

Fotovoltaik Hücrenin Verimliliğinin Yapay Sinir Ağı İle Tahmini

Harun ÖZKİŞİ¹*, Murat TOPALOĞLU¹

¹Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri Bölümü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye

harunozkisi@trakya.edu.tr, murattopaloglu@trakya.edu.tr

(Geliş/Received:28.06.2016; Kabul/Accepted:29.06.2017)

DOI: 10.17671/gazibtd.331035

Özet— Teknolojinin hızla gelişmesi insan hayatındaki günlük elektronik eşya kullanımını arttırmıştır. Bu durum dünya üzerindeki enerji tüketiminde önemli bir artışa sebep olmuştur. Enerji tüketiminin artması enerji sorununu ortaya çıkarmış ve bu sorunu aşmak için farklı enerji kaynaklarına yönelimler başlamıştır. Fosil yakıtların çevreye zarar vermesi ve tükenbilir olması alternatif enerji kaynaklarına yönelime yol açmıştır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevirme fikri ortaya atılmıştır. Bu fikirden yola çıkılarak birçok uygulama hayata geçirilmiş ve bu uygulamalar hayatımızda yaygın bir hal almıştır. Fotovoltaik hücre ile yapılan bu uygulamaların gerilim elde etme açısından verimli olması oldukça önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, fotovoltaik hücrenin verimliliğini çevresel etkiler göz önünde bulundurarak Yapay Sinir Ağı teknolojisi ile tahmin etmektir. Bu tahmin için fotovoltaik hücrenin gerilim değerine karşılık rüzgâr hızı, sıcaklık, nem ve hücrenin açısı gibi çevresel faktörler dikkate alınmıştır. Veriler her bir faktör ve gerilim değerleri için ölçüm yapan bir düzenek ile belli bir zaman aralığı boyunca kayıt altına alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucu elde edilmiş olan veriler ile panelin verimliliğini ortaya koyan bir Yapay Sinir Ağı modellenmiştir. Bu model fotovoltaik hücrenin verimlilik değerini yüzdelik olarak iyi bir şekilde tahmin etmektedir. Ayrıca ağın eğitim ve test işlemlerindeki performans ölçütlerinin oldukça iyi olduğu görülmektedir. Bu durum verimlilik tahmini için modellenmiş olan ağın tahmin yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler —Yapay Sinir Ağı, Fotovoltaik Hücre, Verimlilik, Çevresel Faktörler.

The Estimation of the Photovoltaic Cell Productivity with the Use of Artificial Neural Network

Abstract— The use of electronic devices has been greatly increased with the rapid developments in technology, which resulted in a huge increase in energy consumption in the world. As a result of increasing energy consumption, and because fossil fuels are both limited and harmful to the environment, a search for alternative energy resources has begun. The idea to convert Photovoltaic power into electricity was proposed as a solution, and several practices were implemented to serve that purpose. Most of these practices have already become common in daily life, and consequently, the productivity of the practices using Photovoltaic cells to create voltage has gained utmost importance. The aim of this study is to estimate the productivity level of Photovoltaic cells with the use of Artificial Neural Network technology in consideration with the environmental impacts. For this purpose, environmental factors, such as wind velocity, temperature, humidity and the angle of the cells were compared to the voltage rating of Photovoltaic cells to obtain data. The data were recorded at intervals with the use of a device measuring each factor and the voltage rating. According to the results of the measurements, an Artificial Neural Network was modelled that supports the productivity of the Photovoltaic panel. This model accurately estimates the productivity value of the photovoltaic cell as a percentage. It is also seen that the performance criteria of the network training and testing process are quite good. This indicates that the predictive ability of the network modeled for productivity estimation is high.

