

## Üyelik Fonksiyonları Sayısının ve Türünün Tahminler Üzerindeki Etkisinin Araştırılması: Elektrik Üretim Endeksi Tahmini Örneği

**\*Makale Bilgisi / Article Info**

Alındı/Received: 05.09.2024

Kabul/Accepted: 01.11.2024

Yayımlandı/Published: 11.04.2025

### Investigating the Impact of the Number and Type of Membership Functions on Forecasting: A Case Study of Electricity Generation Index Prediction

**Abdurrahman ÖZCAN<sup>1</sup>  , Halil Nusret BULUŞ<sup>2\*</sup> **<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Afşin MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye<sup>2</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

© 2025 The Authors | Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

#### Öz

Sanayi üretim endeksi, bir ülkedeki sanayi sektörünün durumunu göstermektedir. Sanayi sektörü gayrisafi yurt içi hasılanın belirlenmesinde önemli bir öncüdür. Sanayi üretimi ülke temelinde ekonomiyi doğrudan etkilemektedir. Sanayi üretim endeksinin gelecekteki hareketlerini önceden tahmin edebilmek, büyüme göstergelerinden biri olduğundan dolayı önem arz etmektedir. Yapılmış olan bu çalışmada sanayi üretim endeksi bileşenlerinden olan elektrik üretim endeksinin tahmin edilmesi için önceki yıllardaki veriler kullanılarak bulanık mantık yöntemleri arasında yer alan Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) modelleri üretilmiştir. ANFIS modelleri için çeşitlendirme üyelik fonksiyonu ve üyelik fonksiyon sayısını değiştirilerek elde edilmiştir. ANFIS’de yapılan tahminler bu modeller üzerinde gerçekleştirilmiştir. ANFIS modelleri incelendiğinde zaman, maden ve imalat üretim endeksleri girdilerinden oluşan sistemin sadece zaman veya sadece imalat-maden üretim endekslerine dayalı tahmin yapan sistemden daha iyi sonuç verdiği de görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Tahmin, Üyelik fonksiyonları, Bulanık mantık, Model, Elektrik üretim endeksi.

#### Abstract

The industrial production index reflects the state of the industrial sector in a country. The industrial sector is a significant precursor in determining the gross domestic product. Industrial production directly affects the economy on a national level. Predicting the future movements of the industrial production index is crucial as it is one of the growth indicators. In this study, Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) models, which are among the fuzzy logic methods, were developed to forecast the electricity production index, a component of the industrial production index, using data from previous years. The ANFIS models were obtained by varying the membership function types and the number of membership functions. Predictions in ANFIS were made based on these models. Upon examining the ANFIS models, it was found that the system consisting of inputs such as time, mining, and manufacturing production indices provided better results than the system that relied solely on time or only on manufacturing and mining production indices.

**Keywords:** Prediction, Membership functions, Fuzzy logic, Model, Electricity production index.

#### 1. Giriş

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) sanayi üretim endeksini aylık olarak açıklamaktadır. Bu endeks sanayi sektöründe gerçekleşen gelişmelerin ve ülkenin ekonomi politikalarındaki etkilerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Endeks değerleri hesaplanırken birçok sektör verileri değerlendirmeye alınmaktadır. Bu sektörler arasında madencilik ve taş ocaklığı, imalat sanayi ile elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtım sektörleri yer almaktadır. Sanayi üretim endeksi hiçbir etkiden arındırılmamış olarak, takvim etkilerinden arındırılmış ve hem takvim hem de mevsimsel etkilerden

arındırılmış olarak 3 farklı şekilde aylık olarak açıklanır. Hiçbir etkiden arındırılmamış verilerden, haftasonu tatilleri, bayram ve resmi tatil gibi tatil günlerinin çıkarılması ile takvim etkisinden arındırılmış endeks değerleri hesaplanır. Buna ilave olarak hava koşulları, bakım aralıkları, elektrik kesintileri, grevler gibi etkilerin de eklenmesiyle hem takvim etkisinden hem de mevsimsel etkilerden arındırılmış endeks değerleri bulunur. Arındırılmamış ve takvim etkisinden arındırılmış endeks değerleri bir önceki senenin aynı ayı ile olan değişimi kıyaslanarak açıklanmaktadır. Mevsimsel etkilerden arındırılmış veriler değerlendirilirken bir önceki

