

## Çukurova Bölgesi için Kısa Vadeli Yapay Zeka Tabanlı Rüzgar Güç Tahmini

Pırl TEKİN\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-2326-7571

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 22.04.2022 Kabul tarihi: 29.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: TEKİN, P., (2022). Çukurova Bölgesi için Kısa Vadeli Yapay Zeka Tabanlı Rüzgar Güç Tahmini. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1143-1153.

### Öz

Son yıllarda hızla artan nüfus ve sanayi artışının yarattığı enerji ihtiyacı kısıtlı kaynaklarla karşılanamaz hale gelmiştir. Enerji üretimi ve tüketimi arasında oluşan farklılıklar, kısıtlı kaynakların yerini yenilenebilir enerjilerin gelişimine bırakmıştır. Sağlığımızı tehdit eden unsurları en aza indirmeyi planlayan Avrupa Yeşil Mütabakatı, 2030 yılına kadar dünya genelinde yenilenemez enerjilerin kullanımını minimum seviyelere indirecektir. Ayrıca iklim krizinin, sera gazı salımını önemli ölçüde etkileyeceği ve doğaya zarar vereceği öngörülmektedir. Karbon emisyonunun sıfıra indirilebilmesi prensibinde, rüzgar gücü tahmini çalışmaları oldukça önemlidir. Ancak rüzgar enerjisinde yaşanan sıkıntı, üretiminin meteorolojik şartlar doğrultusunda sürekli değişmesidir. Voltaj ve frekans değişikliklerinin yarattığı enerji kararsızlığının önüne geçilebilmesi için denge şebekelerdeki üretim ve tüketimin sürekli olarak sağlanması gerekmektedir. Sistemlerin modelleme süresini ve doğruluğunu etkileyen rüzgar hızındaki doğrusal olmayan bu değişiklikler, enerjisi kayıplarının en aza indirilebilmesi için önemlidir. Bu çalışmada, Çukurova Bölgesi'nden elde edilen gerçek kısa vadeli rüzgar gücü verileri araştırma nesnesi olarak alınmış, MPE-MAPE tasarlanan tahmin modellerinin performans indekslerini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar tahmini, Yapay zeka, İleri tahminleme, Kısa vade, Yapay sinir ağı, ANFİS, Bulanık tabanlı sinir ağı modeli

### Short Term Artificial Intelligence Based Wind Power Forecasting for Çukurova Region

#### Abstract

In recent years, the energy need created by the rapidly increasing population and industrial growth has become unable to be met with limited resources. The differences between energy production and consumption have left the place of limited resources to the development of renewable energy sources. The European Green Deal, which plans to minimize the threats to our health, will reduce the use of non-renewable energies around the world to minimum levels by 2030. In addition, it is predicted that the

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Pırl TEKİN, ptekin@atu.edu.tr

climate crisis will significantly affect greenhouse gas emissions and harm nature. Because of these, wind speed estimation studies are very important in the principle of reducing carbon emissions to zero. However, the problem experienced in wind energy is that its production is constantly changing in line with meteorological conditions. In order to prevent the energy instability caused by voltage and frequency changes, the production and consumption in the balance networks must be ensured continuously. These nonlinear changes in wind speed, which affect the modeling time and accuracy of the systems, are important for minimizing energy losses. Within the scope of the study, real short-term wind power data obtained from Çukurova Region is taken as research object and MPE-MAPE are used to compare the performance indexes of the designed forecast models.

**Keywords:** Wind estimation, Artificial intelligence, Advanced forecasting, Short term, Artificial neural network (ANN), ANFIS, Fuzzy

## 1. GİRİŞ

Küresel ısınma ve elektrik üretimi için kullanılan kısıtlı enerji kaynaklarının doğaya verdiği zararlar, son yıllarda enerji kaynaklarına olan önemi giderek artırmıştır. Doğaya verilen zararlardan dolayı yaşanan iklimsel değişiklikler, dünya genelinde etkilerini gösterecek iklim krizini tetikler niteliktedir. Kısa bir zaman içerisinde karşı karşıya kalınacak olan bu iklim krizinin zararlarını en aza indirmek ve sera gazı emisyonunu sifıra indirebilmek amacıyla açıklanan Avrupa Yeşil Mütabakat kapsamında, kirliliği azaltan, biyolojik çeşitlilik kaybını önleyen, iklim değişikliklerini durduran döngüsel bir ekonomi planı ile kaynakların daha verimli ve temiz kullanımının sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda Paris İklim Anlaşması aracılığıyla dünya genelinde tüm ülkelerden çeşitli taahhütler alınarak, doğa dostu enerji kavramı desteklenmeye başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oldukça önem kazandığı bu dönemde, ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli de göz önüne alındığında güneş ve rüzgar enerjisi ön plana çıkmaktadır. Özellikle dışa bağımlılık probleminin yaşanmaması ve hammadde kıtlığının en aza indirgenmesi amacıyla rüzgar enerjisi kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmaktadır. Doğaya verdiği zarar minimizasyonu ve kurulumunda güneş enerjisi tarlaları kadar yer kaplamaması dolayısıyla günümüzde rüzgar enerjisi, önemini daha da artırmıştır. Ancak rüzgar enerjisinin doğru planlama ile üretilmesi ve verimli kullanılıp dağıtılabilmesi için, rüzgar enerjisi üretim tahminlerinin de en doğru şekilde yapılması gerekmektedir [1].