Keywords— Artificial neural network, Photovoltaic cells, Productivity, Environmental Factors.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güneş pilleri diğer bir adı ile fotovoltaik hücreler güneşten gelen ışığı gerilime çevirme prensibi ile çalışan ve fotovoltaik sistemlerin temelini oluşturan [1] aletler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu piller p-n tipi yarıiletken eklemlerinden oluşup yüzeyine düşen fotonların enerjilerinin bir kısmının, yarıiletkendeki serbest elektronları hareket ettirmesiyle elektrik akımı üretmektedir [2]. Çalışma şekli ve kullandığı kaynak açısından çevre dostu bir yapıya sahiptir. Tek başına çok yüksek düzeyde güç üretemeyen bu pillerden birbirlerine paralel veya seri bağlanarak kullanılabilir düzeyde güç elde etmek mümkündür. Paralel veya seri olarak bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmiş piller güneş pili modülünü oluştururlar. Fotovoltaik sistemler ise güneş pili modüllerinin uygulamaya bağlı olarak akümülatörler, invertörler (dönüştürücüler), akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak oluşturulan yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır[1]. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek sosyal maliyet göz önüne alındığında; fotovoltaik sistemlerin fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olduğu söylenebilir [3]. Bu sebepten dolayı bu tür sistemler günümüzde enerji elde etmek için çok fazla tercih edilir duruma gelmiştir. Bu sistemlerin tercih ediliyor olması zamanla geliştirilmeye ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Bilim dünyasında bu alanda son bir yıl içerisinde yapılmış araştırmalara bakıldığında fotovoltaik uygulamalar için ZnO nanotel sentezinin yapıldığı [4], organik yarıiletkenlerin katılmasının verime olan etkisinin incelendiği [5], rüzgar ve biyogaz ile birlikte hibrit sistemlerinin dizayn edildiği [6] ve fotovoltaik sistemlerde kullanılan kablolardaki kayıpların incelendiği [7] çalışmalar göze çarpmaktadır. Bu çalışmaların genel anlamda sistemlerin daha verimli çalışmasını sağlamayı amaçladıkları görülmektedir. Bundan dolayı fotovoltaik sistemlerin verimli bir şekilde çalışmasının sağlanması önemli bir çalışma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik hücrenin çevresel faktörlere bağlı olarak gerilim değeri üzerinden verimliliğinin tahminini yapan bir Yapay Sinir Ağı modelinin oluşturulması amaçlanmaktadır.

Yapay Sinir Ağları doğrusal olamayan problemlerin çözümünde etkili sonuçlar veren bir yapay zeka teknolojisi olup 1980 den beri bilim ve mühendislik alanlarında çalışan bilim adamlarının dikkatini çekmektedir [8]. Bu teknoloji ile doğrusal ilişkisi olamayan verilerin üzerinden sınıflama, tahmin etme, tanıma, yorumlama ve teşhis etme gibi işlemler yapılabilmektedir [9]. Bu özelliği sayesinde Yapay Sinir Ağları temelli birçok teknoloji geliştirilmiş ve bu alanda akademik olarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında fotovoltaik sistemlerle ilgili alanlar oldukça dikkat çekmektedir. Son yıllarda yapay sinir ağı kullanılarak yapılmış bu alandaki tez çalışmaları incelendiğinde, 2.3 kW'lık fotovoltaik bir sistemin ürettiği günlük enerji miktarının, bir yıllık meteorolojik veriler kullanılarak tahmini [10], fotovoltaik sistemlerde kısmi

gölgeleme koşulları altında maksimum güç noktasının izlenebilirliği [11] ve maksimum güç noktası izleyicili ve uzay vektör modülasyonu eviricili fotovoltaik sistemin kontrolü [12] gibi çalışmalar görülmektedir. Bunun yanında son 10 yıl içerisinde yayınlanmış makaleler incelendiğinde tekli fotovoltaik güç sisteminin boyutlandırıldığı güneş radyasyon veri tahmini [13], fotovoltaik modülün elektriksel özelliklerinin tahmini için radyal taban fonksiyonu yaklaşımı [14], grid bağlantılı fotovoltaik bir tesiste performans tahmini için yapılmış uygulaması [15], bir gün öncesinden 24 saatlik fotovoltaik sistem için güç tahmini oluşturma [16], 20 kW_p'lik şebekeye bağlı fotovoltaik tesisin performans tahmini [17], güç tahmininde komşu fotovoltaik sistemlerin etkisi için yapılan değerlendirme [18], konsantratör fotovoltaik teknolojisinin elektriksel karakterizasyonu için tekniklerin gözden geçirilmesi [19] ve Türkiye'deki tüm bölgeler için fotovoltaik modül verimliliğinin tahmini [20] gibi Yapay Sinir Ağları uygulamaları dikkati çekmektedir. Bu çalışmalarda genellikle giriş kriteri olarak sıcaklık ve güneş ışığı kullanılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmaların sistem içi performans artırma amacını güttükleri görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda ileri beslemeli Yapay Sinir Ağ yapısının tercih edildiği görülmüştür. Ayrıca son zamanlarda şebekeye bağlı akıllı hibrid fotovoltaik sistemin modellenmesi ve kontrolü[21] ve şebekeye bağlı akıllı hibrid pil / fotovoltaik sistemin modellenmesi, kontrolü ve simülasyonu [22] gibi yeni hibrid bulanık-sinirsel yöntemli sistemler üzerinde yapılmış çalışmalara rastlanmaktadır.

