

YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMLERİ İLE ELEKTRİK TÜKETİMİ ANALİZİ

Şeyma Nur ÜNAL¹

Öz

Enerji konusu ile ilgili yapılmış akademik çalışmalar içerisinde elektrik, ekonominin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Elektrik tüketimi etkileyen birçok faktör bulunmakta olup çalışmada bu faktörler arasında ülkenin toplam elektrik enerjisi üretimi, ihracat, ithalat, sanayi üretim endeksi ve döviz kuru (Dolar/TL) ile ülkenin toplam elektrik tüketim miktarının 2005-2023 yılları verileri alınarak aralarındaki ilişki incelenmiş ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle analiz edilmiştir. Veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB)'dan alınarak Matlab ortamında ölçeklenmiş ve Matlab ortamında YSA modeline uygulanmıştır. Çalışmada YSA yöntemlerinden ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı, elman sinir ağı NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous) sinir ağları kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 2 katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağının performans ölçütü olarak alınan RMSE değeri 0.0157 R değeri ise 0.9976 elde edilerek kullanılan elman ve NARX sinir ağlarından daha iyi bir sonuç elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Elman Sinir Ağı, NARX Sinir Ağı, Elektrik Tüketimi.

ANALYSIS OF ELECTRICITY CONSUMPTION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS METHODS

Abstract

Among the academic studies on energy, electricity constitutes an important part of the economy. There are many factors affecting electricity consumption, and in this study, the relationship between the country's total electricity production, exports, imports, industrial production index and exchange rate (USD/TL) and the country's total electricity consumption for the years 2005-2023 was analyzed and analyzed with the Artificial Neural Network method (ANN). The data are obtained from Turkish Statistical Institute, Turkish Electricity Transmission Corporation, Central Bank of the Republic of Turkey, scaled in MATLAB environment and applied to the model. Feed-forward back-propagation neural network, Elman neural network and NARX neural network were used in the study. In the light of the analysis, it was determined that the RMSE value of the 2-layer feed-forward back-propagation neural network, which is taken as a performance criterion, was 0.0157 and the R value was 0.9976 and a better result was obtained than the Elman and NARX neural networks used.

Keywords: Artificial Neural Network, Elman Neural Network, NARX Neural Network, Electricity Consumption.

¹Dr., seyma-gnr@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-3475-7226

Bu Yayına Atıfta Bulunmak İçin: Ünal, Ş. N. (2024). Yapay sinir ağları yöntemleri ile elektrik tüketimi analizi. *Karabük Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 98-111.

GİRİŞ

Elektrik, insan hayatında önemli bir rol oynamaktadır. Isınma ve soğutma gibi temel ihtiyaçların karşılanması elektrik tüketim talebini arttırmaktadır. Elektrik tüketimi ekonomik büyümeyi teşvik edebilir, bu sayede elektrik tüketimi sermaye, işgücü ve teknik üretimini bir dereceye kadar arttırabilmektedir. Ekonomik büyüme de elektrik tüketimine olan talebi artırabilir, bu da aralarındaki doğal ilişkiyi göstermektedir (Shengfeng vd., 2012: 56). Son yıllarda tahmin yöntemleri arasında popüler olan yapay sinir ağları çeşitli sektörlerin analizinde kullanılmaktadır. Sinir bilimciler uzun zamandır sinir sisteminin özelliklerini ve işlevlerini tanımlayarak, beyinlerin yaptıkları görevleri nasıl gerçekleştirdikleri sorusunu yanıtlamada giderek daha da başarılı olmaktadır. Yapay sinir ağları gerçek nöronları gevşek bir şekilde taklit eden basit hesaplama birimlerinden oluşan ağlardan meydana gelmektedir (Kanwisher vd., 2023: 242). Bu ağlar giderek büyüyen finansal verilerde, yapay zekâ ve sinir ağlarına göre hızlıca uyarlanabilirken süreçleri hızlandırabilir ve ham verilerin kullanılma şeklini iyileştirebilir.

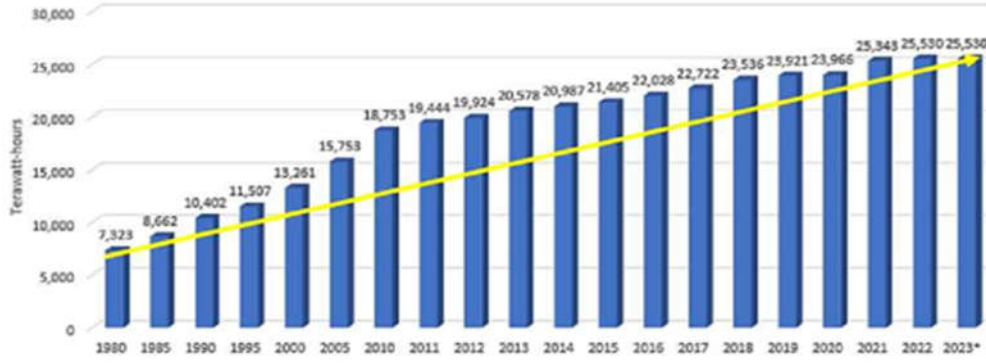
Çalışmada elektrik tüketimi ve ekonomideki yeri ele alındıktan sonra YSA'ları modelleri açıklanmıştır. Yapılan çalışmalar hakkında literatür taraması yapıldıktan sonra çalışmanın modeli gösterilmiştir. Ülkenin toplam elektrik enerjisi üretimi, ihracat, ithalat, sanayi üretim endeksi ve döviz kuru (Dolar/TL) ile ülkenin toplam elektrik tüketim miktarı arasındaki ilişki YSA yöntemiyle incelenerek analiz edilmiştir.

ELEKTRİK TÜKETİMİ VE EKONOMİDEKİ YERİ

Enerji, ekonomik ve sosyal gelişmişliğin bir ölçüğü ve aynı zamanda en temel insani bir gereksinimdir. Özellikle de elektrik enerjisi, insan yaşamında tartışmasız bir önceliğe sahiptir. Günlük yaşamın birçok alanında vazgeçilmez olup sınai üretim, ticari ve evsel kullanımda ikame edilemezdir. Refah seviyesinin sürdürülebilmesi için de günlük yaşamın her alanında bulunmaktadır. Enerjisiz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse olası değildir. Bunların yanısıra gelişen teknoloji ve artan enerji açığı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla düşünülmesini ve hızlı bir şekilde alternatiflerin üretilmesini gerekli hale getirmiştir (TMMOB, 2010: 2). Hızlı ekonomik büyüme, artan sanayileşme, teknolojik ve yönetsel ilerlemeler üretkenliği, ekonomik çıktıyı ve elektrik tüketimini arttırmaktadır.

