

Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Modeli ve Kültürel Algoritma Modeli Kullanılarak Geliştirilen Melez Yöntem ile Kısa Vadeli Fotovoltaik Enerji Santrali Çıkış Gücü Tahmini

Kübra TÜMAY ATEŞ^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-3337-7969>

*Sorumlu yazar: ktumay@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.11.2021

Kabul tarihi:12.02.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Fotovoltaik enerji
Kültürel algoritma
Parçacık sürü optimizasyonu
Kısa vadeli güç tahmini
Melez yöntem

ÖZ

Güneş enerjisinden elde edilen sürdürülebilir enerji, konut, ticari ve endüstriyel uygulamalarda enerji talebini karşılamada önemli kaynaklardan biri haline gelmiştir. Ancak güneşten elektrik enerjisi üretimindeki temel zorluk, fotovoltaik (FV) enerji santrallerinde hava koşullarından kaynaklanan güçteki anlık değişimlerdir. Büyük ölçekli güneş FV enerji santralleri için, güç dengesizlikleri elektriksel olarak sistem verimliliği ve kararlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, FV enerji santrallerinin çıkış gücünün kısa vadede doğru tahmin edilmesi, elektrik şebekesi üretim, dağıtım ve depolamanın günlük/saatlik verimli yönetimi ve enerji piyasasında karar verme için büyük önem taşımaktadır. Bu makalede, FV enerji santralının güç üretimini tahmin etmek için kültürel geçiş hedefi temelinde popülasyon tabanlı bir algoritma geliştirmeyi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda, her yinelemede tüm değişkenleri göz önünde bulundurarak daha hızlı yakınsamaya olanak sağlaması özelliği ile Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemi ile kısa vadeli tahmin yapılmaktadır. Kısa vadeli FV panel çıkış güç tahminin sonuçlarını en az hata oranı ile elde etmek için çok katmanlı yapay sinir ağı modeli PSO ve Kültürel Algoritma (KA) ile kullanılarak melez yöntem oluşturulmuştur. KA iterasyon sırasında toplanan bilgileri depolama ve daha sonra kullanma özelliği ile evrimsel algoritmalarından daha hızlı yakınsama sağladığı için FV enerji çıkış gücü kısa vadeli tahmininden etkin sonuçlar elde edilmiştir.

Short Term Photovoltaic Power Plant Output Power Forecasting with Hybrid Method Developed Using Multilayer Artificial Neural Network Model and Cultural Algorithm Model

Research Article

Article History:

Received: 26.11.2021

Accepted: 12.02.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Photovoltaic energy
Cultural algorithm
Particle swarm optimization
Short-term power forecast
Hybrid method

ABSTRACT

Sustainable energy obtained from solar energy has become one of the important sources in meeting the energy demand in residential, commercial and industrial applications. However, the main difficulty in generating electricity from solar energy is the instantaneous changes in power caused by weather conditions in photovoltaic (PV) power plants. For large-scale solar PV power plants, power imbalances electrically negatively affect system efficiency and stability. Therefore, accurate forecasting of the output power of PV power plants in the short term is of great importance for efficient daily/hourly management of electricity grid generation, distribution and storage and for decision making in the energy market. This paper aims to develop a population-based algorithm estimating the power generation of a PV power plant based on the cultural transition target. Also, short-term forecasting is carried out based on the Particle Swarm Optimization (PSO) method, with the feature of allowing faster convergence by considering all the variables in each iteration. In order to obtain the results of short-term PV

panel output power estimation with the least error rate, a hybrid method was created by using the multilayer artificial neural network model with PSO and Cultural Algorithm (CA). Since the CA provides faster convergence than evolutionary algorithms with the ability to store and use the information collected during iteration, effective results are obtained from the short-term forecasting of the PV energy output power.

To Cite: Ateş KT. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Modeli ve Kültürel Algoritma Modeli Kullanılarak Geliştirilen Melez Yöntem ile Kısa Vadeli Fotovoltaik Enerji Santrali Çıkış Gücü Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):342-354.

Giriş

Küresel ısınma ve son yıllarda fosil kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesi, yenilenebilir enerji santrallerinin yaygınlaştırılmasına ve geliştirilmesine sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin doğada bol miktarda bulunması, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynağı olmasından dolayı fosil enerji kaynaklarının yerini almaktadır. Ancak, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede kullanılan fotovoltaik (FV) enerji santrallerinin çıkış gücünün hava koşullarına bağlı olarak anlık değişmesi güç santrallerinde ani güç dengesizliklerine neden olmaktadır. FV enerji bağlı güç sistemlerindeki ani değişimlerin gözlenilmesi önemli bir konu haline gelmektedir. FV enerji santrallerinden üretilen enerjinin tahmin edilerek güç dengesizliklerinin önüne geçilmesi için araştırmacılar yapay zekâ tabanlı algoritmalar kullanarak güç tahminleri yapmaktadır.