Doğanın ayrık yapısı nedeniyle periyodik olarak değişen rüzgar hızı ve yönü ciddi enerji dalgalanmalarına neden olmaktadır. Elektrik elde edilmesinde önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanan rüzgar enerjisinde sistemin dengede kalması, kullanıcı ve operatörler içinde oldukça önemlidir. O halde meteorolojik şartlara bağlı olarak değişkenliğin yüksek düzeyde olduğu bu enerji sistemlerinde kısa süreli enerji tahminlerinin yapılması, doğruluk payı daha yüksek sonuçlar vereceğinden daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu sayede de ülkemizde rüzgar üretim potansiyeli güncel olarak hesaplanarak, ekonomi ve enerji sürdürülebilirliğine katkı sağlanmaktadır.

Son yıllarda, birçok bilim insanı ve araştırmacı, rüzgar enerjisini verimli bir şekilde kullanmak için kısa vadeli rüzgar gücü tahmin yöntemleri konusunda kapsamlı araştırmalar yürütmüştür. Bu kapsamda son yıllarda yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir;

İbrahim ve arkadaşları[2], gerçekleştirdikleri çalışmada, dört sinir ağı tabanlı algoritma: yapay sinir ağı (ANN), konvolüsyonel sinir ağı (CNN), uzun kısa süreli bellek (LSTM) ve LSTM ile CNN'yi birleştiren hibrit model konvolüsyonel LSTM (ConvLSTM), ve bir destek vektör makinesi (SVM) modeli hibritlemesi test etmişlerdir. Test sonuçlarına göre SVM'nin en doğru tahminleri sunmasına rağmen, daha az hesaplama gerektirmesi ve yüksek tahmin doğruluğu nedeniyle ConvLSTM en uygun algoritma olarak seçilmiştir.

Liu ve arkadaşları [3], daha tatmin edici tahmin hassasiyeti ve kararlılığı elde etmek için çok amaçlı optimizasyon algoritması kullanmışlardır. Çoklu tahmin modelleri, rüzgar hızı tahmini için birleşik bir model oluşturmak üzere çalışmaya entegre edilmiştir. Geliştirilen tahmin sisteminin özelliklerini doğrulamak için, gerçek veriler ile vaka çalışmaları yapılmış, nokta tahmini ve aralık tahmin sonuçlarının, tahmin sisteminin tahmin kesinliği ve istikrarı açısından araştırmadaki tüm karşılaştırmalı modelleri olumlu bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, çalışmada geliştirilen sistemin tahmin hassasiyetini artırmak için son derece kullanışlı olduğu ve akıllı şebeke programlaması için makul ve geçerli bir araç kabul edilebileceği belirtilmiştir.

Zhang ve arkadaşları [4], rüzgar gücü tahmininin doğruluğunu etkin bir şekilde artırabilen VMD algoritması (varyasyonel mod ayrıştırma algoritması) yardımıyla geliştirilmiş GA-ANN'ye dayalı Kısa Vadeli Rüzgar Gücü Tahmin Modeli önermiştir. Çalışmada genetik algoritmanın global optimizasyon yeteneği ile yapay sinir ağı, tahmin performansını iyileştirmek için optimize edilmiştir. VMD tarafından geliştirilmiş GA-ANN'ye dayalı kısa vadeli rüzgar gücü tahmin modeli ile hiyerarşik kümeleme yöntemiyle geçmiş veriler aracılığıyla rüzgar hızının periyodik dalgalanmasının bulabildiği, böylece modelin kısa vadeli rüzgar gücü tahmininin doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu araştırma çalışması ile güç sisteminin ilgili departmanlarının, elektrik şebekesi işletimi risklerini doğru bir şekilde değerlendirmesine, makul bir üretim planı yapmasına, güç işletiminin maliyetini etkin bir şekilde düşürmesine ve yeşil enerjinin gelişimini büyük ölçüde teşvik etmesine yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Hur [5], çalışmasında iki farklı aşamadan oluşan rüzgar gücü tahmin şeması sunmaktadır. Tahmin şemalarının ilk aşamasında, 3 boyutlu rüzgar alanı modeli ve doğrusal olmayan rotor modeline dayalı olarak tasarlanan Genişletilmiş Kalman filtresi kullanılarak modelleme gerçekleştirilmiştir. Devam eden tahmin aşamasında ise ekstrapolasyon ve makine öğrenimi yöntemleri kullanılmıştır. Bu entegre rüzgar gücü tahmin şeması, aslına uygun

bir aeroelastik modelden elde edilen veriler kullanılarak çalışma kapsamında test edilmiştir.

Jiang ve arkadaşları [6], çalışmalarında optimal alt model seçimi, değiştirilmiş çok amaçlı optimizasyon algoritmasına dayalı nokta tahmini, dağılım uydurmaya dayalı aralık tahmini ve tahmin sistemi değerlendirmesi olmak üzere dört bölümden oluşan birleşik bir tahmin sistemi önermiştir. Geliştirilen sistem için yapılan deneysel sonuçlar, önerilen kombine tahmin sisteminin etkili rüzgar hızı noktası ve aralığı tahminleri sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca önerilen sistemin, elektrik güç sistemlerinin programlanması ve yönetimi için diğer kıyaslama modellerine göre daha kullanışlı olduğu tespit edilmiştir.

Li ve arkadaşları [7], çalışmalarında geleceğin tahmin doğruluğunu artırmak ve rüzgar ivmesini entegre etmek için yeni bir Markov tahmin modeli önermektedir. Önerilen yöntemde Geçiş Olasılığı Matrisi (TPM) hesaplanarak, Markov zincirindeki temel durum geçiş mekanizmalarını yönetmesi sağlanmaktadır. Çalışmada önerilen yöntemin, gelişmiş tahmin doğruluğu ve ek bilgileri tahmin modeline kodlamak için mükemmel esneklik gibi çeşitli avantajlara sahip olduğu vaka çalışmalarıyla doğrulanmıştır.

