electricity generations. 2023 International Conference on Power Energy, Environment & Intelligent Control (PEEIC) 2023;pp. 231–234.
[5] Vakulchuk R, Overland I, Scholten D. Renewable energy and geopolitics: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2020;122:109547.
[6] Rüstemli S, Dinçer F. Economic analysis and modeling process of photovoltaic power systems. Przegląd Elektrotech 2011;87(9a):243–247.
[7] Rüstemli S, Dinçer F. Modeling of photovoltaic panel and examining effects of temperature in Matlab Simulink. Electron Electr Eng 2011;109(3):35–40.
[8] Nourani V, Elkiran G, Abdullahi J, Tahsin A. Multi-region modeling of daily global solar radiation with artificial intelligence ensemble. Natural Resources Research 2019;28:1217–1238.
[9] Alboali J, Alsuwaid A, Aljafar M, Khalid M. Techno-economic assessment of different solar PV configurations for a typical house in Dhahran 4th International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT) 2021;pp. 1–6.
[10] Alzain E, Al-Otaibi S, Aldhyani THH, Alshebami AS. Revolutionizing solar power production with artificial intelligence: A sustainable predictive model. Sustainability 2023;15(10):1–21.
[11] Shouman ERM. Solar power prediction with artificial intelligence. In: Advances in Solar Photovoltaic Energy Systems. Gizza (Egypt): IntechOpen; 2024. ch.2:1–28.
[12] Bouquet P, Jackson I, Nick M, Kaboli A. AI-based forecasting for optimised solar energy management and smart grid efficiency. International Journal of Production Research 2024;62(13):4623–4644.
[13] Chandel P, Roy L. Solar radiation prediction based on hybrid machine learning technique. In: 3rd International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS). 2023;418–424.
[14] Hou Z, Zhang Y, Cheng X, Ye X. Photovoltaic power forecasting based on variational mode decomposition and long short-term memory neural network. Energies 2025;18:3572.
[15] Feng Z, Liu P, Niu W. Solar power generation prediction using radial basis function neural network with mode decomposition and cooperation search algorithm. Applied Soft Computing 2025;180.
[16] Serfa Juan RO, Kim J. Implementation of generalized regression neural network (GRNN) for solar panel power estimation. International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC) 2020;pp. 294–299.
[17] Rüstemli S, İlcihan Z, Şahin G, van Sark WG. A novel design and simulation of a mechanical coordinate based photovoltaic solar tracking system. AIMS Energy 2023;11(5):753–773.
[18] Künteş Ö, Güre ÖB. Investigation of work accidents occurring in the oil industry using artificial neural network. Journal of the Institute of Science and Technology 2024;14(3):1000–1012.
[19] Zhang GP. Neural networks for data mining. Data Min Knowl Disc Handb 2010;pp. 419–444.

[20] Aslan Y, Yaşar C, Nalbant A. Electrical peak load forecasting in Kütahya with artificial neural networks. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University 2006;11:63–74.
[21] Güleç HG, Demirel H. Artificial neural network based prediction of intensity of insolation in the city of Kastamonu using meteorological data. NWSA 2017;12(3):114–121.
[22] Güre ÖB, Kayri M, Erdoğan F. Analysis of factors effecting PISA 2015 mathematics literacy via educational data mining. Education & Science 2020;45(202): 393-415.
[23] Yüzer EÖ, Bozkurt A. Evaluation of artificial neural network parameters in solar radiation prediction using meteorological data. KSU Journal of Engineering Sciences 2022;25(4):746–759.
[24] Premalatha M, Naveen C. Analysis of different combinations of meteorological parameters in predicting the horizontal global solar radiation with ANN approach: A case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018;91:248–258.
[25] Yadav AK, Chandel SS. Solar radiation prediction using artificial neural network techniques: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014;33:772–781.
[26] Karaman ÖA, Ağır TT, Arsel I. Estimation of solar radiation using modern method. Alexandria Engineering Journal 2021;60(2):2447–2455.
[27] Akal D, Umut I. Using artificial intelligence methods for power estimation in photovoltaic panels. Journal of Tekirdag Faculty of Agriculture 2022;19(2):435–445.
[28] Saberian A, Hizam H, Radzi MA, Mirzaei M. Modelling and prediction of photovoltaic power output using artificial neural networks. International Journal of Photoenergy 2014;2014:1–10.
[29] Zhu HL, Li X, Sun Q, Nie L, Yao JX, Zhao G. A power prediction method for photovoltaic power plant based on wavelet decomposition and artificial neural networks. Energies 2016;9(1):11.
[30] Coşkun C, Koçyiğit N, Oktay Z. Estimation of PV module surface temperature using artificial neural networks. Mugla Journal of Science and Technology 2016;2(2):15–18.
[31] Sağaltıcı D, Alay F, Efil C, Ilhan N. Estimation of missing solar radiation values of meteorological data using data mining techniques. Harran University Journal of Engineering 2018;2:49–53.