Bu çalışmada 4.2V-100mA'lık bir fotovoltaik hücre için rüzgâr hızı, sıcaklık, nem ve hücrenin yatayla yaptığı açısı gibi çevresel faktörlere bağlı olarak hücrenin verimi ile ilgili tahmin yapan bir Yapay Sinir Ağı modellenmiştir. Modelleme için gerekli olan veriler Edirne'nin Keşan ilçesinde belli bir zaman aralığında kayıt altına alınmıştır. Veriler dört adet giriş faktörü ve bu faktörler karşısında elde edilen gerilim değerleri için kayıt yapan bir düzenek sayesinde elde edilmiştir. Gerilim değerleri hücrenin üretebileceği maksimum değer dikkate alınarak yüzdelik verim değerlerine dönüştürülmüştür. Ve her bir kriter için eşleştirme yapılarak veri yapısı elde edilmiştir. Veriler eğitim ve test işlemlerinde kullanılmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eğitim verileri ağı mimarisinin belirlenmesi ve modellenmesi sırasında kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağına test için ayrılmış veriler için tahmin ettiği yüzdelik verim değerleri ile sistemin ölçmüş olduğu gerçek yüzdelik verim değerleri arasında yüksek bir uyum olduğu görülmüştür.

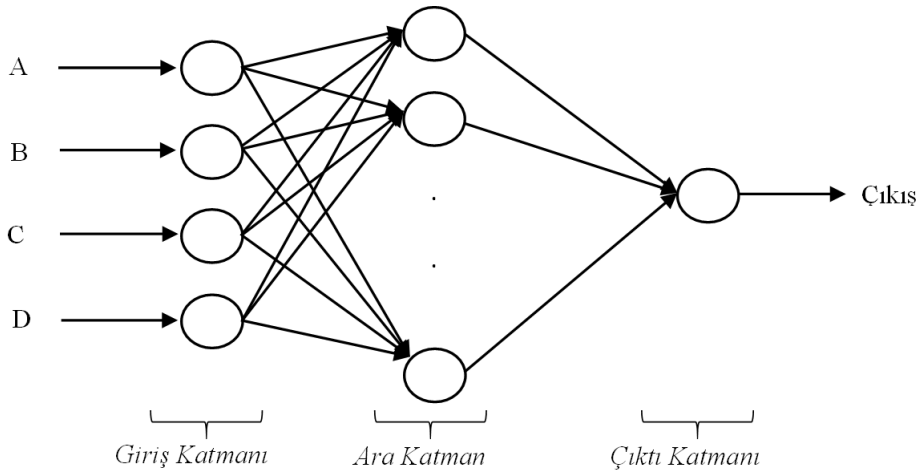
2. METERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu araştırmada fotovoltaik hücre verimliliğiyle ilgili ileri beslemeli, çok katmanlı bir yapay sinir ağı uygulaması yapılmıştır. Uygulama teknik hesaplama, matematiksel problem çözümü ve analiz işlemleri için tasarlanmış olan MATLAB yazılım geliştirme aracı ile yapılmıştır. Bu araç özellikle mühendislik alanında geliştirilmiş sistemlerin

analizi için çok fazla kullanılmakta ve iyi sonuçlar üretmektedir. Yapay Sinir Ağının performansı için Ortalama Karesel Hata (OKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2) gibi kriterlerden yararlanılmıştır. Ağ için gerekli olan parametreler deneme yanılma yoluyla performans kriterleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Analiz için kullanılan veriler her faktör için ayrı ayrı ölçüm yapabilen ve bu ölçümleri depolayabilen bir düzenek ile kayıt altına alınmıştır. Kayıt işlemi belli bir zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilmiş ve bu kayıt sonunda ham veriler elde edilmiştir.