Zhang ve arkadaşları [8], yeni bir rüzgar gücü tahmin şeması önermiştir. İlk olarak, geliştirilmiş hibrit bir model kullanılmış, ardından iyileştirilmiş parçacık sürüsü optimizasyon algoritması tarafından optimize edilen uzun ve kısa süreli bellek sinir ağı, doğrusal olmayan diziyi ve gürültü dizisini eğitmek için kullanılmış; son olarak da doğrusal diziyi eğitmek için otheregresif hareketli ortalama modeli kullanılmıştır. Bu kapsamda, önerilen kombinasyon tahmin modelinin net bir yapıya ve tahmin sonuçlarının yüksek doğruluk payına sahip olduğu yapılan vaka çalışmalarıyla tespit edilmiştir.

Kosanoğlu ve arkadaşları [9], çalışmaları kapsamında dört farklı Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) modelini rüzgâr enerjisi üretim tahminlemesi için kullanmışlardır. Çalışmalarında saatlik tahmin yapılarak modellerden elde edilen

performans sonuçları değerlendirilmiş, TSA yöntemlerinin rüzgâr gücü tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve geleneksel zaman serisi yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Tang ve arkadaşları [10], ele aldıkları bu çalışmada rüzgar enerjisindeki mekansal ve zamansal değişimini analiz etmişlerdir. Araştırma sonucunda; çalışma alanındaki rüzgar enerjisi kaynaklarında önemli mevsimsel farklılıklar olduğu ve çalışma alanındaki rüzgar enerjisinin önemli bölgesel özelliklere sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca rüzgar enerjisi kaynaklarının, esas olarak küresel ısınmanın neden olduğu büyük ölçekli okyanus ve atmosferik sirkülasyon modellerindeki değişiklikler nedeniyle 2010'dan bu yana kademeli olarak arttığı tespit edilmiştir.

Wickramasinghe ve arkadaşları [11], çalışmalarında makine öğrenimi ve istatistiksel teknikler kullanılarak yeni bir rüzgar enerjisi tahmin modeli geliştirmiş, bu model bir rüzgar çiftliği için çalışma kapsamında test edilmiştir. Modellemede girdi değişkeni olarak rüzgar hızı ve ortam sıcaklığı, çıktı değişkeni ise günlük rüzgar enerjisi üretimi olarak seçilmiştir. Rüzgar enerjisi ile her bir hava durumu indeksi arasındaki korelasyon Pearson ve Spearman korelasyon katsayıları kullanılarak araştırılmış, günlük rüzgar enerjisi çıktısının her iki günlük ortalama girdi değişkeni ile pozitif olarak ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) ve Güç Regresyonunun (PR) istatistiksel tahmin modelleri, Destek Vektör Regresyonu (SVR), Gaussian Süreç Regresyonu (GPR), İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Sinir Ağı (FFBPNN), Kademeli İleri Geri Yayılımlı Sinir Ağı (CFBPNN) ve Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) makine öğrenmesi teknikleri geliştirilmiştir. Tahmin modellerinin doğruluğu, belirleme katsayısı, yüzde kök ortalama kare hatası (RMSE) sapması ve Nash-Sutcliffe Verimliliği (NSE) açısından ölçülmüş; performans değerlendirmesinin sonuçları, tüm modellerin yüksek doğrulukta olduğunu gösterirken, FFBPNN tabanlı modelin ise, çok düşük hata ile olağanüstü bir performans sergilediği belirlenmiştir.

Yang ve arkadaşları[12], Avrupa'nın beş iklim bölgesi üzerinde gelecekteki yenilenebilir enerji potansiyelini tahmin etmede iklim belirsizliklerinin etkisini ölçmek için kapsamlı bir çalışma sunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, GCM'lerin (küresel iklim modellerinin) neden olduğu belirsizliğin, yenilenebilir enerji üretiminin projelendirilmesinde en önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. İklim değişikliği belirsizliklerinin, güneş PV ve rüzgar enerjisi potansiyeli için yol açtığı farklılıklar belirlenmiştir. Ayrıca güneş radyasyonunda iklim değişikliği sinyalinin senaryolar arasında ve zamanla nasıl etkilediği ve rüzgar üretimine olan etki oranları vaka çalışmalarıyla çalışma kapsamında sunulmuştur.

Zhang ve arkadaşları [13] çalışmalarında tekil değer ayrıştırma (SVD) ile birleştirilmiş uyarlamalı gürültü (CEEMDAN) ile tam topluluk ampirik mod ayrıştırmasına dayalı bir sinyal işleme yöntemi önermektedir. Araştırma kapsamında içsel mod işlevlerini (IMFs) tahmin etmek için parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO) ve otoregresif entegre hareketli ortalama modeli (ARIMA) ile optimize edilmiş Elman sinir ağları kullanılmıştır. Önerilen model yardımıyla, rüzgar hızı tahmininin etkisini iyileştirebildiği, tahmin hatasını azaltabildiği ve rüzgar çiftliklerinin istikrarlı çalışması ve enerji santrallerinin şebeke bağlantısı için güçlü destek sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda rüzgar enerjisinin, dünyadaki kullanımı en çok artan yenilenebilir enerji kaynağı olduğu ve çevre dostu olması sebebiyle dünya genelinde öncelikli tercih haline gelmiştir. Rüzgar tribünleri olarak kullanılan birçok farklı çeşit olmasına rağmen yatay eksenli rüzgar türbinleri, günümüzde kullanılan başlıca büyük türbin çeşidi olarak tanımlanmaktadır. Hem araştırmacılar arasında hem de ticari boyutu dolayısıyla büyük ilgi gören bu tribün türü, ele alınan çalışmada verileri incelenen rüzgar santralinde kullanılmakta olup, araştırma kapsamında 100.000 gerçek data işlenmiştir. Yapay Sinir Ağı'nda (YSA) %70 - %30 test ve eğitim datası sırayla alınmış, çalışmada rüzgar tribünü çıkış gücü tahmini