aya göre olan değişimleri göz önüne alınmaktadır. Ekonomik analizlerin önemli bir parçası da sanayi üretim endekslerinin tahminini içermektedir (Pekçağlayan 2021). Ekonomide meydana gelen gelişmelerin ve uygulanan ekonomik politikaların, kısa dönemde olumlu veya olumsuz etkilerinin ölçülebilmesi için aylık olarak hesaplanan bir endekstir. NACE Rev.2 sınıflamasına göre Sanayi Üretim Endeksi (SÜE), madencilik ve taş ocaklığı, imalat sanayisi ile elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtım sektörlerini kapsamaktadır.

SÜE bileşenlerinden olan elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi bileşeni bu çalışmada kısaca Elektrik Üretim Endeksi olarak adlandırılmıştır. Çalışmanın temelinde de ülke genelinde oluşan elektrik üretim endeksi değerlerinin geleceğe yönelik tahminlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla uygun modeller oluşturmak yatmaktadır. Bu amaçla çalışmada 1986 – 2022 yılları elektrik üretim endeksi verileri ile üyelik fonksiyonlarının sayılarının ve tiplerinin farklı olarak seçilmesiyle elde edilen ANFIS modellerinin eğitimi gerçekleştirilerek, 2023 yılına ait verilerin tahminleri gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

### 1.1 Literatür özeti

Sanayi üretim endeksi; sanayi sektörünün durumunu, üretim faaliyetlerindeki artış ya da azalışın yıllar itibarıyla karşılaştırmalı olarak izlenmesini sağlayan bir gösterge olup Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından aylık olarak yayınlanmaktadır (Koç vd. 2016). Warnakula vd. Sri Lanka'nın Sanayi Üretim Endeksi Tahmini isimli makalesinde 2016 yılından 2023 yılına kadar olan 93 veri kullanarak zaman serilerinden olan ARIMA modeli ve derin öğrenme tekniklerinden olan RNN (Recurrent Neural Network) modeli kullanılarak sanayi üretim endeksi tahmini yapmışlardır. Sonuç olarak zaman serisi modelinin RNN modelinden daha iyi tahmin yaptığı görülmüştür (Warnakula vd. 2024). Hatice Öncel Çekim, Türkiye'de Sanayi Üretim Endeksinin Zaman Serisi Yöntemi ile İncelenmesi adlı makalesinde TÜİK'den aldığı 2005-2017 yılları arasındaki aylık sanayi üretim endeksi verilerini zaman serisine uygulamıştır. Bu çalışmada endekse uygun zaman serisi modelini bulmayı ve 2018 yılındaki sanayi üretim endeksi tahminini yapmayı amaçlamıştır. (Öncel Çekim 2018). Mahmut Günay, Faktör Modeller ile Türkiye'deki Sanayi Üretimi ve Enflasyonun Tahmini isimli makalesinde yapay zeka tekniklerini kullanmadan DI ve DI\_AR\_Lag adında tahmin eşitliklerini kullanarak Türkiye'deki enflasyon ve sanayi üretim tahmini yapmıştır (Günay 2018).

Mehrabadi vd. İran'daki sanayi üretim tahminini YSA (Yapay Sinir Ağları) ve Adaptive Neuro Fuzzy Interference