AlHakeem ve ark., (2015) entegre bir dalgacık dönüşümü modeli ve genelleştirilmiş bir regresyon sinir ağı kullanan deterministik melez akıllı modelden elde edilen FV güç tahminlerinin belirsizlik tahminini ölçmek için önyüklemeye güven aralıklarını çalışmaktadır. Yenilenebilir enerji güç santrallerinde karşılaşılan en önemli sorunlarından biri, değişken güç sistemlerin çıktısının tahmin edilemeyen ve kontrol edilemeyen hava koşullarının değişkenliğine bağlı olarak anlık dalgalanmalardır. Bu açıdan bakıldığında, kısa vadeli tahmin modeli, güneş FV enerji bağlı şebekenin güvenilirliği ve istikrarı için faydalı bir araç olacaktır. Almonacid ve ark., (2014) dinamik yapay sinir ağına dayalı olarak bir FV enerji santral çıktısını bir saat önceden tahmin etmek için yeni bir yöntem sunmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, önerilen yöntemin, kabul edilebilir bir doğruluk derecesi ile bir saat ilerideki FV santrallerinin güç çıkışını tahmin etmek için kullanılabilirliğini göstermektedir. Cervone ve ark., (2017) sayısal bir hava durumu tahmin modeli ve hesaplanmış astronomik değişkenlerden gelen girdileri kullanarak FV enerji santralleri tarafından üretilen gücün 72 saatlik deterministik ve olasılıksal tahminlerini oluşturmak için Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Analog Topluluğa dayalı bir metodoloji sunmaktadır. Sonuçlar, melez modelin en iyi sonuçları verdiğini ve önerilen modelin büyük ölçekli hesaplama için çok uygun olduğunu göstermektedir. Shuang ve ark., (2019) kopula fonksiyonuna ve uzun kısa süreli yapay zekâ ağına dayalı yeni bir orta-uzun vadeli rüzgâr ve fotovoltaik güç üretimi tahmin yöntemi önermektedir. Rüzgâr ve fotovoltaik enerji üretimini etkileyen temel meteorolojik faktörler, kopula fonksiyonu ile etkin bir şekilde çıkarılmıştır. Uzun kısa süreli yapay zekâ ağına dayalı bağımsız rüzgâr/fotovoltaik tahmin modelleri kalıcılık modeli ile karşılaştırılarak elde edilen en iyi giriş koşulu ile kurulmuştur. Li ve ark., (2016) Florida'daki bir güneş

FV enerji santralinden enerji üretimlerini 15 dakika, 1 saat ve 24 saat önceden tahmin etmek için iki yaygın yöntem olan YSA ve destek vektör regresyonunu (DVR) yöntemlerini değerlendirmektedir. Test edilen makine öğrenimi algoritmalarına dayalı olarak hiyerarşik bir yaklaşım önerilmiştir. Mohammed ve ark., (2018) Fransa, Brittany'de bulunan bağımsız bir melez sistem için rüzgâr/FV/gelgit/depolama pil modelinin enerji yönetimi ve tasarımını optimize etmek için Genetik Algoritmaya (GA) dayalı akıllı bir algoritma geliştirmektedir. Yük talebinin, farklı olası durumlar ve birçok kısıtlamaya uygun çözümler için 25 yıllık bir aralıkta farklı iklim koşulları altında sağlanmasını önermektedir. Theocharides ve ark., (2020) veriye dayalı makine öğrenimi tekniklerine ve istatistiksel son işleme dayalı olarak, saatlik ortalama gün öncesi fotovoltaik güç tahminleri için geliştirilmiş doğrulukla melez bir yöntem sunarak bu sorunu ele almaktadır. Sonuçlar, geliştirilmiş gün öncesi fotovoltaik güç üretim sinir ağının tahmin edilen çıktılarına lineer regresyon katsayılarının uygulanmasının, güneş ışınımı tahmin önyargılarını daha da düzelterek performans doğruluğunu geliştirdiğini göstermektedir. Fotovoltaik enerji santrallerin çıkış gücü üzerindeki stokastik hava koşullarının etkisi göz önüne alındığında, karmaşık bir tahmin modelinin gerekliliği hızla artmaktadır. VanDeventer ve ark., (2019) konut ölçekli FV enerji santralinin kısa vadeli güç tahmini için bir genetik algoritma tabanlı destek vektör makinesi (GA-DVM) modeli önermektedir. GA-DVM modeli, başlangıçta bir DVM sınıflandırıcısı kullanarak geçmiş hava durumu verilerini sınıflandırır ve daha sonra bir topluluk tekniği kullanılarak genetik algoritma ile optimize edilir. Mishra ve ark., (2020) uzun kısa dönem bellek tabanlı derin öğrenme tekniği ve dalgacık dönüşüm kavramı kullanılarak yeni bir kısa vadeli güneş enerjisi tahmin modeli sunmaktadır. Önerilen tahmin modelinde, dalgacık dönüşümü, kaydedilen güneş enerjisi zaman serisi verilerini farklı frekans serilerine ayrıştırmak ve ardından istatistiksel özellik çıkarma işlemi yapmak için kullanılır. Geliştirilen hibrit tahmin modelinin etkinliği, ortalama karesel hataların karekökü (OKHK), ortalama mutlak yüzde hata (OMYH), ortalama mutlak hata (OMH) ve R^2 değerleri diğer makine öğrenimi ve derin öğrenme tabanlı modellerle karşılaştırılarak kanıtlanmıştır. Zeng ve Qiao (2013), kısa vadeli güneş enerjisi tahmini için melez en küçük kare DVM tabanlı bir model önermektedir. Elde edilen tahmin sonuçları, önerilen modelin yalnızca otopregresif modelinden önemli ölçüde daha iyi performans göstermediğini, aynı zamanda tahmin doğruluğu açısından radyal tabanlı bir işlev sinir ağı tabanlı modelden daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Ayrıca veri normalizasyonu için sigmoid fonksiyonlara göre geçirgenliği kullanmanın üstünlüğü kanıtlanmıştır. Jang ve ark., (2016) çeşitli uydu görüntülerine dayalı bir güneş enerjisi tahmin modeli ve bir DVM öğrenme modeli önermiştir. Solar enerji sistemlerinin şebekeye entegrasyonu son yıllarda hızlı bir şekilde artmıştır. FV enerji santrallerinin güç çıkışı, çok çeşitli meteorolojik koşullar nedeniyle dalgalanabilmektedir ve şebekeye olumsuz yönde etkilemektedir. Dört yıllık geçmiş uydu görüntülerini analiz edilerek önerilen SVM tabanlı modelin, geleneksel zaman serisi modelinin ve bir YSA modelinin performansını tahmin doğruluğu açısından karşılaştırılmıştır. Abedinia ve ark., (2018) hibrit tahmin modeli olarak bir sinir ağının metasezgisel bir algoritma ile kombinasyonuna dayanan yeni bir tahmin yaklaşımı önermektedir.