yapılmıştır. Yatay eksenli rüzgar tribünlerinin hızı, rüzgar hızı, kanat açısı, hava basıncı ve zaman girdi olarak alınmış ve sistem modellemesi gerçekleştirilmiştir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Rüzgar Gücü Tahminleme Modelleri

Günümüzde enerji üretim maliyetlerinin artması, lisanssız GES ve RES yönetmelikleri ve üretim-tüketime göre fiyatladırılmalar sebebi ile tahminleme çalışmalarının önemi gitgide artmaktadır. Literatürde yapılan tahminleme çalışmaları incelendiğinde, kısa, orta ve uzun süreli tahminlemelerin yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde modellemelerin yapay sinir ağı (YSA), bulanık mantık, ANFİS ve melez tabanlı oldukları tespit edilmiştir. Ele alınan bu çalışmada, literatürde en yaygın karşılaşılan, uygulama kolaylığına sahip, performansı ve doğruluk payı yüksek üç model karşılaştırılmış olup, materyal ve metot kısmında bu üç modelin detaylı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

#### 2.1.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. YSA ile basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli taklit edilir. Yani biyolojik nöron hücrelerinin ve bu hücrelerin birbirleri ile arasında kurduğu sinaptik bağın dijital olarak modellenmesidir [5,9]. Yapay sinir ağı modelleri tek katmanlı algılayıcılar, çok katmanlı algılayıcılar, ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları olmak üzere dört grupta incelenebilir. Tek katmanlı ağlar, sadece girdi ve çıktıdan oluşur.

YSA'lar kullanıldığında analitik olmayan, doğrusal olmayan ve stokastik tipteki çok karmaşık problemler sınırlı programlama bilgisi ile çözülebilmektedir. Literatüre göre Yapay Sinir Ağı yöntemleri arasında ileri beslemeli sinir ağları (FFNN), radyal tabanlı sinir ağları (RBNN) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN) bulunmaktadır. Bununla birlikte, geri yayılım (BP)

algoritması, çok katmanlı FFNN'lerde en yaygın denetimli eğitim algoritmalarıdır. Geri yayılım algoritması (BP), çıktının mevcut olduğu tek katman olduğu için, çıktı katmanını hesaplayarak başlar. Bu nedenle ara katmanlar için çıktılar mevcut değildir.

YSA'da giriş değerleri ve her giriş için ağırlık değerleri ( $W_0$ ) mevcuttur. Girilen değer ile ağırlıklar ( $W_0$ ) çarpıldıktan ( $W_n X_n$ ) sonra tüm çarpım değerleri toplama fonksiyonu ile birlikte toplanarak sistemin net girdi değeri elde edilir. Net giriş değerine bias ( $b$ ) eklendikten sonra aktivasyon fonksiyonuna iletilir ve bir çıkış değeri ( $Y$ ) elde edilir.

Yapay Sinir Ağı mimarisinde girdi değişken sayısının az veya çok olması sonucun kesinliğini doğrudan etkiler. Mevcut veri setindeki ilişkiler analiz edilir ve tahmin edilen değer üzerinde büyük etkisi olan bağımsız değişkenler girdi değişkenleri olarak seçilir. Çıktılar ise, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen ve tahmin edilen değerlerdir. Toplama işlevi, toplam net girdiyi hesaplamak için kullanılan işlevdir. Hesaplama sırasında minimum, maksimum veya kümülatif toplam fonksiyonları kullanılır.

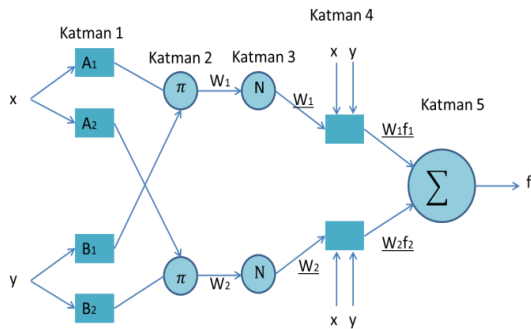
Transfer fonksiyonu matematiksel bir fonksiyondur. Toplama fonksiyonunun çıktısının net girdi değerini alır ve bunu bir çıktıya dönüştürür. Doğrusal ve doğrusal olmayan iki tür aktivasyon fonksiyonu vardır. Doğrusal fonksiyonların kapasitesi daha sınırlıyken, doğrusal olmayan problemleri sonuçlandırmak için modellerde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları kullanılır.

#### 2.1.2. Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS)

ANFİS, yapay sinir ağlarının paralel hesaplamasını ve bulanık mantığın öğrenilebilirliğini kullanan hibrit bir yapay zeka yöntemidir. ANFİS'de bulanık bir sistem oluşturmanın başlangıç noktası 'eğer-ise' kuralının oluşturulmasıdır. Bu amaç için etkili bir araç olan ANFİS, verileri gerekli bulanık kurallara dönüştürebilen bir yöntemdir. YSA'nın

öğrenme yeteneği ile insan benzeri kararlar verme kolaylığı gibi bulanık mantık avantajlarını birleştirme fikrine dayanan ANFİS sistemi uyarlanabilir ağlar ve doğrudan bağlı düğümlerden oluşur [7,12,14].