2.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağı karmaşık yapıya sahip doğrusal olmayan ilişkilere sahip problemlerin çözümünde kullanılan bir yapay zeka tekniği olarak bilinmektedir [23]. Bu teknik



Şekil 1. Yapay Sinir Ağı modeli
(The artificial neural network model)

Ara katman sayısı bir tane olup işlem elemanı sayısı belli değildir. Bu sayı problemin performansını etkilediğinden belli kriterler dikkate alınarak deneme yanılma yolu ile bir sonraki bölümde belirlenecektir. Giriş katmanındaki her bir işlem elemanına karşılık olarak belirlenmiş olan dört kriter

- Havanın rüzgâr hızı
- Hava sıcaklığı
- Havanın nem durumu
- Fotovoltaik hücrenin zemin ile yaptığı açı

şeklinde maddeler halinde sıralanmaktadır. Bu kriterlerden havadaki rüzgâr hızı, sıcaklık ve nem değerleri doğrudan ölçülmüştür. Fotovoltaik hücrenin zeminle yaptığı açı ise hücreyi belli zaman aralıklarında güneşi takip edecek şekilde hareket ettiren bir servo motor yardımı ile değiştirilmiştir. Yapılan her bir ölçümle birlikte buradaki açı değerleri de kayda alınmıştır. Buradaki amaç gün içerisinde hücrenin güneş ışınlarını dik olarak almasını sağlamaktır. Çıkış prosesi olarak

beyin çalışma ilkelerinin bilgisayar üzerinde uygulaması ile ortaya çıkmış, beyni oluşturan en küçük hücrelerin yani nöronların matematiksel olarak modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır[24]. Bu teknolojinin amacı beyindeki sinir hücrelerini taklit etmek ve bu yapıyı karmaşık problemlerin çözümü için bilgisayar sistemlerine uygulamaktır[25]. Bu özelliğinden dolayı Yapay Sinir Ağları durum tahmin problemlerindeki potansiyel uygulamaların öncüsü olmuş ve son zamanlarda oldukça dikkat çekmiştir [26-29]. Çok katmanlı Yapay Sinir Ağları en basit anlamda girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanı olarak adlandırılan üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu katmanların her birinde farklı sayıda nöron ya da işlem elemanı bulunmaktadır. Çalışmanın problemi dikkate alınarak yapılmış basit bir Yapay Sinir Ağı modeli Şekil 1’de verilmektedir. Bu model 4 işlem elemanlı giriş ve bir işlem elemanlı çıkış katmanından oluşmaktadır.

belirlenen kriteri ise Fotovoltaik hücrenin giriş parametreleri karşılığında gerçekleşen doğrudan ölçümü yapılmış gerilim değerleri temsil etmektedir. Yapay Sinir Ağı modellemesinde diğer bir önemli unsur ise ara katman sayısıdır. Bu sayı problemin özelliğine göre farklılık gösterebilir [30]. Bu çalışmada model oluşturmak için yapılan performans denemelerinde bir adet ara katmanın problemin çözümü açısından uygun olacağı kanısına varılmıştır.

2.2. Performans Kriterleri (Performance Criteria)

Bu çalışmadaki Yapay Sinir Ağının performansı için Ortalama Karesel Hata (OKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2) gibi üç farklı ölçütten yararlanılmıştır. Bu ölçütler istatistiksel parametrelerdir. OKH, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmakta ve bu değerinin sifra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir [31]. OMH, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki mutlak hatayı belirleme amacıyla kullanılmaktadır. OMH değeri sifra

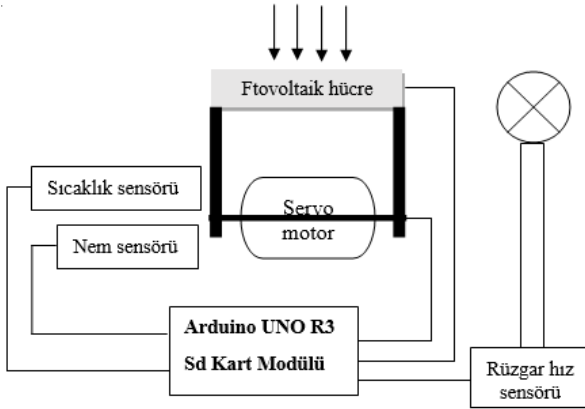
ne kadar yakın olursa modelinin tahmin yeteneği o kadar iyi demektir [32]. Determinasyon katsayısı (R^2), ölçüm değerleri ile model tahminleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. R^2 değeri 0 ile 1 arasında değişmekte ve bu değer 1'e yaklaşması model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki bağımlılığın kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir [33].