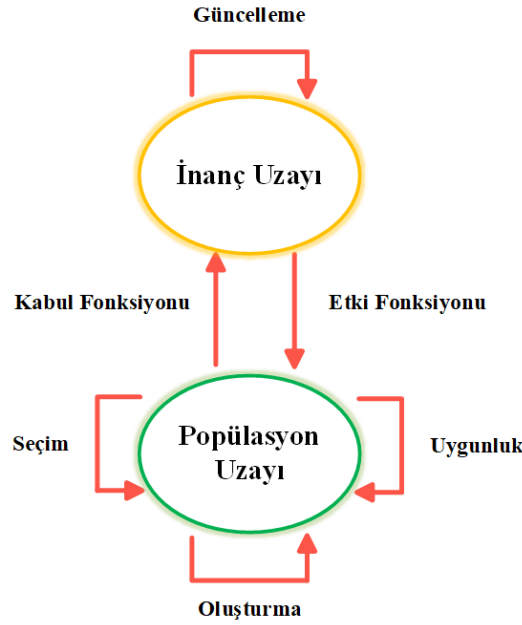
Metasezgisel algoritma, sinir ağının serbest parametrelerini optimize etmektedir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın diğer tahmin yöntemlerine göre üstünlüğünü göstermektedir. Elde edilen tahmin sonuçları, güneş enerjisi santralının verimli kullanımı ve elektrik şebekesinin yönetimi için oldukça önemlidir. Barrera ve ark., (2020) yapay sinir ağlarına dayalı açık veriye kullanılarak güneş enerjisi tahmin modeli geliştirmiştir. Yüksek doğrulukla güneş enerji çıktısı tahmin etme, sürdürülebilir enerji yatırımlarının daha verimli hale getirilmesine büyük ölçüde yardımcı olabilmektedir. Elde edilen sonuçlar ile literatürdeki sonuçlar ortalama karesel hata (OKH) açısından kıyaslandığında, geliştirdiğimiz tahmin modelinin doğruluğunu iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Saberian ve ark., (2014) yapay sinir ağlarına dayanan bir güneş enerjisi tahmin modeli geliştirerek sunmaktadır. Tahmin modelinde beş yıllık veriler 2006–2008 ve 2009-2010 olarak ikiye ayrılmıştır; ilk kısım eğitim için, ikinci kısım ise sinir ağlarını test etmek için kullanılır. Giriş verileri için maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve ışıınım verileri iken; çıktı verisi olarak güneş enerjisi çıkış gücü belirlenmiştir. İki sinir ağı yapısı genel regresyon sinir ağı ileri beslemeli geri yayılım, bir fotovoltaik panel çıkış gücünü modellemek ve üretilen gücü yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılmıştır. Martin ve ark., (2016) sayısal hava modellerini kullanarak günlük güneş enerjisi tahmini ve enterpolasyonu için makine öğrenimi tekniklerine dayanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada çeşitli makine öğrenimi (destek vektör makineleri ve gradyan artırma) ve özellik seçim algoritmaları (doğrusal, ReliefF ve yerel bilgi analizi) kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde solar FV enerji santrallerden etkin bir biçimde yararlanmak veya hava koşullarının sistem üzerinde yarattığı güç dengesizliklerinin önüne geçmek için yapay zekâ tabanlı çeşitli algoritmalar kullanılmıştır. Kültürel algoritmanın diğer evrimsel algoritmalarından daha hızlı yakınsama sağladığı için FV güç enerji santralinde etkin sonuçlar elde edilmesi düşünülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, literatürde ilk defa kültürel algoritma tabanlı yapay zekâ yöntemi kullanılarak solar FV enerji santrallerin çıkış gücü tahmini yapılmaktadır.