Şekil 1’de ANFİS Modelinin genel ifadesine yer verilmiştir. Burada belirtilen her düğüm bir işlem birimini temsil etmektedir.

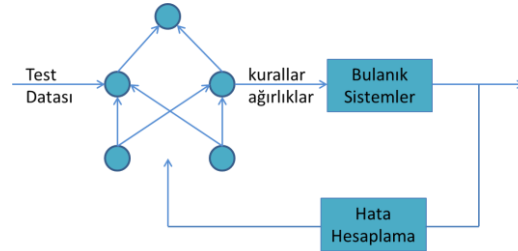


Şekil 1. ANFİS Modeli [14]

ANFİS yönteminin uygulanabilmesi için genelde giriş ve çıkışa dayanan bir veri kümesine ihtiyaç duyulmaktadır. Seçilen üyelik fonksiyon adedi ve tipine bağlı olarak kurulan model bir öğrenme algoritması kullanılarak oluşturulur. Yöntemin oluşturduğu bulanık mimarisi ‘eğer-ise’ kurallar kümesini kullanır. ANFİS mimarisi, ağırlık tamamlanması ile hedef değer arasındaki farkı, yani hatayı minimum yapacak şekilde parametrelerle belirlenmesi suretiyle oluşturulur. Teorik olarak, ANFİS herhangi bir sürekli fonksiyona mükemmel yaklaşabilir.

### 2.1.3. Bulanık Mantık Tabanlı Yapay Sinir Ağı (Fuzzy NN)

Bulanık-Sinir ağı; yapay sinir ağlarının (YSA) öğrenme ve en uygununu bulma yeteneği ile, bulanık mantığın insan gibi karar verebilme ve uzman bilgisi sağlama üstünlüklerinin birleştirilmesi esasına dayanan bir modelleme sistemidir [11,13]. Bulanık Sinir Ağı Genel Modelinin çalışma prensibi, Şekil 2’de verildiği gibi özetlenebilir.



Şekil 2. Bulanık Sinir Ağı Genel Modeli

Bir problemi çözmek için sadece sinir ağları değil aynı zamanda bulanık sistemler de kullanılır (ör. örüntü tanıma, regresyon veya yoğunluk tahmini). Yapay sinir ağları, problem yeterli sayıda örnek yardımıyla tanımlandığında doğru sonuçlar verebilir. Bu örnekler kara kutu tarafından eğitilmiştir. Bu nedenle, problemle ilgili önceki bilgilerin verilmesine gerek yoktur.

Ele alınan çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağı, ANFİS ve Bulanık Sinir Ağı Modeli ile kısa dönemli rüzgar gücü tahmini yapılmıştır. Yapılan analizler MATLAB 2022-A Programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin ağ yapıları beş giriş ve bir çıkışa sahiptir. Giriş parametreleri, rüzgar hızı, tribün hızı, kanat açısı, hava basıncı ve zaman gibi meteorolojik veriler kullanılarak seçilmiştir. Çıkış parametresi ise rüzgar tribünleri çıkış gücüdür. YSA metodu kullanımında, ilk olarak problemin amacı doğrultusunda giriş ve çıkış katmanlarını içeren nöron sayıları belirlenmiştir. Çalışmada çıkış parametresi için kullanılan katman sayısı birdir. Giriş parametresi olarak kullanılan beş farklı parametre için belirlenen katman sayısı ise beştir. Modelleme mimarisinde gizli katman nöron sayısı on olarak belirlenmiş, deneme ve hata payı sonuçlarına göre en iyi yöntem tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla kullanılan her üç yöntem için 100.000 data işlenmiş olup, Yapay Sinir Ağları’nda %70 - %30 testing ve training dataları sırasıyla alınmıştır. Eğitim için Çukurova Bölgesi’nde bulunan bir rüzgar tribün santralının 2020-2021 yıllarına ait 6 aylık, saatte 6 data içeren (10 dakikaya bir alınan) gerçek veri seti kullanılmıştır.

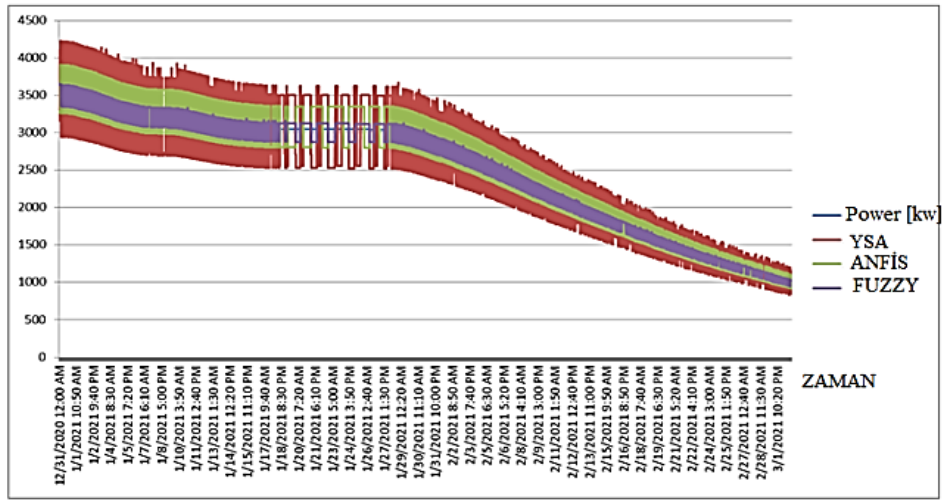
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde modelleme mimarisine göre kurulan sistemler incelenmiş, deneme ve hata payı sonuçlarına göre en iyi yöntem tespit edilmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Şekil 3’de kullanılan tüm yöntemlerin tahmin sonuçları detaylı olarak incelenmiştir. Dataların

alındığı tarih aralığında gerçek rüzgar gücü datalarına en yakın tahminlemeyi mor renkte gösterilen fuzzy modelinin gerçekleştirdiği açıkça görülmektedir. Fuzzy sonuçlarının çevresinde yer alan ve en iyi ikinci tahminlemeyi gerçekleştiren model (yeşil renkli) ise ANFİS modeli olarak belirlenmiştir.