System - ANFIS (Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi) kullanarak yapmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada, YSA ve ANFIS metodlarının doğruluğu karşılaştırılmıştır. 1988-2018 yılları arasında girdi olarak; işgücü, sermaye stoku, beşeri sermaye, ticari açıklık, likidite ve sanayi sektörüne kredi finansmanı ve çıktı olarak da sanayi üretimi verilip 2019 ve 2020 yıllarındaki sanayi üretimini tahmin etmişlerdir (Mehrabadi vd. 2020). Kedar Potdar ve Rishab Kinnerkar, yapay sinir ağını kullanarak Hindistan için sanayi üretim endeksi tahmini yapmışlardır. Hindistan sanayi üretim endeksi tahmini yapmak için YSA'nın girdileri 2004-2005 mali yılından 2013-2014 mali yılına kadar ki Gayri Safi Yurt içi Hasıla (GSYH), Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE), Toptan Eşya Fiyat Endeksi (TEFE) ve sekiz temel sektör endeksi verileri kullanılmıştır (Potdar ve Kinnerkar 2017). Jan Acedański, Polonya'daki sanayi üretiminin tahmini – farklı yöntemlerin karşılaştırılması isimli makalesinde Polonya'daki sanayi üretim endeksi tahmininde birkaç tahmin metodunun doğruluğunu karşılaştırmıştır. (Acedański 2013). Bodo vd. Euro Bölgesindeki Sanayi Üretim Tahmini isimli makalesinde Almanya, Fransa, İspanya ve İtalya olmak üzere bu dört Avrupa ülkesi için ARIMA ve VAR (Vector Autoregressive) modellerini kullanarak sanayi üretim endeksi tahmini yapmışlardır (Bodo vd. 2000).

Abdulkadir Bilgin, Türkiye'deki İş Kazası Verilerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi isimli yüksek lisans tez çalışmasında 2001 - 2020 yılları arasında SGK tarafından yayınlanan iş kazaları istatistiklerini kullanarak yapay sinir ağları ile 2021 – 2030 yılları arasındaki iş kazaları için tahmin yapmıştır. Yapılan tahminlerde yapay sinir ağlarının gerçek değerlere yakın değerler ürettiği görülmüştür. Sonuç olarak gelecek 10 yılda iş kazalarının artacağı tahmin edilmiştir (Bilgin 2023).

Zhu vd. çalışmasında Sincan'daki aylık elektrik üretiminin Ocak 2001'den Ağustos 2020'ye kadar olan tarihsel verilerinin özelliklerine göre, aylık elektrik enerjisi üretimi tahmininin oluşturulmasında uygun ve yaygın olarak kullanılan SARIMA (Mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama modeli) yöntemi ve Holt-winter yöntemi kullanmıştır. Ağustos 2021'den Ağustos 2022'ye kadar aylık elektrik enerjisi üretimini tahmin edilmiştir (Zhu vd. 2022). Wen ve Yuan, Çin'de 1999'dan 2018'e kadar olan panel verilerine dayanarak, parçacık sürüsü optimizasyonunun iki kat iyileştirilmesi yoluyla Çin sakinlerinin gelecekteki elektrik tüketimini tahmin etmek için yeni bir hibrit tahmin modeli tasarladı (Wen ve Yuan 2020). Ghimire vd. elektrik talebinin tahmin edilmesi için Yapay Sinir Ağları (YSA), Kodlayıcı-Kod Çözücü Tabanlı Uzun Kısa Süreli Bellek (EDLSTM) ve Uyarlanabilir Gürültü ile Geliştirilmiş Tam Topluluk Deneyisel Mod Ayırımı

(ICMD) birleştirilerek hibrit bir çoklu algoritma çerçevesi geliştirilmiştir (Ghimire vd. 2023). Reddy vd. güç kullanımını tahmin etmek için makine öğrenimi tabanlı bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmada, güç kullanımını tahmin etmek için doğrusal regresyon, K En Yakın Komşular, XGBOOST, rastgele orman ve yapay sinir ağları (YSA) dahil olmak üzere bir dizi makine öğrenme tekniğini araştırmışlardır. Modellerin performansını değerlendirmek için Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Karekök Hata (RMSE) ve Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) dahil olmak üzere çeşitli değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır (Reddy vd. 2023).