2.3. Verilerin Elde Edilmesi (Extraction of Data)

Güneş paneli verimliliğinin ölçümünün yapılabilmesi için oluşturulan düzenekte arduino programlama dili yazılımlı microdenetleyici kart kullanılmıştır. Bu düzenek içerisinde kullanılan cihazların kalibrasyonları tolerans değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Donanımsal olarak kurulan düzenek içerisindeki malzemeler aşağıda listelenmiştir.

- 4.2 V 100mA fotovoltaiik hücre
- Pantilt Servo Sistemi
- Rüzgâr Hız Sensörü
- DS18B20 Sıcaklık Sensörü
- DHT22 nem sensörü

Bu malzemeler ile oluşturulmuş bir düzenek sayesinde Fotovoltaiik hücre için gerilim, Fotovoltaiik hücrenin zeminle olan açı değeri, rüzgarın hızı, sıcaklık ve nem ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümler Orijinal Arduino UNO R3 ve Sd Kart Modülü kullanılarak kayıt altına alınmıştır. Kayıt işlemini yapan düzeneğe ait akış diyagramı şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Veri kayıt düzeneği akış diyagramı.
(Data recording scheme flow diagram)

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Veri Seti (Data Set)

Çalışmanın verileri toplamda 5 farklı faktör göz önünde bulundurularak elde edilmiştir. Bu faktörler havanın sıcaklığı, nem oranı, rüzgar hızı ve fotovoltaiik hücrenin açısı olarak isimlendirilen dört adet giriş parametresi ve bunlara karşılık elde edilmiş gerilim değerlerinin oluşturduğu bir adet çıkış parametresi olarak

belirlenmiştir. Buradaki parametrelerin ölçümleri sıcaklık için ($^{\circ}\text{C}$), nem için (%), rüzgarın hızı için (km/saat), fotovoltaiik hücrenin zemin ile olan açısı için (derece) ve fotovoltaiik hücrenin gerilim değeri için ise (volt) birim değerlerinde yapılmıştır. Ölçümü yapılmış olan bu değerlere ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo1'de verilmiştir.

Tablo1. Veri kümesi ile ilgili istatistik bilgileri
(Statistical information about the dataset)

	Ortalama	Standart Sapma
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	16,238	4,777
Nem (%)	42,005	42,442
Rüzgâr Hızı (km/saat)	2,625	2,364
Açı (Derece)	54,536	48,969
Gerilim (Volt)	1,775	1,792

Veri seti içinden verimlilik değerlerinin belirlenmesi amacıyla gerilim değerleri için bir dönüşüm işlemi yapılmıştır. Dönüşüm işlemi volt değerleri üzerinden hücrenin ne kadar verimli çalıştığını ifade eden yüzdelik değerler elde edilerek yapılmıştır. Bu işlem için

$$Verim = \frac{V}{V_{mak}} \cdot 100 \quad (1)$$

formülü kullanılmıştır. Formüldeki V_{mak} hücrenin üretebildiği maksimum volt değeri, V herhangi bir kayıt için gerilim değeri ve verim ise volt değerleri üzerinden elde edilmiş olan yüzdelik verim değerini göstermektedir. Yüzdelik verim değerleri her bir kayıt için volt değerleri yerine yerleştirilmiştir. Bu dönüşüm sonucunda elde edilmiş olan veriler üzerinde normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işlemi Yapay Sinir Ağı modelinin hata oranını aza indirmek amacıyla yapılmıştır. Bu işlem

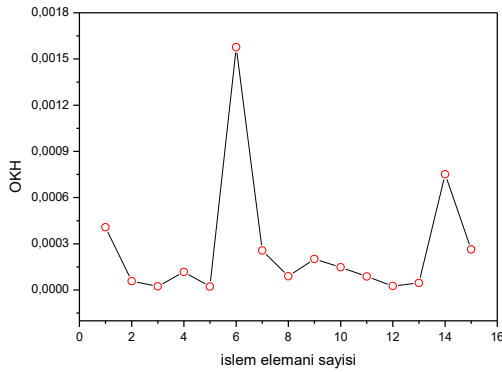
$$x_i = 0.8 \frac{(x - x_{min})}{(x_{mak} - x_{min})} + 0.1 \quad (2)$$

formülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada x_i veri değeri x ile gösterilen ham verinin normalize edilmiş halini göstermektedir. x_{mak} ve x_{min} ise veri setindeki maksimum ve minimum değerleri göstermektedir. Normalize edilmiş 194 verinin %75'i ağı eğitimi için %25'i ise eğitilmiş olan ağı test edilmesi için kullanılmıştır. Eğitim ve test için kullanılacak olan verilerin seçimi homojen bir şekilde yapılmıştır. Ayrımı yapılmış veriler işlemler sırasında iki ayrı küme olarak ele alınmıştır.