FV Enerji Santrali Çıkış Gücü Kısa Vadeli Tahminde Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri

Kültürel Algoritma

Kültürel algoritmalar (KA) ilk olarak Reynolds (1994) tarafından önerilen bir tür evrimsel algoritmadır. Hesaplama modelleri, zaman içinde kazanılan deneyim ve bilgiye dayalı çeşitli etmen tabanlı teknikler aracılığıyla öğrenme sürecinin pratik kullanımını sağlayan, insanın sosyal kültürel evriminin ilkelerine dayanmaktadır. Kültürel süreç, bir arama uzayında optimal çözümü bulmada verimliliğin artmasına ve optimal global çözümü bulmayı kolaylaştırmasına izin verir. Bir optimizasyon problem modeli içindeki kültürel değişiklikler, popülasyonlar içinde ve arasında iletilen bilgileri temsil eder. KA'nın temel ilkesi, sosyal olarak kabul edilen inançları korumak ve kabul edilemez inançları ortadan kaldırmaktır.

KA, popülasyon uzayı ve inanç uzayı olarak iki ana bileşenden oluşmaktadır. Popülasyondaki her bir bireyin uygunluğu, uygunluk fonksiyonu ile belirlenmektedir. Hangi bireylerin inanç alanını etkileyeceği bir kabul fonksiyonu ile belirlenmektedir. Her nesilde, popülasyon aramasında edinilen bilgi (örneğin popülasyonun en iyi çözümü) inanç alanında tutulmaktadır (Talbi, 2009). Kabul fonksiyonu ile belirlenen bireyler, güncelle fonksiyonu ile inanç uzayını etkilemektedirler. İnanç uzayındaki bilgi, etki fonksiyonu ile gelecek neslin bireylerinin seçimini etkilemektedir. İki alan arasındaki etkileşim ve yardım, insan kültürünün evrimine benzemektedir (Reynolds ve Peng, 2004). KA'nın önemli bileşenleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



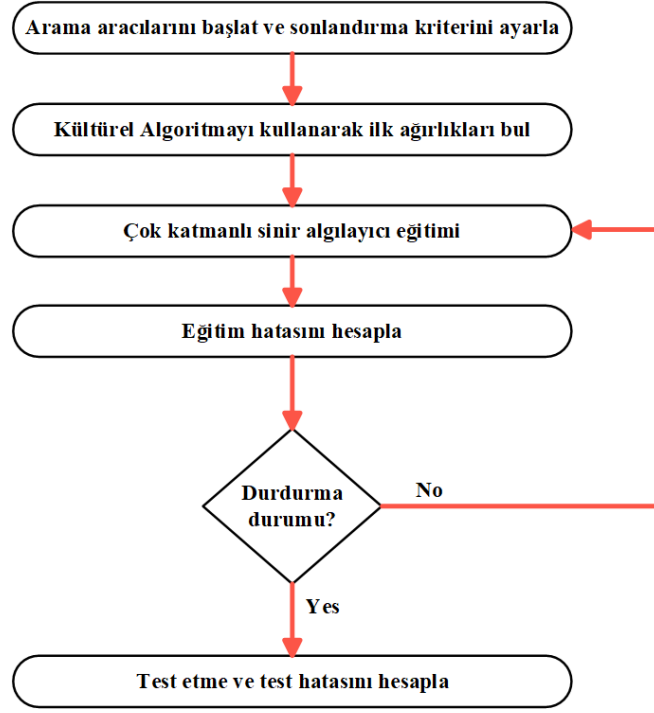
Şekil 1. Kültürel algoritmasının genel yapısı

KA, ikili bir evrimsel mekanizma kullanırken, daha düşük seviyeli popülasyonlar, periyodik olarak en üst düzey inançlara girmeye yardımcı olur. Öte yandan, yüksek düzeyde bir inanç, bu seçkin insanları alt toplulukları etkilemek için geliştirecektir (Ma ve Wang, 2009). Bu mekanizma, popülasyon çeşitliliğinin ve buna bağlı olarak yakınsama özelliklerinin iyileştirilmesiyle sonuçlanmaktadır.

Sinir Ağı Modelinin Eğitimi için Kültürel Algoritma

Bu çalışmada çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı (YSA) modeli tercih edilmiştir. Bu YSA yapısına ait ağırlık ve bias değişkenlerinin eğitimi için Kültürel Algoritma (KA) tercih edilmiştir. Çalışmada KA, çok katmanlı sinir ağının (ÇKSA) eğitimi için kullanılmakta ve bu yapı bu çalışmada YSA-KA olarak adlandırılmaktadır. Bahsedilen yaklaşım kullanılırken iki ana husus dikkate alınmalıdır: Ağırlık ve biasların KA'nın arama vektörü olarak belirtilmesi ve eğitim sırasında kullanılacak olan uygunluk fonksiyonunun seçimi.

Bir ÇKSA'nın tüm ağırlık ve biasları bir vektör olacak şekilde organize edildiğinden gösterimi basittir. Bu vektör, KA'nın arama uzayındaki her bir bireyi temsil etmektedir. Önerilen YSA-KA'nın genel adımları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Kültürel algoritmaya dayalı sinir ağlarının akış şeması

Sinir ağı modelini eğitmek için uygulanan KA yaklaşımının iş akışı aşağıdaki adımlarda açıklanabilir:

1) Başlatma: popülasyondaki arama vektörleri ve inanç uzayları eğitim için rastgele oluşturulur. Bir inanç alanındaki her arama vektörü olası bir ÇKSA katsayı ve bias değerlerini temsil eder. Çalışmada kullanılan veri seti, eğitim aşamasında ve test aşamasında kullanılmak üzere ikiye ayrılmıştır.