SAPMA DEĞERİ



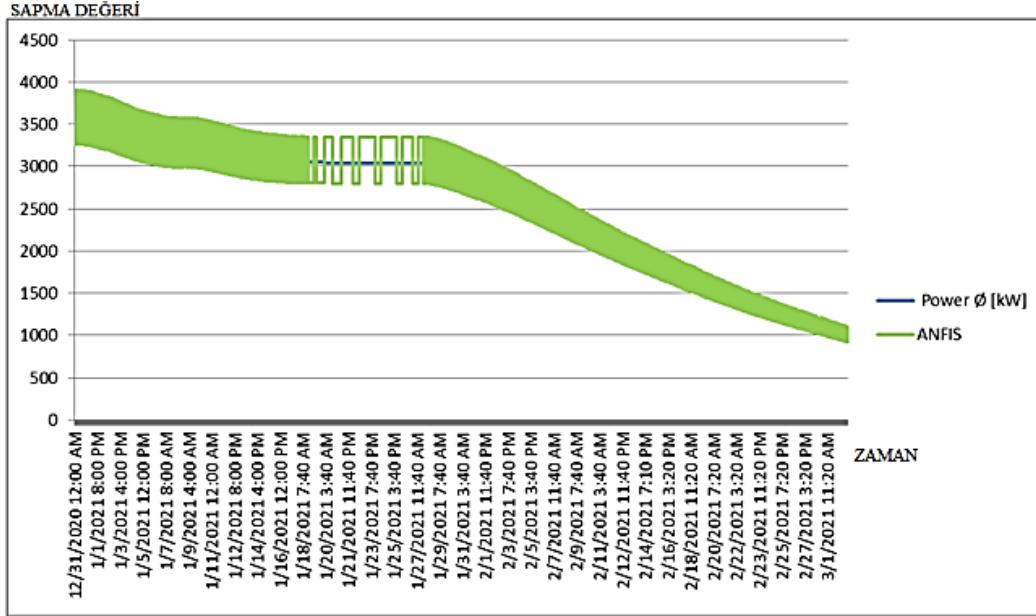
Şekil 3. YSA, ANFİS ve Fuzzy modellerinin gerçek çıktı değerleri ile karşılaştırılması

Şekil 4’de geleneksel YSA modeli ile elde edilen değerleriyle karşılaştırılması ayrıntılı olarak rüzgar gücü tahminlerinin gerçek rüzgar gücü verilmiştir.

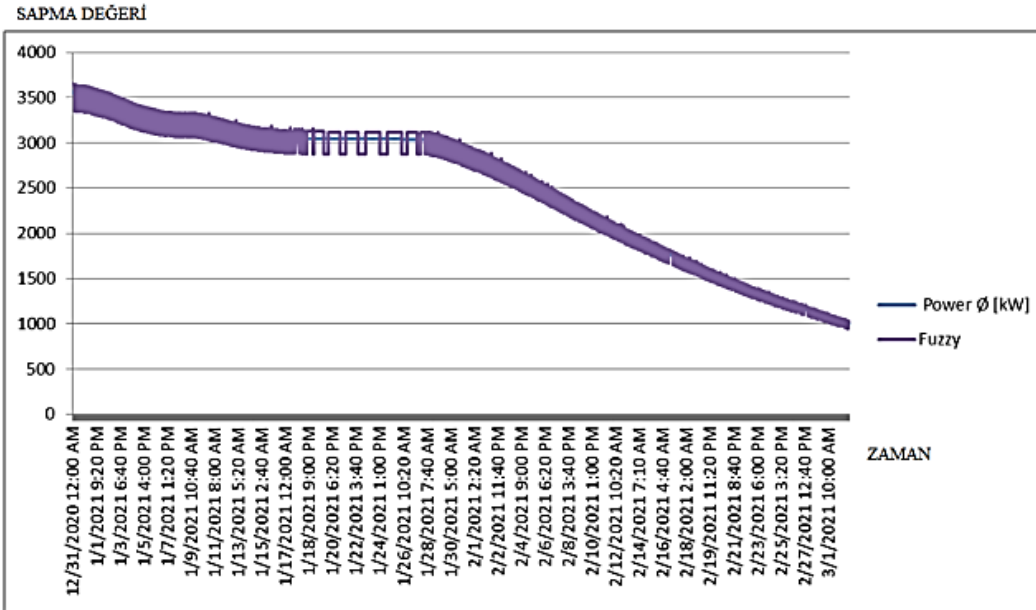
SAPMA DEĞERİ



Şekil 4. Gerçek data değerleri ile geleneksel YSA’ya dayalı tahmin modeli karşılaştırılması



Şekil 5. Gerçek data değerleri ile ANFİS'e dayalı tahmin modeli karşılaştırılması