Enerji kaynakları arasında elektrik enerjisi, özellikle kullanım kolaylığı ve tüm ekonomik ve sosyal yaşamın içerisine yoğun bir şekilde girmiş olması ile sayılamayacak diğer avantajları sayesinde dünyada en çok kullanılan enerji türüdür (Karabulut, 2004: 54). Dünya çapındaki ekonomilerde genişleyen ekonomik faaliyet alanlarında, elektrik tercih edilen ve baskın enerji kaynağı haline gelmiştir. Yaşam standartlarının yükselmesine hayati bir katkıda bulunmuş ve teknolojik-bilimsel ilerlemelere yardımcı olmuştur. Sonuç olarak, bu enerji türü ekonomik kalkınma için önemli olarak görülmektedir (Rafindadi vd., 2022: 1).

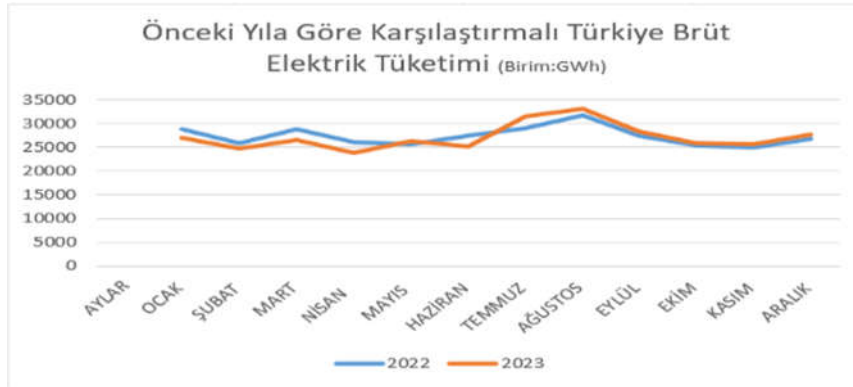
Şekil 1. Küresel elektrik tüketimi (terewaat-saat cinsinden dünya çapında net elektrik tüketimi)



Kaynak: Kiessling vd., 2024

Coğrafyalar itibarıyla farklılıklar bulunmakla birlikte, imalat sanayii sektörlerinde hem birincil enerji ve hem de elektrik talebinde, konutlarda ve hizmet sektöründe ise elektrik talebinde güçlü bir büyüme eğilimi ortaya çıkmıştır (TSKB, 2021). Şekil 1’de 1980-2023 yılları arasındaki küresel elektrik tüketiminin görseli verilmektedir. Görsele baktığımız zaman elektrik tüketimi her geçen yıl arttığı görülmektedir. Şekil 2’de 2022-2023 yılları arasındaki önceki yıla göre karşılaştırmalı Türkiye elektrik tüketimi tüketimi gösterilmektedir. Yaz aylarında ülkedeki elektrik tüketiminin arttığı görülmektedir.

Şekil 2. Önceki yıla göre karşılaştırmalı türkiye elektrik tüketimi



Kaynak: TEİAŞ

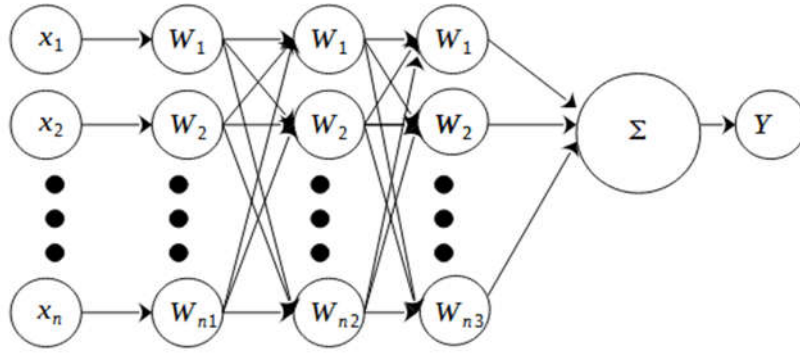
YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay zeka terimi, insan zekasının insan beynine dayalı paralelliginden kaynaklanmaktadır. İnsan beyninin ayırt edici özelliği, gerçek dünya deneyimini gözlemlemek, öğrenmek ve etrafındaki olayların ortamların öğrenilmesine dayalı bilinçli kararlar vermektir. Bu yetenek, insanları dünyadaki tüm hayvanlar arasında en güçlü varlık kılmaktadır. Makinelerin, özellikle bilgisayar sistemlerinin ve yazılım destekli sistemlerin, insan zekasının yetenekleriyle bir şekilde eşleşebilecek zekayı yapay olarak geliştirme yetenekleridir. Böylece, insan benzeri işlevlerin, faaliyetlerin ve davranışların kontrol edildiği makinelere yapay zeka denmektedir (Thakur vd., 2024: 2).

Sinir ağları biyolojik nöronların işleyişinden ilham alan matematiksel modellerdir. Pek çok sinir ağı modeli bulunmaktadır. Bu makine öğrenimi tekniği, adından da anlaşılacağı gibi

insan beyninin çalışma şeklinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3'te bir sinir ağı sisteminin basit bir şemasını göstermektedir. Tıpkı insan beyninin girdisini tüm duyu organlarından elektrik sinyalleri şeklinde alması gibi, bu bilgisayar sinir ağı da girdisini (x_1, x_2, \dots, x_n) veri şeklinde (bilgisayar çipinin içinde elektrik sinyalleri şeklinde taşınır) alır. Şekildeki her daire, bir nöronun dijital bir versiyonunu temsil ederken her dikey nöron grubu, sinir ağındaki bir katmanı temsil etmektedir. Her nöron, kendisine girdi olarak gelen sinyalleri toplar ve ardından toplama üzerinde bir aktivasyon işlevi uygular. Etkinleştirme işlevi, aşağıdakilerden gelen değerleri eşler: girdi, çıktı kümesindeki değerlere ayarlanır (Joshi, 2024: 134). Sinir ağının her katmanındaki her nöron girdileri işlemeye ve çıktılar üretmeye devam eder. Son aşamada, önceki katmandan gelen tüm çıktılar, bir eylem veya tahmin biçiminde olabilen nihai çıktı oluşturmak için toplanır. Bu sürece, sinyallerin ileri yönde akmaya devam ettiği ve sonuçta tüm duyu bilgileri bir eylem oluşturmaya dönüştürdüğü sinir ağının ileri besleme işlemi denmektedir. Kullanılan veri setiyle eylem oluşturulduktan sonra sinir ağının istenen davranışına göre önceden programlanan, beklenen sonuçla karşılaştırılır. Oluşturulan eylem ve beklenen sonuçtaki farka hata denmektedir (Joshi, 2024: 135). Yapay sinir ağları içerisinde ileri besmeli sinir ağı, yinelemeli sinir ağı, elman sinir ağı ve Narx sinir ağı en çok kullanılan ağlar arasında gösterilmektedir.