2) Uygunluk değerlendirmesi: popülasyon uzayındaki her bir çözümün başarısı, uygunluk fonksiyonu aracılığıyla belirlenir. Tipik olarak, sinir ağı eğitim modeline ve ilgilenilen probleme bağlı olan Ortalama Kare Hatası (OKH) gerçekleştirilmek üzere seçilir.

3) Kabul edilen popülasyonu inanç alanında güncellenir.

4) 2'den 3'e kadar olan adımlar, sonlandırılan koşul bulunana kadar tekrarlanır.

5) Elde edilen en iyi çözüm ile ÇKSA oluşturulur ve test aşamasına geçilir.

Denklem 1'de gösterildiği gibi Tüm eğitim örnekleri için Hata Karelerinin Ortalaması olan OKH, uygunluk fonksiyonu olarak işlev görür. Her gerçek (veya hedef) ÇKSA'nin ilişkili çıktı değerleri arasındaki farka bağlıdır.

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EC_o - EC_p)^2 \quad (1)$$

Burada EC_p , ÇKSA'dan üretilen kısa vadeli çıkış gücü değeridir ve EC_o , fiili kısa vadeli çıkış gücü değeridir. Çalışmada kullanılan ÇKSA-KA yapısına ait kaba kod Şekil 3'de gösterilmektedir.

<p>Adım 1: Yapay sinir ağını oluştur Ağ yapısına tanımla</p> <p>Adım 2: Sinir ağına ait parametreleri belirle Ağırlık ve biaslara ait başlangıç değerlerini ata</p> <p>Adım 3: Optimizasyon adımını başlat Başlangıç popülasyonunu oluştur KA'ya ait parametrelere başlangıç değerlerini ata Her bir birey için uygunluk değerini hesapla</p> <p>While (sonlandırma kriteri) Popülasyon uzayında uygunluk fonksiyonunu çalıştırma İnanç uzayında kabul fonksiyonunu çalıştırma Popülasyon uzayında etki fonksiyonunu çalıştırma Yeni popülasyonu oluşturma</p> <p>End while</p> <p>Adım 4: Optimum ağırlık ve bias değerleri ile sinir ağını oluşturma</p> <p>Adım 5: Yapay sinir ağından test verisini geçirme</p> <p>Adım 6: Tahmin sonuçlarını ekrana yazdırma</p>

Şekil 3. ÇKSA-KA yapısına ait kaba kod

Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması, Eberhart ve Kennedy (1995) ve Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından önerilen sürü mantığına dayalı stokastik bir optimizasyon tekniğidir. PSO algoritması, böcekler, sürüler, kuşlar ve balıklar dahil olmak üzere hayvanın sosyal davranışını modelleme üzerine geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Bu sürüler, yiyecek bulmak için işbirlikçi bir yol izlerler ve sürülerdeki her bir üye, kendi ve diğer üyelerin öğrenme deneyimlerine göre arama modelini güncelleyerek yiyeceğe ulaşmak için aramaya devam eder.

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, bir FV güç santralinde kurulu olan eviricilerden birinden bir saat aralıklarla elde edilen gerçek zamanlı veriler kullanılmıştır. Elde edilmiş olan bu veriler, iki farklı yöntemle işlenerek simülasyon çalışmaları etkin bir şekilde yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler: Çok Katmanlı Sinir Ağı – Parçacık Sürü Optimizasyonu (ÇKSA- PSO) ve Çok Katmanlı Sinir Ağı – Kültürel Algoritma (ÇKSA-KA PSO).

Çalışmada kullanılan ağın eğitimi için iki farklı optimizasyon yöntem kullanılmıştır. Optimizasyon yöntemleri ilk önce arama uzayında rastgele dağıtılmış bir popülasyonla çalışmaya başlamaktadırlar.

Arama uzayındaki her bir parçacığın başarısı, uygunluk değerini belirlemek amacı ile kullanılan bir amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Bir sonraki adımda, parçacıkların bilgileri algoritmanın yapısına göre (algoritmadaki ilgili denklemlere göre) güncellenir ve yeni bir nesil oluşturulur. Bu adımlar, sonlandırma kriterine ulaşılan kadar devam ettirilir. Eğitim tamamlandıktan sonra, en iyi parçacıktan elde edilen optimum değerler kullanılarak YSA oluşturulur ve test aşamasına geçilir. Verilerin %80'i ağı eğitimi aşamasında, %20'si ise eğitim sonunda elde edilen ağı başarısı ölçmek üzere test aşamasında kullanılmıştır.

Yapay sinir ağının eğitim ve test aşamalarında kullanılan veriler Türkiye'de 2016 yılına ait veriler kayıt altına alınmıştır. YSA kullanılarak 2017 yılının ilk 3 ayına ait veriler tahmin edilmiş ve sonuçlar gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Ağı giriş katmanı aşağıdaki şekilde beslenir:

- Ortam sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
- Güneş radyasyonu [W/m^2]
- FV Panel sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]

Yapay sinir ağı yapısının çıkış katmanı, anlık bir FV santral gücüdür.