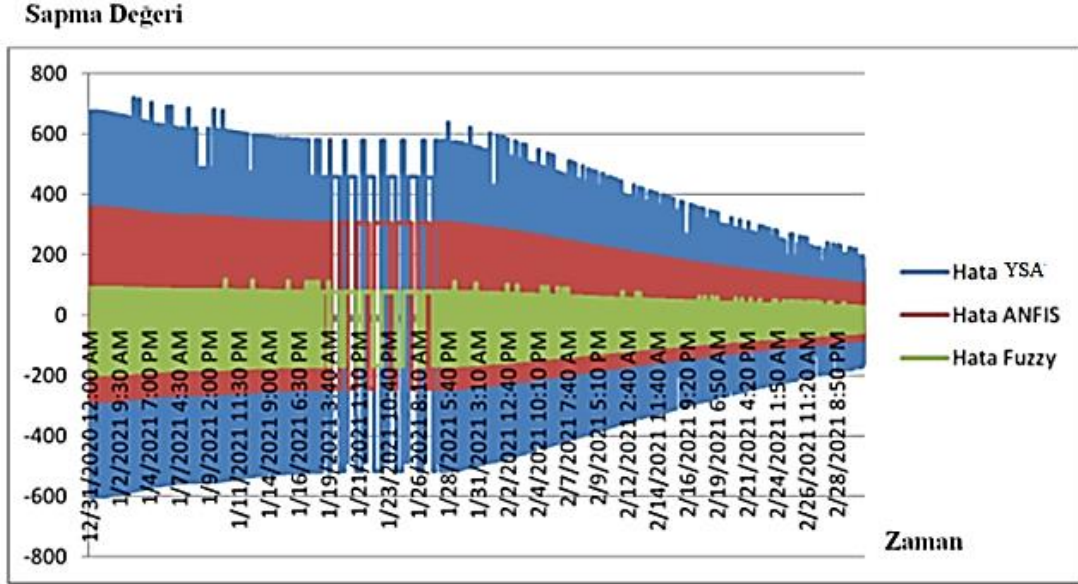


Şekil 6. Gerçek data değerleri ile Fuzzy'e dayalı tahmin modeli karşılaştırılması

Şekil 5'de ANFİS'e dayalı rüzgar gücü tahmin modeli sonuçları ile gerçek değerler karşılaştırılmıştır.

Şekil 6'da ise Fuzzy yaklaşımı kullanılarak elde edilen rüzgar çıktılarının gerçek değerlerle karşılaştırılması sunulmuştur.





**Şekil 7.** Gerçek rüzgar gücü değerleri ile tahmin edilen rüzgar gücü data değerleri arasındaki farkların karşılaştırılması

Şekil 7’de rüzgar tribününden elde edilen gerçek verilerin, kullanılan 3 farklı yöntem için hata payları karşılaştırılması yapılmıştır. Gözlenen çıktılar için hata payı başarı oranının en yüksek olduğu modelin (0’a en yakın olan alanda yayılan veri setlerine sahip olduğu için) fuzzy modeli olduğu açıkça görülmektedir.

Ortalama Yüzde Hata (Mean Percentage Error – MPE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error – MAPE) hesaplamaları bir yöntemin doğruluk payı karşılaştırmaları için kullanılan en güçlü yöntemlerdendir. Literatürde; %10’un altında olan MAPE değerine sahip modellerin ‘çok iyi’, %10 ile %20 arasındaki değere sahip modellerin ‘iyi’, %20 ile %50 arasında hata payına sahip modellerin ‘kabul edilebilir’, %50’den daha büyük MAPE değerine sahip modellerin ise ‘yanlış ve hatalı’ olduğu belirtilmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında, makale çerçevesinde kurulan üç farklı modelin MAE, MAPE ve RMSE değerleri Çizelge 1’de gösterilmiştir. Elde edilen MAPE değerleri değerlendirmesinde, en iyi doğruluk payına Fuzzy modelinin sahip olduğu açıkça görülmektedir.

**Çizelge 1.** MAPE-RMSE-MAE Tablosu

	MAPE	RMSE	MAE
<b>Fuzzy</b>	1.3721	5.132	4.924
<b>ANFIS</b>	1.6471	7.631	6.681
<b>ANN</b>	2.2841	10.484	8.742

Çizelge 2’de açıkça görüldüğü üzere, sistemin birinci ve ikinci gizli katmana göre eğitim dataları (Training Data Sets) Normalized Mean Square Error (NMSE) değerleri için en doğru sonuca yine Fuzzy uygulamasıyla vardığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 2.** MAPE-RMSE-MAE tablosu

	Hidden layer 1	Hidden layer 2	Error training (NMSE)
<b>Fuzzy</b>	12	-	0.000973
<b>ANFIS</b>	6	4	0.000852
<b>ANN</b>	6	6	0.000641

#### 4. SONUÇLAR

Kısa vadeli rüzgar gücü tahmini, elektrik şebekelerinin bütünlüğü ve kararlılığı için önemli

bir konudur. Özellikle ilerleyen yıllarda gerçekleştirilmesi zorunlu hale gelen Avrupa Birliği Yeşil Mütebakatı ile bu yenilenebilir enerji kaynağının verimli kullanımı daha da önem kazanmıştır. Bu çerçevede ele alınan çalışma kapsamında, Çukurova Bölgesi'nde rüzgar hızı, tribün hızı, kanat açısı gibi verilerden oluşan saatlik zaman serileri kullanılarak YSA, ANFİS ve Bulanık Tabanlı Sinir Ağı (Fuzzy) modelleri tahminlemesi yapılmıştır. Sonuçlar birbiri ile ve gerçek rüzgar gücü değerleri ile karşılaştırılarak çalışmanın en verimli modeli seçilmiştir.