## 2. Materyal ve Metot

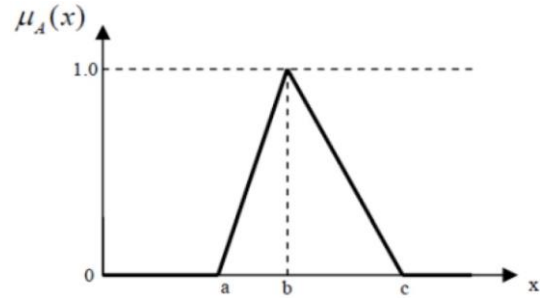
Bulanık mantık alanında ilk ciddi adım California Berkeley Üniversitesinden Prof. Dr. Lotfi Asker Zadeh'in 1965 tarihli "Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)" adlı makalesinde ortaya atılmıştır (Zadeh 1965). Zadeh bu çalışmasında belirsizliği Klasik Mantıktan farklı olarak sınırları keskinlik içermeyen kümelerle farklı üyeliklere ait olunabileceğini belirterek Bulanık Mantığın temellerini atmıştır (Beşirik 2016). Bulanık mantığın avantajları arasında basit ve kolay anlaşılabilir olması, karmaşık problemlere cevap verebilmesi ve çeşitli alanlardaki belirsizlik problemlerini çözebilmesi ve eksik tanımlanmış problemler için çözüm getirebilmesi gösterilebilirken (Uzun Özşahin vd. 2020, Karabulut 2024), dezavantajları arasında sistemin doğrulaması için kapsamlı testlerin gerekmesi, makine öğrenmesine oranla kapasite probleminin olması, kendi başlarına öğrenme yeteneklerinin olmaması, üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir metotun olmaması gösterilebilir (Uzun Özşahin vd. 2020, Karabulut 2024). Üyelik fonksiyonları, girdi uzayındaki her noktanın 0 ile 1 arasında bir üyelik değerine nasıl eşlendiğini tanımlayan eğrilerdir. Her bir girdinin büyüklüğünün grafiksel bir gösterimidir (Levent 2022). Giriş değerlerinin davranışına bağlı olarak üçgen, yamuk, gauss, sigmoid ve çan gibi tek boyutlu üyelik fonksiyonları kullanılabilir. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları doğrusal biçime sahiptir ve tasarımı ve gösterimi basittir. Gauss ve sigmoid gibi üyelik fonksiyonlarının tasarımı daha karmaşıktır (Oğuz Erenler 2023). Bazı üyelik fonksiyonları;

### Üçgen Üyelik Fonksiyonu (Trimf):

Bir üçgenin nasıl üç koordinatı varsa üçgen üyelik fonksiyonunun da üç parametresi vardır (Oğuz Erenler 2023). Şekil 1 üçgen üyelik fonksiyonuna ait grafiksel gösterimi içermektedir. Bu parametreler;

- a = başlangıç noktası,
- c = bitiş noktası,
- b = tepe noktasıdır.

"a" ve "c" noktasında üyelik derecesi  $\mu_A(X) = 0$ , "b" noktasında ise  $\mu_B(X) = 1$ 'dir (Beşirik 2016).



Şekil 1. Üçgen üyelik fonksiyonu (Beşirik 2016)

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{eğer } a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{c-b}, & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (1)$$

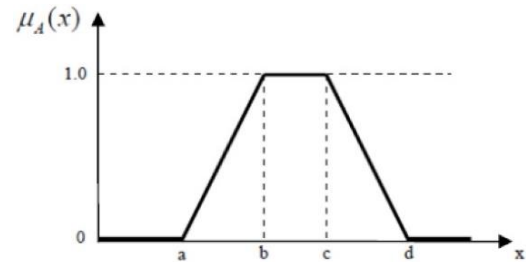
### Yamuk Üyelik Fonksiyonu (Trapmf):

Bu üyelik fonksiyonunda %0'dan başlar %100'e ulaşır ve daha sonra yine %0'a düşer. Bu fonksiyonda, üçgen üyelik fonksiyonunda olduğu gibi üç parametre yerine dört parametre (a, b, c, d) vardır (Oğuz Erenler 2023). Şekil 2 yamuk üyelik fonksiyonuna ait grafiksel gösterimi içermektedir.

Bu parametreler;

- a = başlangıç noktası,
- b = tepe noktası başlangıcı,
- c = tepe noktası bitişi,
- d = bitiş noktasıdır.

"a" ve "d" noktasında üyelik derecesi  $\mu_A(X) = 0$ , "b" ve "c" noktasında ise  $\mu_B(X) = 1$ 'dir (Beşirik 2016).