3.2. Ağ Mimarisi (Network Architecture)

Doğru bir mimari yapı için ilk önemli olan unsur çözümün yapılacak olan problemin iyi bir şekilde tanımlanmış olmasıdır. Daha sonra bu tanımlamaya en uygun ağ mimarisinin belirlenmesi gerekmektedir. Oluşturulacak

olan ağ modelinin başarılı olması için bu etkenler önemli bir yer tutmaktadır. Mimari yapının belirlenmesindeki en önemli etkenler ise probleme uygun öğrenme algoritması ve ağın gizli katmandaki işlem elemanı sayısının belirlenmesi olarak sıralanabilir. Buradaki amaç en uygun algoritmayı kullanarak girdi ve çıktı verileri arasındaki bağlantıyı sağlayan ağırlık değerlerini elde etmektir. Bu amaç doğrultusunda probleme uygun olarak belirlenmiş olan algoritmalar yoluyla oluşturulan ağ modelleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriterleri olarak Ortalama Karesel Hata (OKH) ve determinasyon (R^2) değerleri dikkate alınmıştır. Yapay Sinir Ağı modelinin oluşturulması sırasında farklı algoritmalar için yapılan eğitim hesaplamaları sonucunda elde edilmiş olan OKH ve R^2 değerleri belirlenmiştir. Bu değerler arasında en küçük OKH değeri 0,00009140 ve en büyük R^2 değeri 0,99936'ya sahip olan Levenberg–Marquardt algoritması problem için en uygun algoritma olarak belirlenmiştir. Ayrıca gizli katmandaki işlem elemanı sayısının belirlenmesi amacıyla katmandaki farklı işlem elemanı sayısı değerleri için OKH değerleri hesaplanmıştır. İşlem elemanı sayısının OKH değerlerine göre değişimi şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. İşlem elemanı sayısının Ortalama Karesel Hataya göre değişimi
(Mean Square Error change according to the number of processing elements)

Şekilden görüldüğü gibi 3, 5 ve 12 işlem elemanı sayısı değerlerinde lokal minimum OKH değerleri elde edilmiştir. Fakat bunlar arasında 0,00002281 ile en küçük hata değerine sahip 5 işlem elemanı mimari yapının en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir.

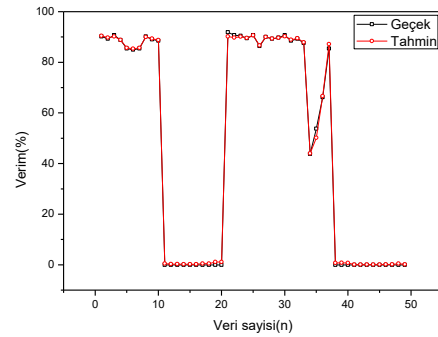
3.2. Eğitim ve Test (training and test)

Yapılan hesaplamalar sonucunda fotovoltaik hücrenin gerilim cinsinden verimliliğini en iyi tahmin eden ağ mimarisi (4-5-1) olarak belirlenmiştir. Bu mimariye yönelik yapılmış olan test ve eğitim işlemlerinin performans değerleri tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yapay sinir ağının eğitim ve test performansları
(the training and test performance of the neural network)

	Eğitim	Test
OKH	0.000148	0.000042
OMH	0.005748	0.003994
R²	0.999480	0.999720

Tabloda eğitim ve test işlemlerinin her ikisi için de elde edilmiş performans kriter değerlerinin iyi düzeyde çıktığı görülmektedir. Burada elde edilen OKH ve OMH değerlerinin sıfıra R^2 değerlerinin ise bire yakın olması elde edilmiş ağ mimarisinin tahmin yeteneğinin gerçeğe yakın olması anlamına gelmektedir. Şekil 4'te test verileri için gerçek verim değerleri ile Yapay Sinir Ağlarının tahminine göre elde edilen verim değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4. Test verilerinin gerçek ve tahmini değerleri
(actual and estimated value of the test data)