Çalışmada kullanılan her yöntem için ağı yapısının gizli katmanında 8 nöron kullanılmaktadır. Ayrıca giriş katmanında 3 nöron, çıkış katmanında ise 1 nöron kullanılmaktadır. Firmadan alınan verilerde FV santral gücünü etkileyen 3 farklı parametre bulunmaktadır. Bu nedenle giriş katmanı 3 nöronlu kullanılmıştır. Ağda çıkış olarak yalnızca FV santral gücü tahmin edileceği için çıkış katmanı bir nöronlu belirlenmiştir. Gizli katmandaki nöron sayısı deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Farklı nöron sayıları deneyerek en uygun nöron sayısı belirlenmiştir. Ağı eğitimi sırasında eğitilen parametre sayıları:

- 24 ağırlık parametresi (Giriş ve gizli katman arası)
 - 9 bias parametresi (Gizli katman ve çıkış katmanına ait)
 - 8 ağırlık parametresi (Gizli ve çıkış katman arası)
- şeklindedir.

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) kriterine göre karşılaştırılmıştır. MAPE kriteri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right| \quad (2)$$

\hat{y}_i ve y_i gerçek sonuç ve tahmin edilen sonuçtur. N veri setindeki veri sayısıdır.

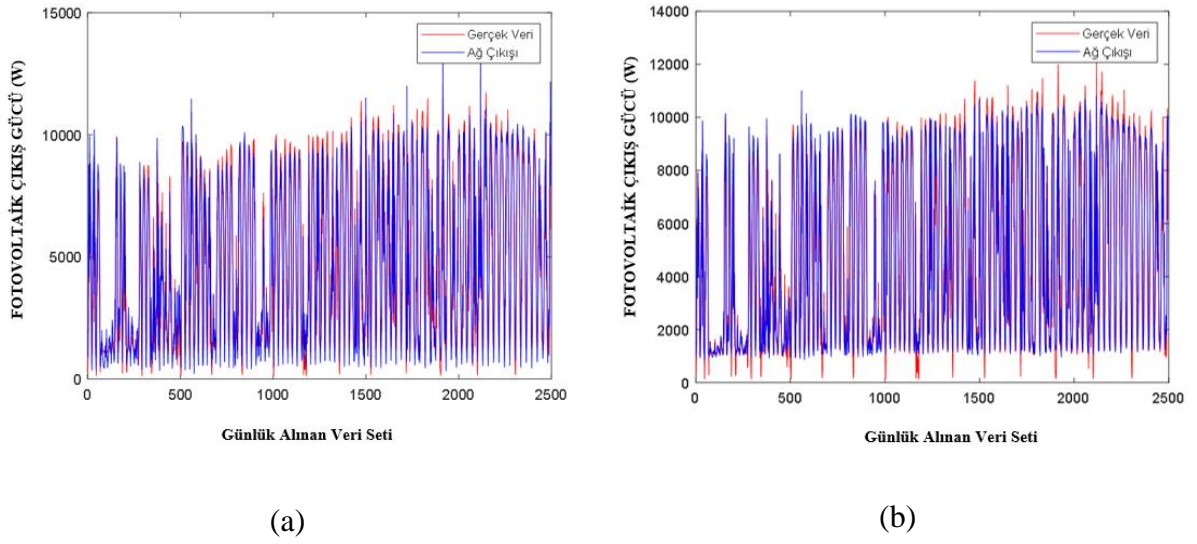
Her bir yöntem için geliştirilen programlar 20 kez çalıştırılmış ve bu çalıştırmalar sonunda elde edilen en iyi sonuçlar kullanılmıştır. Optimizasyon çalışmaları sonunda elde edilen tahmin sonuçları OMYH

kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Üç farklı yöntemden elde edilen sonuçlar OMYH değerleri ve regresyon sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Test aşaması sonuçları

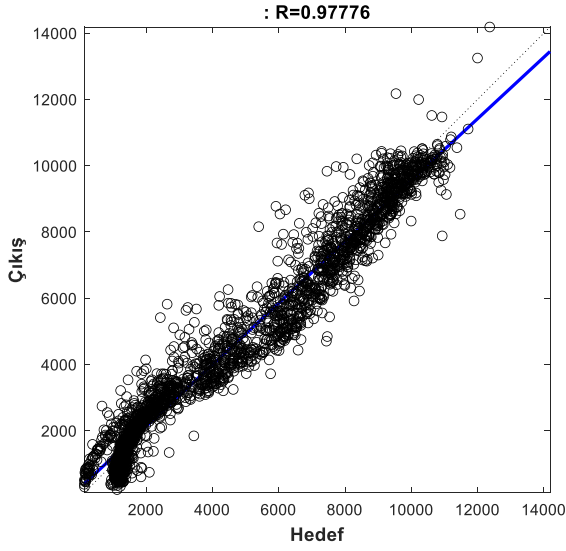
Yöntem	MAPE	Regresyon değeri
ÇKSA-PSO	22,0202	0,97776
ÇKSA-KA	17,1937	0,98533

Tablo 1'de görüldüğü ÇKSA-KA'dan elde edilen sonuç daha başarılıdır. ÇKSA-KA ile elde edilen gerçek zamanlı sonuçlar ve test sonuçları Şekil 4'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