Ele alınan hibrit yöntemler, doğrusal olmayan dizilerin modellenmesinde ve optimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla seçilen yöntemler arasında ANFİS ve Bulanık Tabanlı Sinir Ağı yöntemlerinin, sığ mimariye sahip YSA'lardan daha iyi olduğu ve rüzgar hızı verilerindeki kararsızlıkları ele alarak ileri doğrulukta rüzgar gücü tahminini geliştirdiği tespit edilmiştir. Tahmin sonuçları regresyon ve hata analizi çerçevesinde değerlendirildiğinde, en iyi sonuçların Bulanık Tabanlı Sinir Ağı (Fuzzy) yöntemi ile elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Modelin doğruluğunu ve kararlılığını ölçmek ve önerilen yöntemleri test etmek için Çukurova Bölgesi'nde yer alan bir rüzgar santralinden elde edilen 100.000 data içeren rüzgar hızı veri seti kullanılmıştır. Bu kapsamda üç model kurulmuş ve performansları gerçek rüzgar tribünü performansları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada rüzgar tribünü çıkış gücü tahmini yapılmıştır. Yatay eksenli rüzgar tribünlerinin hızı, rüzgar hızı, kanat açısı, hava basıncı ve zaman girdi olarak alınmış ve rüzgar güç tahmini çıkış verisi alınarak sistem modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Hata payları karşılaştırılmasında; geleneksel YSA yönteminin %11 ile %21 arasında, ANFİS programının %8 ile %10, Fuzzy modelinin ise %2 ile %5 arasında hata payına sahip olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 1'de ve Çizelge 2'de de detaylı paylaşılan bilgiler ışığında iki yöntemin çok iyi, bir yöntemin ise iyi sonuç verdiği MAPE değerlerine göre belirlenmiş olup, en iyi sonucun %3.5 hata payı ile Fuzzy modellenmesi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Fuzzy

yöntemi, rüzgar gücü tahmin performansını en iyi iyileştirme derecesine sahip olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile benzer verilere uygulanacak olan üç farklı mimarinin tahmin performanslarında yüksek performans göstermesi ve gelecek çalışmalara da ışık tutması umulmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Kumar, S., Sahay, K.B., 2018. Wind Speed Forecasting Using Different Neural Network Algorithms. 2018 2<sup>nd</sup> International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech), 1-4.
2. Ibrahim, M., Alsheikh, A., Al, Q., Al-Dahidi, S., Elmoaqet, H., 2020. Short-Time Wind Speed Forecast Using Artificial Learning-Based Algorithms. Computational Intelligent Neuroscience, 2020, 1-15.
3. Liu, Z., Jiang, P., Zhang, L., Niu, X., 2020. A Combined Forecasting Model for Time Series: Application to Short-Term Wind Speed Forecasting. Applied Energy, 259, Article 114137.
4. Zhang, Y., Pan, G., Chen, B., Han, J., Zhao, Y., Zhang, C., 2020. Short-Term Wind Speed Prediction Model Based on GA-ANN Improved by VMD. Renewable Energy, 156, 1373-1388.
5. Hur, S., 2021. Short-Term Wind Speed Prediction Using Extended Kalman Filter and Machine Learning. Energy Reports, 7, 1046-1054.
6. Jiang, P., Liu, Z., Niu, X., Zhang, L., 2021. A Combined Forecasting System Based on Statistical Method, Artificial Neural Networks, and Deep Learning Methods for Short-Term Wind Speed Forecasting, Energy, 217, 119361.
7. Li, W., Jia, X., Li, X., Wang, Y., Lee, J., 2021. A Markov Model for Short Term Wind Speed Prediction by Integrating the Wind Acceleration Information, Renewable Energy, 164, 242-253.
8. Zhang, Y., Li, R., Zhang, J., 2021. Optimization Scheme of Wind Energy Prediction Based on Artificial Intelligence, Environmental Science and Pollution Research, 28, 39966-39981.

9. Kosanoğlu, F., Kiriş, Z., Beyca Ö., 2022. Tekrarlayan Sinir Ağları Temelli Rüzgar Hızı Modelleri: Yalova Bölgesinde Bir Uygulama. Zeki Sistemler Teori ve Uygulama Dergisi, 5(2), 178-188.
10. Tang, C., Tao, X., Wei, Y., Tong, Z., Zhu, F., Lin, H., 2022. Analysis and Prediction of Wind Speed Effects in East Asia and the Western Pacific Based on Multi-Source Data. Sustainability, 14, 12089.
11. Wickramasinghe, L., Ekanayake, P., Jayasinghe, J., 2022. Machine Learning and Statistical Techniques for Daily Wind Energy Prediction. Gazi University Journal of Science, 35(4), 1359-1370.
12. Yang, Y., Javanroodi, K., Nik, V., 2022. Climate Change and Renewable Energy Generation in Europe-Long-Term Impact Assessment on Solar and Wind Energy Using High-Resolution Future Climate Data and Considering Climate Uncertainties. Energies, 15(1), 302.
13. Zhang, Y., Chen, Y., 2022. Application of Hybrid Model Based on CEEMDAN, SVD, PSO to Wind Energy Prediction. Environmental Science and Pollution Research, 29, 22661-22674.
14. Ceylan Z., Bulkan S., 2018. Türkiye Ulaşım Kaynaklı Enerji İhtiyacının Hibrit ANFIS-PSO Metodu ile Tahmini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18, 740-750.