Şekil 3. Sinir ağı görseli



Kaynak: Joshi, 2024: 135.

İleri Besmeli Sinir Ağı

Tek yönlü sinyal akışı sağlayan ileri beslemeli sinir ağı en yaygın olarak kullanılan sinir ağıdır. İlk olarak bu modelde, ağırlıklar genellikle katmana ulaşmadan önce bir dizi girdiyle çarpılır. Daha sonra, ağırlıklı girdi verileri bir araya getirilerek bir toplam hesaplanır. Sınıflandırma sırasında yaygın olarak kullanılan iyi bilinen bir ileri beslemeli sinir ağı modeli tek katmanlı algılayıcılarıdır (Muruganandam vd., 2023). Bir yapay sinir ağının mimarisi ileri beslemeli veya geri beslemeli olabilir. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında sinyaller sadece tek bir yönde, girdi katmanından çıktı katmanına doğru iletilirken geri beslemeli ağlarda sinyallerin hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılması mümkündür. Bu aktarım aynı katmandaki nöronlar arasında olabileceği gibi farklı katmandaki nöronlar arasında da olabilir (Koç ve Onocak, 2018: 594).

İleri beslemeli sinir ağının eğitimi için kullanılan geri yayılma algoritması birçok öğrenme algoritması arasında en popüler olanıdır. Bu algoritmanın en çok kullanıldığı yer ileri beslemeli sinir ağlarının eğitimidir. Geri yayılma algoritması, her bir ögenin bir parametreye göre bir hata ölçüsünün türevi olarak tanımlandığı bir gradyan vektörünü geriye yayarak ağların sinaptik ağırlıklarını güncelleme bir yoludur. Hata sinyalleri genellikle gerçek ağ

çıkışlarının ve istenen çıkışların farkı olarak tanımlanır. Bu nedenle, eğitim için bir dizi istenen çıktı mevcut olmalıdır (Sazlı, 2006: 14).

Yinelemeli Sinir Ağları

Yinelemeli sinir ağları hem girdinin hem de çıktının sıralı yapılara sahip olduğu diziden diziye problemini çözmek için kullanılmaktadır (Wang ve Tax, 2016: 2). Beyinde hiyerarşik olarak iç içe geçmiş çok sayıda geri bildirim döngüsü vardır. Biyolojik sinir ağlarının yinelenen doğası birçok bilişsel süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, yinelenen bağlantılar, anıların oluşumu ve geri alınması için çok önemlidir. Bilgi ağ üzerinden aktığında ve kaynağına geri döndüğünde, ilgili nöronlar arasındaki bağlantıları güçlendirerek anıların pekiştirilmesine yol açabilir. Yinelemeli ağların temel avantajlarından biri, zaman serisi verileri, doğal dil işleme ve girdi sırasının önemli olduğu diğer sorunları olan görevler için gerekli olan verilerdeki zamansal bağımlılıkları ve dizileri işleme yetenekleridir (Krauss, 2024: 132).

Elman Sinir Ağı

Elman sinir ağı, sinir ağlarının bir alt sınıfı olup yinelenen sinir ağlarından biridir. Geleneksel sinir ağlarıyla karşılaştırıldığında, elman sinir ağları gizli katmandan ek girdilere sahip olduğu görülmektedir. Sinir ağındaki bu yeni bir katman, bağlam katmanını oluşturmaktadır. Elman sinir ağında kullanılan standart geri yayılım algoritmasına elman geri yayılım algoritması denmektedir. Bu sinir ağları ayrık zaman dizisinin (sürekli olan bir sinyalden belli zaman aralıklarında örneklem alınması) tahmin problemlerini çözmek için kullanılabilir (Guanghua vd., 2018: 12). Elman sinir ağı bir girdi katmanı, bir gizli katman, bir tekrarlayan veya bağlam katmanı ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır. Her katman, giriş örneklerinin ağırlıklı toplamının doğrusal olmayan bir fonksiyonunu hesaplayarak bir katmandan diğer katmana bilgi veya örnekleri yayan bir veya daha fazla nörona sahiptir (Kumar ve Chandar, 2020: 649). Elman sinir ağları zaman serisi tahmini de dahil olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Narx Sinir Ağı

NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous) doğrusal olmayan dışsal girdili otoregresif ağ , tekrarlayan dinamik bir YSA türüdür. YSA'lar biyolojik nöronları tutan bir grup birbirine bağlı düğümden, yapay nöronlardan oluşmaktadır. Her nöronun birden fazla giriş-çıkış bağlantısı olabilir. Bir nöronun çıktısını diğerine girdi olarak sağlar. İleri beslemeli sinir ağlarında düğümler, tek yönlü bilgi akışına sahip katmanlar halinde düzenlenirken, NARX gibi tekrarlayan ağlarda bilgi, aynı veya önceki katmanlardaki nöronlar arasında bağlantılara izin veren hem ileri hem de geri yönlerde akmaktadır (Nunno ve Granata, 2020: 3). NARX modelleri çok çeşitli doğrusal olmayan dinamik sistemleri modellemek için uygulanabilir. Zaman serisi modellemesi dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Boussaada vd., 2018: 4).

LİTERATÜR

Nizami (1995) elektrik enerjisi tüketimini ilişkilendirmek için yapay bir sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Suudi Arabistan'ın Doğu Eyaleti hava durumu verilerine (sıcaklık ve nem), küresel güneş radyasyonu ve nüfus eklenmiştir . Modelleme için iki katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağı kullanılır. Sinir ağına girdiler bağımsız değişkenlerdir, çıktı ise elektrik enerjisi tüketimidir. Model oluşturma ve doğrulama için 1987-1993 yıllarının verileri

kullanılmıştır. Karşılaştırma ile bir regresyon modeli ile sinir ağı modelinin tahminler için daha iyi performans gösterdiğini sonucuna ulaşılmıştır .