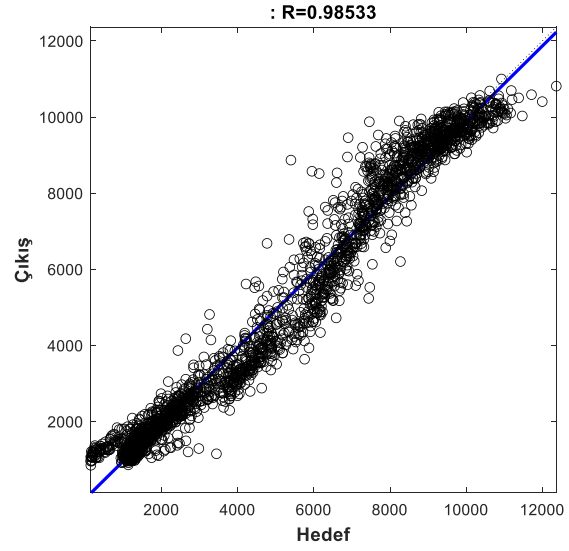


Şekil 4. Tahmin işlemi sonucu elde edilen veriler ile gerçek verilerin karşılaştırılması (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Test aşaması sonunda elde edilen regresyon grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'te gösterilen regresyon grafiklerinde istenilen sonuç ile ÇKSA-PSO ve ÇKSA-KA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafikleri verilmiştir. Bu grafikler ve regresyon değerleri göz önünde bulundurulduğunda, ÇKSA-KA yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar ile istenen sonuçların birbirleri ile da ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.



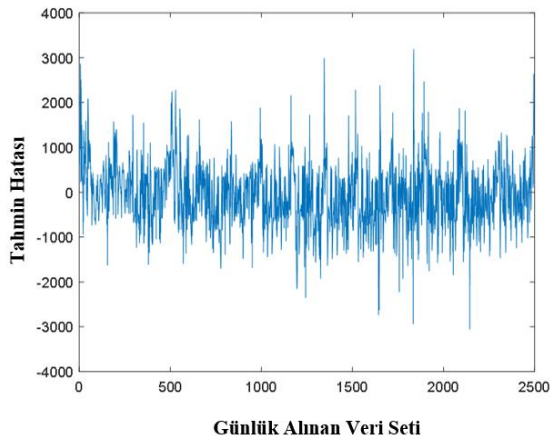
(a)



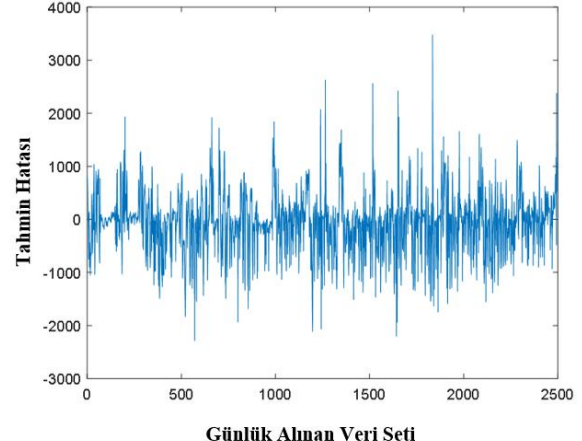
(b)

Şekil 5. Tahmin işlemi sonucu elde edilen regresyon grafikleri (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Şekil 6, iki farklı optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen tahmin sonuçlarına ait hata grafiklerini göstermektedir.



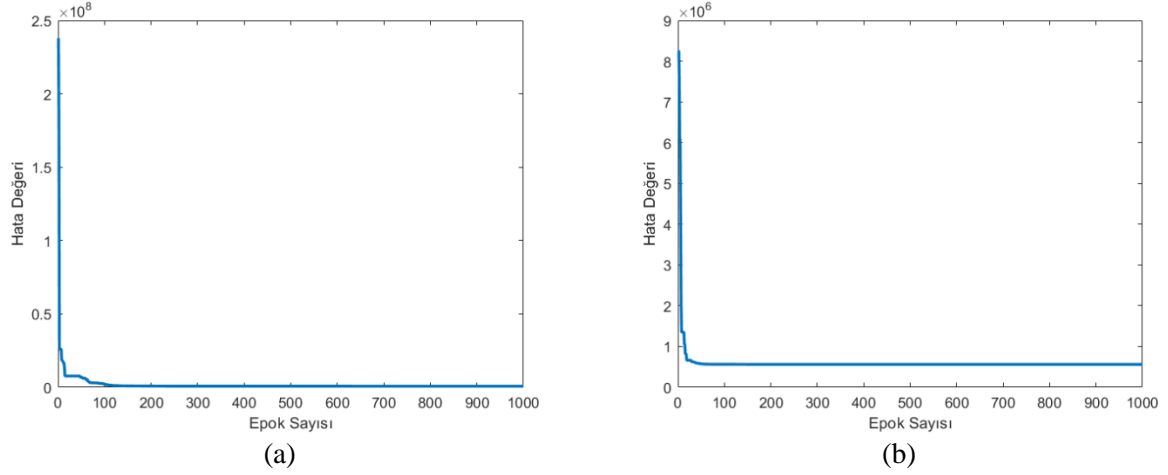
(a)



(b)

Şekil 6. Tahmin işlemi sonucu elde edilen hata grafikleri (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Test aşaması sonunda elde edilen grafiksel sonuçlar Şekil 4-6 da verilmiştir. Veri dağılımlarını içeren sonuçlar incelendiğinde ÇKSA-KA'dan elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Yine Tablo 1'de verilen sayısal sonuçlar incelendiğinde, FV güç tahmini için ÇKSA-KA yönteminden daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.