Şekilde ölçüm değerleri ile Yapay Sinir Ağlarının tahmin ettiği değerler arasında oldukça iyi bir uyum olduğu gözlemlenmektedir. Test verileri veri seti içerisinde homojen olarak seçilmiştir. Bu şekilde yapılan seçim ile Yapay Sinir Ağının problem uzayını daha iyi temsil etmesi sağlanmıştır. Bu yüzden çapraz doğrulama yapılmasına gerek duyulmamıştır. Aynı zamanda bu durum eğitim sırasında da ağın performansını da olumlu etkilemiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Sonuç olarak bu çalışmada fotovoltaik hücreler için belirlenmiş olan rüzgâr hızı, sıcaklık, nem ve açılı faktörlerine göre verimlilik tahmini yapan (4-5-1) mimari yapısına sahip bir yapay sinir ağı modellenmiştir. Modellenmiş olan yapay sinir ağı Fotovoltaik hücrenin verimliliğini çok iyi bir şekilde tahmin edebilmektedir. Elde edilen modelin, eğitim ve test işlemlerinde düşük hata ve oldukça yüksek seviyede determinasyon değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum ağın tahmin ile gerçek değerler arasında çok az hata yaptığı ve aynı zamanda tahmin değerlerinin gerçek değerlerle kuvvetli bir ilişkisi olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma sonucunda, MATLAB programı yardımıyla fotovoltaik hücrelerin verimli bir şekilde kullanılabilmesine olanak sağlayan bir Yapay