Hsu & Chen, (2003) Tayvan'ın bölgesel pik yükünü tahmin etmek için üç giriş nöronu (bölgesel GSYİH, bölgesel nüfus ve bölgesel en yüksek sıcaklık) kullanılırken çıkış modeli içinse yalnızca bir çıkış nöronu (bölgesel tepe yükü) kullanmışlardır. Analiz sonucunda ortalama mutlak yüzde hatası YSA modellerinin regresyon modellerinden daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Mandal vd. (2006) kısa vadeli yük tahmini için Japonya Okinawa'nın gerçek saatlik yük ve sıcaklık verileri (1999-2000 yılı için) kullanılarak test edilmiştir. Bir ila altı saat öncesi tahmin hataları %0,98 ile %2,43 arasında değişmektedir. Yük tahmin sonuçlarından elde edilen maksimum ve minimum yüzdelik hatalar ve ortalama mutlak yüzde hatası değerleri, önerilen YSA tabanlı yöntemin birkaç saat öncesindeki yük tahmini için güvenilir tahminler sağladığını doğrulamaktadır.

Azadeh vd. (2007), Nisan 1994'ten Ocak 2004'e kadar İran'da aylık elektrik tüketiminin ayrıntıları toplanmıştır. Bu makalede, elektrik tüketimini tahmin etmek için YSA, zaman serileri ve ANOVA kullanılmıştır. YSA'nın toplam elektrik tüketimi için daha iyi tahmin değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir.

Panklib vd. (2015), bu makalede Tayland'da uzun vadeli elektrik tüketimini tahmin etmek için bir yapay sinir ağı (YSA) ve bir regresyon modeli uygulanmıştır. Her iki doğrusal olmayan modelin de girdileri gayri safi yurtiçi hasıla ve nüfus sayısıdır. Maksimum ortam sıcaklığı ve elektrik gücü talebi, elektrik tüketimini tahmin etmek için sinir ağına girdi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın regresyon ve YSA modelleri ile tahmin sonuçlarına göre, ülkenin 2010, 2015 ve 2020 yıllarında elektrik tüketimi regresyon modeli için sırasıyla 160.136, 188.552 ve 216.986 gigawatt'a, YSA modeli ise sırasıyla 155.917, 174.394 ve 188.137 GWh 216.986 GWh'ye ulaşacağı tespit edilmiştir.

Torabi vd. (2018), makalelerinde hava durumuna duyarlı yüklerin elektrik enerjisi kullanımını tahmin etmek için hibrit bir yaklaşım sunmaktadır. Sunulan yöntem, hava durumu verilerini kullanarak elektrik enerjisi kullanımının kısa vadeli doğru tahmini için YSA ve DVM yaklaşımları ile birlikte kümeleme paradigmasını kullanmaktadır. Önerilen yaklaşım (CBA-ANNSVM) gerçek yük verilerine uygulanmış ve mevcut modellere kıyasla daha yüksek doğruluk elde edilmiştir.

Behm (2020) çalışmalarında yapay sinir ağları kullanarak uzun vadeli hava durumuna bağlı saatlik elektrik yükünü tahmin etmek için bir yöntem sunmuşlardır. 5 gizli katman ve katman başına 1.024 gizli düğüme sahip tam bağlı yoğun yapay sinir ağları, 2006'dan 2015'e kadar olan geçmiş veriler kullanılarak eğitilmiştir. Giriş parametreleri takvim bilgileri, yıllık tepe yükleri ve hava durumu verilerini içermektedir. Sonuçlar, Avrupa İletim Sistemi Operatörleri Ağı (entso-e) tarafından yayınlanan mevcut orta vadeli yeterlilik tahminlerinde kullanılan elektrik yüklerini tahmin etme yöntemine göre kıyaslanmıştır. 2016 doğrulama yılı için yaklaşımı %2,8'lik ortalama mutlak yüzde hatası gösterirken, entso-e tarafından kullanılan yaygın yaklaşım tepe yük ölçeklemesi kullanılarak ortalama %4,8'lik bir hata olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Xu ve Zhang (2022) mevcut çalışma, 4 Ocak 2016 - 31 Aralık 2020 tarihleri arasında Çin Zhengzhou Emtia Borsası'nda işlem gören termal kömürün günlük olarak kaydedilen kapanış fiyatlarının bir veri setine dayalı olarak bu tahmin problemi için doğrusal olmayan

otoregresif sinir ağlarının yararlılığını keşfetmeyi amaçlamaktadır. Sırasıyla eğitim, doğrulama ve test aşamaları için %1,48, %1,49 ve %1,47 oranında göreceli kök ortalama kare hata oranları elde edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada termik kömürün fiyat tahmini sorunu için sinir ağlarının yararlılığı gösterilmiştir.

Bouteska vd. (2023) çalışma, enerji emtia piyasası tahminleri için doğrusal olmayan odaklanmış zaman gecikmeli sinir ağı kullanan yapay sinir ağı tabanlı bir tahmin modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Veri olarak Covid-19 dönemi de dahil olmak üzere 2007-2020 dönemi için ham petrol ve doğal gaz fiyatları kullanılmıştır. Ampirik bulgulara göre odaklanmış zaman gecikmeli sinir ağı modelinin Batı Teksas Ara Petrolü ve Brent ham petrol fiyatları ile Ulusal Denge Noktası ve Henry Hub doğal gaz fiyatlarını tahmin etmede mevcut temel çizgilerden ve yapay sinir ağı tabanlı modellerden daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır. (Bouteska vd., 2023).

Barcos vd. (2024) yapay sinir ağları ve ölçülü tedarik noktası sınıflandırması yoluyla belediyelerin elektrik talebinin tahminini hedeflemiştir. Analiz için İspanya'nın Valensiya Belediyesi'nin 2017-2018'den 525 tedarik noktasından gelen tüketim verilerini kullanmışlardır. Günlük maksimum ortalama mutlak yüzde hatası %3,8 olan toplu tahminler sunmaktadır. Farklı tüketim tiplerine sahip bir tüketici için doğru bir elektrik talebi tahmininin alt ölçüm gerektirmediği, ancak ölçümlü tedarik noktalarını karakterize etmenin daha iyi tahminlere izin veren daha düşük maliyetli bir seçenek olduğu sonucuna varmışlardır.

Alam (2024) Bangladeş'in Ocak 2000'den Aralık 2019'a kadar iç hat uçuşlarında seyahat eden aylık yolcu sayısı incelenmiştir. Gelecekteki hava trafiğini tahmin etmek için, bu veri kümesi kullanılarak bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Ortalama kare hatası (MSE), kök ortalama kare hatası (RMSE), doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve özgüllük dahil olmak üzere kullanılan değerlendirme ölçütleri, geliştirilen YSA modelinin etkinliğini göstermektedir. Yapılan analiz sonucunda MSE: 0,0019, RMSE: 0,0440, doğruluk:0,92, kesinlik:0,92, duyarlılık:0,93 ve özgüllük: 0,95'tir. Yapay zeka yaklaşımlarına ve YSA'larına dayalı modellemenin geleneksel doğrusal regresyon modellerinden daha etkili olduğu görülmektedir.