Şekil 7. Eğitim aşaması sırasında elde edilen hata değişim grafikleri (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Çok katmanlı sinir ağının farklı sezgisel yöntemler ile eğitimi sırasında elde edilen hata değişim grafikleri Şekil 7’de gösterilmiştir.

Sonuç

Güneş enerjisi potansiyelinin dünyada yüksek olması nedeniyle güneş FV santralleri kurulumu günden güne artmaktadır. FV santrallerin kurulumu yaygınlaşsa da, bu santrallerin en büyük dezavantajı FV enerji santralının çıkış gücünün kararsız olmasıdır. FV güç santrali şebeke tarafına bağlı olduğundan, dengesiz güç akışı tüm sistem kontrollerini etkiler. Bu nedenle gücün kısa vadeli tahmini ile sistemde meydana gelebilecek ani güç dalgalanmalarına karşı önlem alınması da önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye'deki bir güneş FV enerjisi santralinden elde edilen gerçek zamanlı veriler kullanılarak kısa vadeli FV santral çıkış gücü tahmini yapılmıştır. Geleceğe yönelik tahminler için ÇKSA-PSO ve ÇKSA-KA yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen matematiksel ve grafiksel sonuçlar incelendiğinde, ÇKSA-KA yönteminin performansının üç aylık ileri tahmin için daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Abedinia O., Amjady N., Ghadimi N. Solar energy forecasting based on hybrid neural network and improved metaheuristic algorithm. Computational Intelligence 2018; 34: 241-260.

- AlHakeem D., Mandal P., Haque AU., Yona A., Senjyu T., Tseng TL. A new strategy to quantify uncertainties of wavelet-GRNN-PSO based solar PV power forecasts using bootstrap confidence intervals. 2015 IEEE Power Energy Society General Meeting 2015; 1–5.
- Almonacid F., Pérez-Higueras PJ., Fernández EF., Hontoria L. A methodology based on dynamic artificial neural network for short-term forecasting of the power output of a PV generator. *Energy Conversion and Management* 2014; 85: 389–398.
- Barrera JM., Reina A., Maté A., Trujillo JC. Solar energy prediction model based on artificial neural networks and open data. *Sustainability* 2020; 12: 6915.
- Cervone G., Clemente-Harding L., Alessandrini S., Delle Monache L. Short-term photovoltaic power forecasting using artificial neural networks and an analog ensemble. *Renewable Energy* 2017; 108: 274–286.
- Eberhart R., Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory. MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, IEEE; 1995; 39–43.
- Hazem Mohammed O., Amirat Y., Benbouzid M. Economical evaluation and optimal energy management of a stand-alone hybrid energy system handling in genetic algorithm strategies. *Electronics* 2018; 7: 233.
- Jang HS., Bae KY., Park HS., Sung DK. Solar power prediction based on satellite images and support vector machine. *IEEE Trans Sustain Energy* 2016; 7: 1255–1263.
- Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks, IEEE; 1995; 4: 1942–1948.
- Li Z., Rahman SM., Vega R., Dong B. A hierarchical approach using machine learning methods in solar photovoltaic energy production forecasting. *Energies* 2016; 9: 55.
- Ma H., Wang Y. Cultural algorithm based on particle swarm optimization for function optimization. Fifth International Conference on Natural Computation, 14-16 August 2009, pp:224-228, Tianjian, Çin.
- Martin R., Aler R., Valls JM., Galvan IM. Machine learning techniques for daily solar energy prediction and interpolation using numerical weather models: Machine learning techniques for daily solar energy prediction and interpolation using numerical weather models. *Concurrency Computat: Pract Exper* 2016; 28: 1261–1274.
- Mishra M., Byomakesha Dash P., Nayak J., Naik B., Kumar Swain S. Deep learning and wavelet transform integrated approach for short-term solar PV power prediction. *Measurement* 2020; 166: 108250.
- Reynolds RG. An introduction to cultural algorithms. In Proceedings of the third annual conference on evolutionary programming, River Edge, NJ: World Scientific 1994; 24: 131-139.
- Reynolds RG., Peng B. Cultural algorithms: modeling of how cultures learn to solve problems. 16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 15-17 Kasım 2004, sayfa no:166–172, Boca Raton, FL, USA.

- Saberian A., Hizam H., Radzi MAM., Ab Kadir MZA., Mirzaei M. Modelling and prediction of photovoltaic power output using artificial neural networks. *International Journal of Photoenergy* 2014; 2014: 1–10.
- Shuang H., Qiao YH., Yan J., Liu Y., Li L., Wangb Z. Mid-to-long term wind and photovoltaic power generation prediction based on copula function and long short term memory network. *Applied Energy* 2019; 239(1): 181-191.
- Talbi E. Population-based metaheuristics, Metaheuristics from Des. to implementation. John Wiley Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2009; 190–200.
- Theocharides S., Makrides G., Livera A., Theristis M., Kaimakis P., Georghiou GE. Day-ahead photovoltaic power production forecasting methodology based on machine learning and statistical post-processing. *Applied Energy* 2020; 268: 115023.
- VanDeventer W., Jamei E., Thirunavukkarasu GS., Seyedmahmoudian M., Soon TK., Horan B., Saad M., Alex S. Short-term PV power forecasting using hybrid GASVM technique. *Renewable Energy* 2019; 140: 367–379.
- Zeng J., Qiao W. Short-term solar power prediction using a support vector machine. *Renewable Energy* 2013; 52: 118–127.