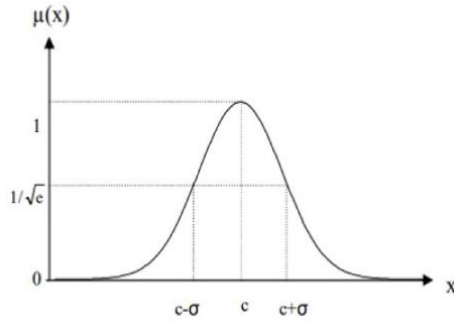
Şekil 2. Yamuk üyelik fonksiyonu (Beşirik 2016)

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{eğer } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{d-c}, & \text{eğer } c < x \leq d \\ 0, & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2)$$

### Gaussian Üyelik Fonksiyonu (Gaussmf):

Gaussian üyelik fonksiyonu, orjinden uzaklığı ve eğri genişliğini ifade eden iki parametre kullanmaktadır. Şekil 3 Gaussian üyelik fonksiyonuna ait grafiksel gösterimi içermektedir. Bu parametreler;

- c = merkez,
- $\sigma$  = genişliktir (Karabulut 2024).



Şekil 3. Gaussian üyelik fonksiyonu (Beşirik 2016)

$$\mu(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (3)$$

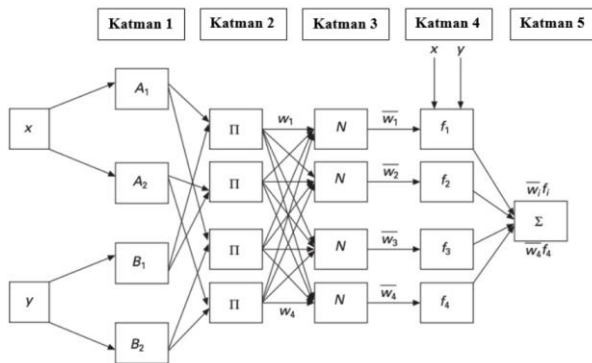
### 2.1 Bulanık yapay sinir ağı

ANFIS, 1993 yılında Jang tarafından geliştirilen bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının bir araya gelmesiyle oluşturulan hibrit bir yapay zeka yöntemidir. ANFIS, hem yapay sinir ağlarını hem de bulanık mantığı birbiriyle uyumlu olarak kullanabilmesinden dolayı her iki yöntemin güçlü yönlerini kullanabilmektedir (Beşirik 2016).

ANFIS kelimesi Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System'in baş harflerinden oluşmaktadır ve Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi anlamına gelmektedir. Kısaca Bulanık Yapay Sinir Ağı denilmektedir. Bulanık sinir ağları, bulanık mantık ve yapay sinir ağları metodlarının avantajlı yönlerini kullanan ve son yıllarda farklı alanlarda uygulanan bir yapay zeka tekniğidir (Demirci 2020).

### 2.2 Bulanık yapay sinir ağı sistemi: ANFIS mimarisi

Şekil 4'te iki giriş (x ve y) ve bir çıkışın olduğu beş katmana sahip ANFIS mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 4. ANFIS mimarisi (Oğuz Erenler 2023)

Katman 1 (Bulanıklaştırma Katmanı): İlk katmanda bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem için girdiler üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının seçilmesi için bir formül sunulmamakla beraber genellikle tecrübeye dayalı ya da deneme yanılma yöntemlerini içeren yollar kullanılmaktadır (Şencan ve Şencan Şahin 2022).

Katman 2 (Kural Katmanı): Bu katmanda kurallar yer almaktadır. Bu kuralların çıktısını elde etmek için ilk

katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı elde edilmelidir (Demirci 2020).

Katman 3 (Normalleştirme Katmanı): N ile ifade edilen sabit düğümler bu katmanda yer almaktadır. Her sabit düğüm i. kuralın tetikleme ağırlığının tüm kuralların tetikleme ağırlıkları toplamına oranıdır. Normalize tetikleme ağırlıkları adı verilen çıktılar elde edilir (Kaynar vd. 2010).

Katman 4 (Durulaştırma Katmanı): Bulanıklaşan değerlerin tekrar keskin hale getirildiği ve her bir düğümün model çıktısı üzerindeki katkısı bu katmanda belirlenir (Turan vd. 2022).

Katman 5 (Toplam Katmanı): Tek düğümlü bir katmandır. Önceki katman düğümlerinin çıkış değerleri toplanır ve sistemin çıkış değeri bulunur (Demirci 2020).