YÖNTEM

Bu araştırmanın amacı 2005-2023 yılları arasındaki elektrik tüketiminin YSA yöntemleriyle analizinin yapılmasıdır. Kullanılan yöntemler ile en iyi kök ortalama kare hatası ve R değeri veren YSA ağını tespit etmek çalışmanın bir diğer amacıdır. Bu amaçlar doğrultusunda elektrik tüketimi, elektrik enerjisi üretimi, ihracat, ithalat, sanayi üretim endeksi ve döviz kuru verileri kullanılmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) verilerinden faydalanılmıştır. Çalışmada yapay sinir ağları yöntemlerinden ileri geri yayılım sinir ağı, elman sinir ağı ve NARX sinir ağı yöntemleri kullanılmıştır. İlk adım olarak verinin ön işleme yapılmıştır. Veriler Matlab ortamına girmeden önce 0-1 arasında ölçeklendirilmiş, %70 eğitim %15 doğrulama %15 test olarak verisi olarak ayrılarak eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır. Katman sayılarını belirleyerek 2 katmanlı ve 3 katmanlı sinir ağı oluşturulmuştur. Tasarlanan yapay sinir ağının beş adet girişi vardır. Bu girişe elektrik enerjisi üretimi, ihracat, ithalat, sanayi üretim endeksi ve döviz kuru verileri uygulanmaktadır. Çıkış verisi olarak elektrik tüketimi olarak belirlenmiştir.

Ölçeklendirme formülü eşitlik 1’de gösterilmektedir.

$$X_{ölçeklenmiş} = \frac{X_n - X_{minimum}}{X_{maksimum} - X_{minimum}} \quad (1)$$

$$X_n = X_{ölçeklenmiş} (X_{maksimum} - X_{minimum}) + X_{minimum} \quad (2)$$

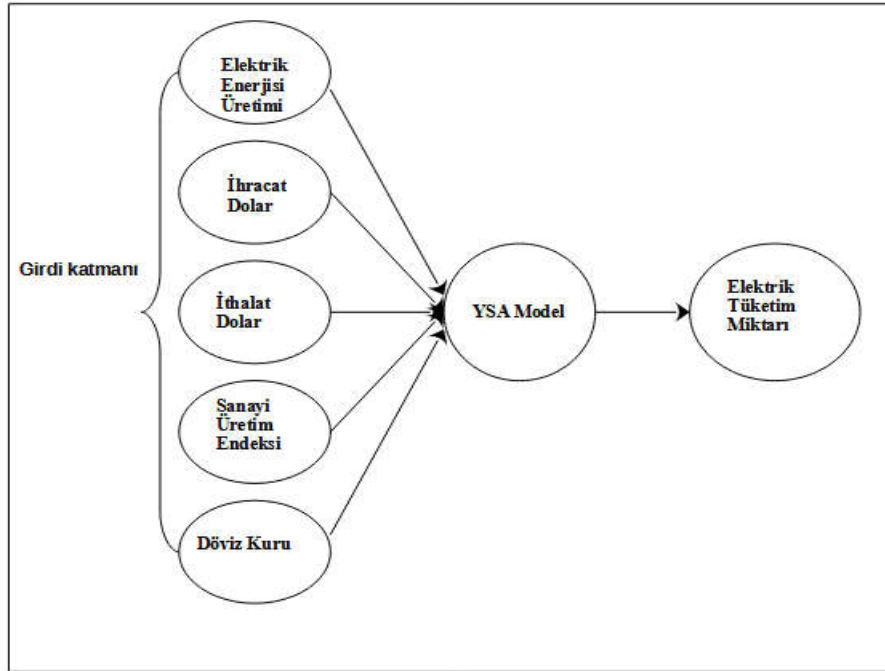
Modellerinin performans ölçütleri için Kök ortalama kare hatası (Root Mean Square Error-RMSE) kullanılmış ve performans değeri (R) verilmiştir. RMSE değerinin sıfıra yakın olması R değerinin ise 1’e yakın olması başarılı bir analiz yapıldığını göstermektedir. Kök-ortalama-kare hatası (RMSE) model değerlendirmede kullanılan standart ölçütlerden biridir (Hodson, 2022: 5481). Eşitlik 3’te RMSE hesaplaması gösterilmektedir. Şekil 4’te analiz için tasarlanan sinir ağı modeli verilmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

$y_i = i$ zamanında gerçekleşen değer

$\hat{y}_i = i$ zamanı için hesaplanan öngörü değeri

Şekil 4. Tasarlanan sinir ağı modeli



Yapay sinir ağının eğitimi için 2005-2023 yılların arasındaki Elektrik Tüketim Miktarı, Elektrik Enerjisi Üretimi, İhracat Dolar, İthalat Dolar, Sanayi Üretim Endeksi, Döviz Kuru verileri kullanılmıştır. Kullanılan verilerin ölçeklendirilmiş değerleri tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye'nin 2005-2023 yılları arası Tüketim Miktarı, Elektrik Enerjisi Üretimi, İhracat Dolar, İthalat Dolar, Sanayi Üretim Endeksi, Döviz Kuru verilerinin ölçeklendirilmiş değerleri

Yıllar	Elektrik Tüketim Miktarı (MWh)	Elektrik Enerjisi Üretimi	Yıllık İhracat (Dolar)	Yıllık İthalat (Dolar)	Sanayi Üretim Endeksi	Döviz Kuru
2005	0.001623841	0.002274211	0.00103271	0	0.01324120	0
2006	0.040982491	0.081230003	0.012067425	0.101146417	0.051458313	0.059025249
2007	0.108734176	0.167635983	1	0.236380221	0.104291466	0
2008	0.119052628	0.206484129	0.058595256	0.377887734	0.099774133	0.053579411
2009	0.121409014	0.186069032	0.028687976	0.107144786	0.020524403	0.053579411
2010	0.233991493	0.278913838	0.040437499	0.305054394	0.115191987	8.04499E-06
2011	0.309842284	0.381906732	0.061477116	0.550345269	0.240793479	0.069050541
2012	0.340305505	0.439114308	0.079045317	0.531286471	0.281744083	0.078498244
2013	0.327695309	0.442834895	0.078385712	0.598339305	0.34626338	0.090256303
2014	0.39405764	0.509709205	0.084197648	0.556269088	0.408131199	0.112204679
2015	0.454409207	0.565319818	0.070415903	0.401268158	0.476087597	0.124540327
2016	0.531523318	0.636815132	0.069105621	0.363048303	0.516154375	0.124540327
2017	0.62155649	0.766327831	0.083579962	0.519107884	0.626632623	0.150490569
2018	0.620774367	0.808936206	0.094515934	0.471411125	0.641068447	0.000145429
2019	0.598931311	0.803816859	0.098062957	0.381173572	0.632917608	0.00018029
2020	0.592546489	0.819701560	0.087246456	0.41147047	0.662182068	0.289194406
2021	0.827623592	0.978378684	0.140228381	0.636580646	0.886673868	0.364611007
2022	1	0.942452643	0.161893536	1	0.985269567	0.688679609
2023	0.996552472	1	0.158826785	0.986002715	1	1