Sinir Ağı modeli oluşturulmuştur. Bu model Fotovoltaik hücrenin gerilim değerleri üzerinden bir verim tahmini yapmaktadır. Elde edilen ağırlık değerleri dikkate alınarak C tabanlı herhangi bir program ile bu model uygulamaya geçirilebilir. Bu uygulama bir fotovoltaik sisteme entegre edilerek sistemin daha verimli bir şekilde çalışması sağlanmış olacaktır. Sonuç olarak enerji elde etme açısından son derece önemli bir konuma ulaşmış olan ve önemi gün geçtikçe artan fotovoltaik sistemlerde Yapay Sinir Ağlarının kullanılmasının daha verimli şekilde enerji elde etmeye yol açacağı düşünülmektedir. Buna karşı olarak sistemin oluşturulması için kullanılan veri belli bir zaman aralığında elde edilmiştir. Zaman aralığı arttırılarak daha fazla veri ile sistemin geliştirilmesi sağlanabilir. Ayrıca tahmin için kullanılan kriterler arttırılarak daha hassas bir tahmin yapılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Ö. Küpeli, **Güneş Pilleri Ve Verimleri**, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [2] A. Batman, **Elektrik Üretimi İçin Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni Bir Yöntem**, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [3] Ş. Oktik, 2001, **Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözelleri ve Güç Sistemleri**, Ankara Temiz enerji Vakfı Yayınları, 40s.
- [4] M. Deveci, **Fotovoltaik Uygulamalar İçin Zno Nanotel Sentezi Ve Elektrooptik Özelliklerin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [5] M. K. Hergün, **Organik Yarıiletkenlerin Katılanması Ve Fotovoltaik Uygulamaları**, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [6] M. Habıbullah, **Rüzgar-Fotovoltaik- Biyogaz Hibrit Güç Sistemlerinin Akıllı Mikro Şebekelerde Kullanımının Kontrol Ve Dizaynı**, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [7] M. A. Köprü, **Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [8] Y. Luoa, Z. Wangb, G. Weia, F. E. Alsaadic, T. Hayate, "State estimation for a class of artificial neural networks with stochastically corrupted measurements under Round-Robin protocol", *Neural Networks*, Vol 77, P 70–79, 2016.
- [9] E. Öztemel, **Yapay Sinir Ağları**, Popatya Yayıncılık, 3, İstanbul, 2012.
- [10] K. Donuk, **Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemlerde Üretilen Enerjinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini**, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [11] S. D. Erdoğan, **Fotovoltaik Sistemlerde Yapay Sinir Ağları İle Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı**, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [12] A. A. Kulaksız, **Maksimum Güç Noktası İzleyicili Ve UVM İnverterli Fotovoltaik Sistemin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Kontrolü**, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [13] A. Mellit, M., Menghanem, M. Bendekhis, "Artificial neural network model for prediction solar radiation data: application for sizing stand-alone photovoltaic power system", *In Power Engineering Society General Meeting*, IEEE, pp. 40-44, 2005.
- [14] F., Bonanno, G., Capizzi, G., Graditi, C., Napoli, G. M., Tina, "A radial basis function neural network based approach for the electrical characteristics estimation of a photovoltaic module" *Applied Energy*, 97, 956-961, 2012.
- [15] A., Mellit, A. M. Pavan, "A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy." *Solar Energy*, 84(5), 807-821, 2010.
- [16] A., Yona, T., Senju, A. Y., Saber, T., Funabashi, H., Sekine, C. H., Kim, "Application of neural network to one-day-ahead 24 hours generating power forecasting for photovoltaic system." *In Intelligent Systems Applications to Power Systems*, 2007. ISAP 2007. International Conference on (pp. 1-6). IEEE, 2007.
- [17] A., Mellit, A. M., Pavan, "Performance prediction of 20kW p grid-connected photovoltaic plant at Trieste (Italy) using artificial neural network." *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2431-2441, 2010.
- [18] A. G. R., Vaz, B., Elsinga, W. G. J. H. M., van Sark, M. C., Brito, "An artificial neural network to assess the impact of neighbouring photovoltaic systems in power forecasting in Utrecht, the Netherlands." *Renewable Energy*, 85, 631-641, 2016.
- [19] F., Almonacid, E. F., Fernandez, A., Mellit, S., Kalogirou, "Review of techniques based on artificial neural networks for the electrical characterization of concentrator photovoltaic technology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 938-953, 2017.
- [20] İ., Ceylan, E., Gedik, O., ErKaymaz, A. E., Gürel, "The artificial neural network model to estimate the photovoltaic modul efficiency for all regions of the Turkey." *Energy and Buildings*, 84, 258-267, 2014.
- [21] A., Rezvani, M., Gandomkar, "Modeling and control of grid connected intelligent hybrid photovoltaic system using new hybrid fuzzy-neural method." *Solar Energy*, 127, 1-18, 2016.
- [22] A., Rezvani, A., Khalili, A., Mazareie, M., Gandomkar, "Modeling, control, and simulation of grid connected intelligent hybrid battery/photovoltaic system using new hybrid fuzzy-neural method." *ISA transactions*, 63, 448-460, 2016.
- [23] T. Çakar, A. K. Türker ve A. Toraman. "İmalat sistemlerinin tasarlanmasında Yapay Sinirsel Ağların Kullanılması" **Birinci Ulusal Zeki İmalat Sistemleri Sempozyumu ZİS'96'da Sunulan Bildiri**, Sapanca-Sakarya, 30-31, Mayıs, 1996.
- [24] Ö. Efe, O. Kaynak, **Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları**, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Basım No:696, İstanbul, 2002.
- [25] B. Eren, ve S.M. Turp, "Sızıntı Suyundan Nikel (Iı) İyonları Giderim Veriminin Yapay Sğnr Ağları ile Tahmin Edilmesi", *Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0161, 6, (1), 398-405 2011.
- [26] K. Mathiyalagan, H. Su, P. Shi, R. Sakthivel, "Exponential H_∞ Filtering For Discrete-Time Switched Neural Networks With Random Delays", *IEEE Transactions on Cybernetics*, 45(4), 676–687, 2015.
- [27] P. Shi, Y. Zhang, R. K. Agarwal, "Stochastic finite-time state estimation for discrete time-delay neural networks with Markovian jumps", *Neurocomputing*, 151, 168–174, 2015.

- [28] Z. Wang, D. W. Ho, X. Liu, "State estimation for delayed neural networks", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16(1), 279–284, 2005.
- [29] Z. Wang, Y. Liu, X. Liu, "State estimation for jumping recurrent neural networks with discrete and distributed delays", *Neural Networks*, 22(1), 41–48, 2009.
- [30] T. Aydođan, S. ömlekçi ve M. Albayrak, "Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Yeteneği Uygulaması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 5-10, 2000.
- [31] K.P. Singh, A. Basant, A. Malik, G. Jain, "Artificial Neural Network Modeling Of The River Water Quality—A Case Study", *Ecological Modelling*, Volume:220, Number:6 , 888-895, 2009.
- [32] N.S. Kaveh, S.N. Ashrafizadeh, F. Mohammadi, "Development of an artificial neural network model for prediction of cell voltage and current efficiency in a chlor-alkali membrane cell" *Chemical Engineering Research and Design*, Volume:86, Number:5, 461-472, 2008.
- [33] E. Dođan, A. Ateş, E.C. Yılmaz, B. Eren, "Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatment Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand" *Environmental Progress*, Volume:27, Number:4 , 439-446, 2008.