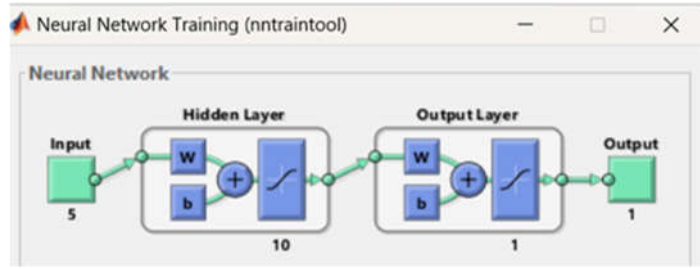
Tablo 2'de YSA'ların Kök ortalama kare hatası değerleri ve R değerleri verilmektedir. Matlab ortamında uygulanan katman sayısına ve modellerin performans ölçütlerine göre 2 katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağının 0.0157 RMSE değeri ve 0.9976 R değeri ile kullanılan diğer ağlardan daha iyi bir sonuç elde ettiği görülmektedir.

Tablo 2. YSA performans sonuçları

Katman (layer)	Sinir ağı	RMSE	R-square
2	İleri besleme	0.0157	0.9976
3	İleri besleme	0.0413	0.9837
2	Elman	0.0348	0.9889
3	Elman	0.0317	0.9895
2	NARX	0.0297	0.9917
3	NARX	0.0232	0.9943

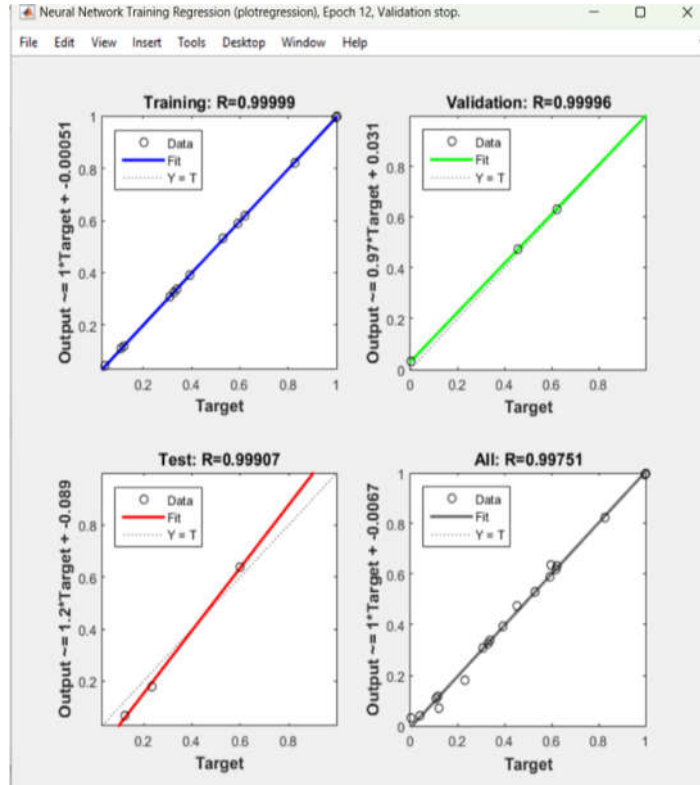
Analiz sonucunda YSA performans sonuçlarından başarılı olan ve en iyi sonuç veren ağların görselleri verilmiştir. Şekil 5'te Matlab'ın analiz sonuçlarına göre ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı yapısı gösterilmektedir. Matlab ortamında input görseline beş veri yüklendiği çıkış verisine de bir veri yüklendiği görülmektedir. Analizdeki sinir ağı iki katmandan oluşmaktadır. Birinci katmanda 10 sinir hücresi, ikinci katmanda 1 sinir hücresi vardır. Çıkış verisi, elektrik tüketim miktarı olarak tayin edilmiştir. Şekil 6'da ağımızın eğitim sonuçlarını gösteren regresyon grafikleri elde gösterilmektedir. Analiz sonucunda traing değeri 0.99999, doğrulama değeri 0.99996 test değeri ise 0.99907 olarak bulunmuştur. Doğru üzerindeki 1'e yakınlık eğitimin başarılı olduğunu göstermektedir.

Şekil 5. İleri beslemeli sinir ağı



Kaynak: Görsel Matlab programı ile çıkarılmıştır

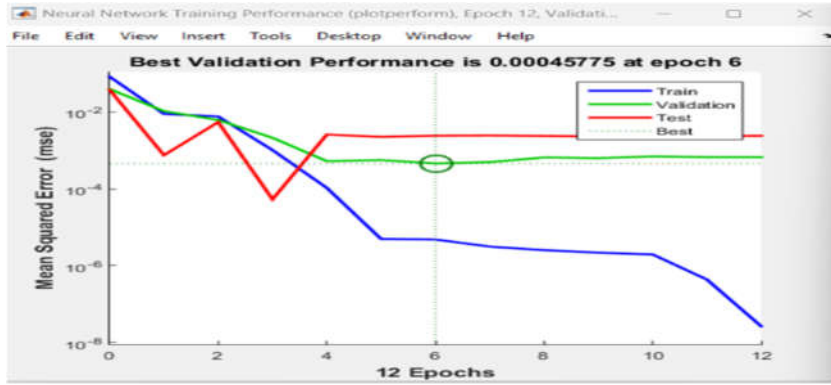
Şekil 6. YSA tahmin edici model grafiği



Kaynak: Görsel Matlab programı ile çıkarılmıştır

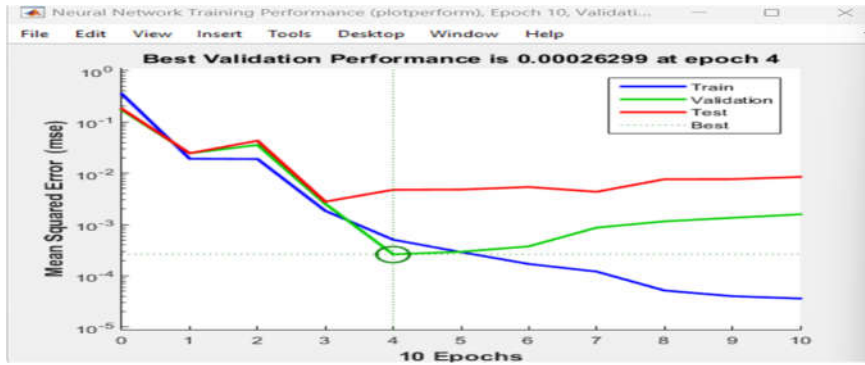
Şekil 7' deki İleri beslemeli geri yayımlı sinir ağı doğrulama performansı 12 epoch (döngü sayısı) da tamamlayarak 6. Epoch da en düşük MSE değeri elde edilmiştir. Şekil 8'teki Elman sinir ağının doğrulama performansı epoch 4'te 0.00026299 olarak bulunmuştur. Şekil 9'daki NARX sinir ağı doğrulama performansı epoch 6'da 0.00017191'dir. Kullanılan model ile yeterli ve başarılı sonuçlar alındığını söyleyebiliriz

Şekil 7. İleri beslemeli sinir ağı doğrulama performansı



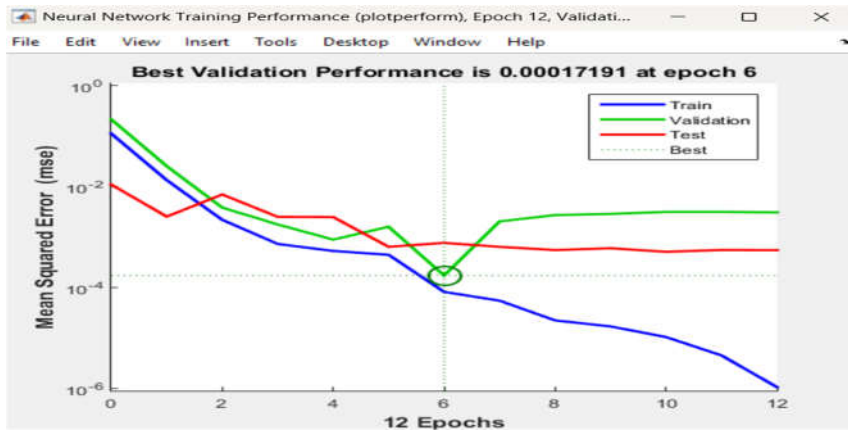
Kaynak: Görsel Matlab programı ile çıkarılmıştır

Şekil 8. Elman sinir ağı doğrulama performansı



Kaynak: Görsel Matlab programı ile çıkarılmıştır

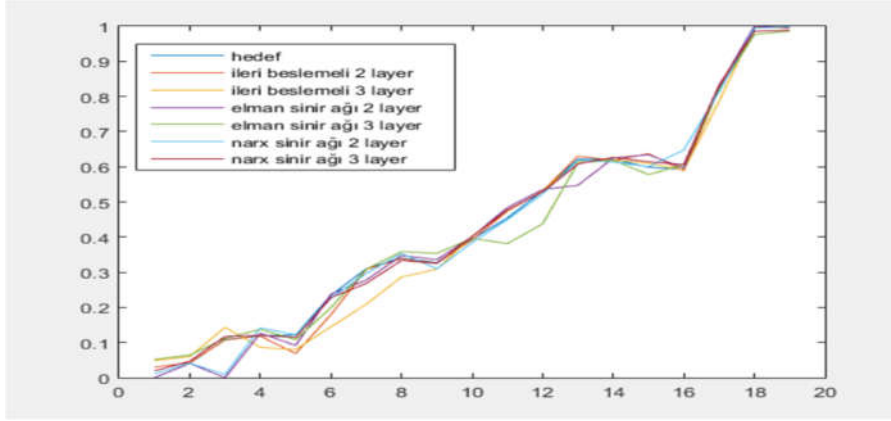
Şekil 9. NARX sinir ağı doğrulama performansı



Kaynak: Görsel Matlab programı ile çıkarılmıştır

Türkiye'nin 2005-2023 Yılları Arası elektrik tüketim modelinde İleri Beslemeli Sinir Ağı, Elman Sinir Ağı ve NARX sinir ağı tahmin sonuçlarına ait veriler Şekil 10'da grafiksel olarak ifade edilmektedir.

Şekil 10. Eğitimi tamamlanan sinir ağlarının performans grafikleri



Kaynak: Görsel Matlab programı ile çıkarılmıştır

TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrik insan hayatının üretiminde ve tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır. Enerji sistemlerinin elektrikleşmesi, ısınma için kullanımın yanı sıra artan küresel ısınmayla mekan soğutmalarında kullanılması elektrik tüketim talebini arttırmaktadır. Sinir ağı teknolojisi, istatistiksel makine öğreniminin önemli bir dalıdır ve çeşitli analiz görevlerinde serbestçe kullanılmaktadır. Biyoloji, psikoloji, tıp, ekonomi, matematik, istatistik ve bilgisayar gibi alanlarda yer alan sinir ağları enerji sistemleri için de uygulanmaya başlanmıştır. Hayatın her alanında etkili olan elektrik tüketiminin, yapay zekanın faydalarından yararlanılarak analiz edilmesi son yıllarda karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda çalışmada toplam elektrik tüketimi yapısal olarak analiz edildi, diğer ekonomik değişkenler ile ilişkisi irdelendi. Ayrıca analizde kullanılan ileri beslemeli sinir ağı, elman sinir ağı ve NARX sinir ağlarından hangisinin en iyi sonucu verdiği, bu modellerin öngörü performanslarının hangisinin en az hata oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada 2005-2023 yılları arasındaki elektrik tüketim miktarı, elektrik enerjisi üretimi ihracat dolar, ithalat dolar, sanayi üretim endeksi, döviz kuru verilerinin ölçeklendirilmiş değerleri kullanılarak Türkiye'nin elektrik tüketimi verilerinin YSA yöntemleri ile analiz edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan analiz sonucunda performans ölçütlerinden kök ortalama kare hatası değerlerine bakıldığı zaman en iyi sonuca ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağıyla ulaşıldığı görülmüştür. R değeri sonucuna göre ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağının diğer sinir ağlarından daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan YSA modelinin yeterli ve başarılı bir sonuç ortaya koyduğu görülmektedir. Hata oranı en az olan model ile elde edilmiş ülkenin toplam elektrik tüketim miktarının analizi incelendiğinde uygulanan YSA yöntemlerinin güvenilir bir sonuç vermesi açısından literatüre katkı yapabileceği tespit edilmiştir. Ancak hemen hemen her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da bazı kısıtlar mevcuttur. Bu kısıtlar zaman dilimi, analizin giriş ve çıkış verileri, analizde kullanılan verilerin kaynakları olarak ele alınabilir. Aynı çalışma başka zaman dilimleriyle veya analizi etkileyen diğer verileri ekleyerek farklı sonuçlar vererek literatüre kazandırabilir.

KAYNAKÇA

Alam, S. M., Deb, J. B., Al Amin, A., & Chowdhury, S. (2024). An Artificial Neural Network for Predicting Air Traffic Demand Based on Socio-Economic Parameters. *Decision Analytics Journal*, (10), 100382.

- Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Sohrabkhani, S. (2007). Forecasting Electrical Consumption by Integration of Neural Network, Time Series and ANOVA. *Applied Mathematics and Computation* (186), 1753-1761.
- Barcos, S. M., Perez, D. R., Garcia, J. R., & Ortega, M. A. (2024). Forecasting Electricity Demand of Municipalities Through Artificial Neural Networks and Metered Supply Point Classification. *Energy Reports*(11), 3533-3549.
- Behm, C., Nolting, L., & Praktiknjo, A. (2020). *Forecasting Long-Term Electricity Demand Time Series Using Artificial Neural Networks*. USAEE Working Paper No. 20-432. <https://doi.org/10.3390/electricity2010002>
- Boussaada, Z., Curea, O., Remaci, A., Camblong, H., & Bellaaj, N. M. (2018). A Nonlinear Autoregressive Exogenous (NARX) Neural Network Model for the Prediction of the Daily Direct Solar Radiation. *Energies*, 11(3), 1-21.
- Bouteska, A., Hajek , P., Fisher, B., & Abedin, M. Z. (2023). Nonlinearity in Forecasting Energy Commodity Prices: Evidence from a Focused Time-Delayed Neural Network. *Research in International Business and Finance*, (64), 101863.
- Guanghua, R., Cao, Y., Wen, S., Huang, T., & Zeng, Z. (2018). A Modified Elman Neural Network with a New Learning Rate Scheme. *Neurocomputing*, (286). 11-18.
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or Mean absolute error (MAE): When to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14). 5481-5487.
- Hsu, C.-C., ve Chen, C.-Y. (2003). Regional Load Forecasting in Taiwan-Applications of Artificial Neural Networks. *Energy Conversion and Management*(44), 1941–1949.
- Joshi, A. (2024). *Artificial Intelligence and Human Evolution: Contextualizing AI in Human History*. Apress.
- Kanwisher, N., Khosla, M., & Dobs, K. (2023). Using Artificial Neural Networks to Ask ‘Why’ Questions of Minds and Brains. *Trends in Neurosciences*, 3(46). 240-254.
- Karabulut, Y. (2004). Türkiye’de Elektrik Enerjisi. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi* (3), 53-77.
- Kiessling, S., Darabkhani, H. G., & Soliman, A.-H. A. (2024). Greater Energy Independence with Sustainable Steel Production. *MDPI*, 16 (3), 2-17.
- Koç, S., ve Onocak, D. (2018). Yapay Sinir Ağları ile Emeklilik Yatırım Fonu Hisse Senedi Fiyatlarının Tahmini. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(3), 590-600.
- Krauss, P. (2024). *Artificial Intelligence and Brain Research: Neural Networks, Deep Learning and the Future of Cognition*. Germany: Springer.
- Kumar Chandar, S. (2020). Grey Wolf Optimization-Elman Neural Network Model for Stock Price Prediction. *Soft Computing*, 25 (1), 649–658.
- Mandal, P., Senjyu, T., Urasaki, N., & Funabashi, T. (2006). A Neural Network Based Several-Hour-Ahead Electric Load Forecasting Using Similar Days Approach. *Electrical Power and Energy Systems*(28), 367–373.
- Muruganandam, S., Joshi, R., Suresh, P., Balakrishna, N., Kishore, K. H., & Manikanthan, S. V. (2023). A Deep Learning Based Feed Forward Artificial Neural Network to Predict the K-barriers For Intrusion Detection Using a Wireless Sensor Network. *Measurement: Sensors*, 25, 100613.

- Nizami, J. S., ve AI-Garni, Z. A. (1995). Forecasting Electric Energy Consumption Using Neural Networks. *Energy Policy*, 23(12), 1097- 1104.
- Nunno, F. D., ve Granata, F. (2020). Groundwater Level Prediction in Apulia Region (Southern Italy) Using NARX Neural Network, *Environmental Research*, (190), 1-17.
- Panklib, T., Prakasvudhisarnb, C., & Khummongkol, D. (2015). Electricity Consumption Forecasting in Thailand Using an Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression. *Energy Sources, Part B*, 10(4), 427-434.
- Rafindadi, A. A., Aliyu , I. B., & Usman, O. (2022). Revisiting the Electricity Consumption-Led Growth Hypothesis: Is the Rule Defied in France?, *Journal of Economic Structures*, 11(1), 1-23.
- Sazlı, M. H. (2006). A Brief Review of Feed-Forward Neural Networks. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A2-A3 Physical Sciences and Engineering*, 50(1), 11-17.
- Shengfeng, X., Ming Sheng, X., Tianxing, Z., & Xuelli, Z. (2012). The Relationship between Electricity Consumption and. *Economic Growth in China* (24), 56-62.
- Thakur, K., Barker, H. G., & Pathan, A.-S. K. (2024). *Artificial Intelligence and Large Language Models An Introduction to the Technological Future*. CRC Press Taylor Francis Group.
- TMMOB. (2010). *Türkiye'nin Enerji Görünümü*. Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Torabi, M., Hashemi, S., Saybani, M. R., Shamshirband, S., & Mosavi, A. (2018). A Hybrid Clustering and Classification Technique for Forecasting Short-Term Energy Consumption. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, (38), 66–76.
- TSKB. (2021). *Enerji Görünümü*. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>
- Wang , F., & Tax, D. M. (2016). Survey on the Attention Based RNN Model and its Applications in Computer Vision. *Computer Science*. <https://arxiv.org/pdf/1601.06823>.
- Xu, X., & Zhang, Y. (2022). Thermal Coal Price Forecasting Via The Neural Network. *Intelligent Systems with Applications*, 14, 200084.