### 2.3 Modeller için performans (hata) ölçütleri

Gerçek değerler ile modelden elde edilen değerler arasındaki fark hata olarak hata olarak kabul edilir. Hangi model de bu hata değeri düşük ise o model seçilmelidir. Kurulan bir model de hatanın belirlenmesinde kullanılacak doğruluk ölçütleri aşağıdaki gibidir (Sönmez Çakır 2018).

n: veri sayısı,

Yt : Gerçek değer,

Fort: Gerçek verilerin ortalaması,

Ft : Modelden elde edilen çıktı değeri olmak üzere;

Ortalama Mutlak Yüzde Hata - MAPE

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| * 100 \quad (4)$$

Kök Ortalama Kare Hata - RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2} \quad (5)$$

Determinasyon Katsayısı – R<sup>2</sup>

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t - Fort)^2} \quad (6)$$

Ortalama Mutlak Hata – MAE

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |F_t - Y_t|}{n} \quad (7)$$

### 3. Bulgular

Bu çalışmada 1986-2023 yılları arasındaki aylık üretim endeksleri verileri üzerinde çalışılmıştır. Kullanılan ANFIS metodunda parametrelerin değiştirilmesiyle farklı modeller üretilmiştir. Tahminler yapılırken üç farklı girdi seti kullanılarak ayrı ayrı denemeler yapılmıştır. Kullanılan ilk girdi veri seti sadece yıl ve ay girdilerinden oluşarak sanayi üretim endeksinin bir bileşeni olan elektrik üretim endeksinin tahmini yapılmaya çalışılmıştır. İkinci girdi veri setinde girdi olarak senelik ve aylık maden ve imalat üretim endeksleri kullanılarak elektrik üretim endeksi

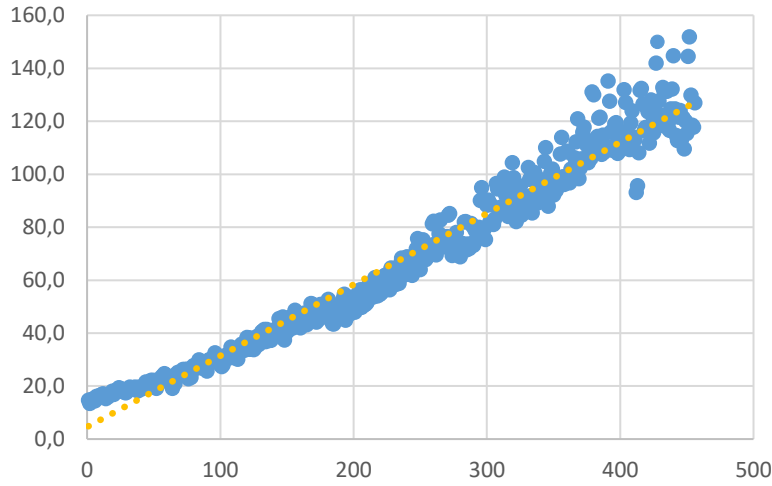
tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Üçüncü girdi veri seti ise ilk iki girdi veri setlerinin birleştirilmesi ile oluşturularak aynı tahminler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1’de kullanılan veri setinden bir örnek yer almaktadır.

Model karşılaştırmalarının yapılabilmesi için oluşturulan modellerde 1986-2022 arasındaki veriler modellerin eğitimi için kullanılmış ve 2023 yılının verilerinin tahmin

edilmesine çalışılmıştır. Modellerin oluşturulması için kullanılan verilerin dağılımları ve eğilimleri Şekil 5’te verilmiştir. ANFIS’te farklı modelleri elde edebilmek için farklı üyelik fonksiyonları ve farklı üyelik fonksiyon sayıları kullanılmıştır. Sadece yıl ve ay veri girdisi ile ve 3 üyelik fonksiyonu sayısı ile elde edilen elektrik üretim endeksi tahminlerine örnek olarak 2023 yılına ait veriler Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Örnek veri seti (1986 yılına ait veriler)

| Yıl  | Ay | Maden <sup>1</sup> | İmalat <sup>2</sup> | Elektrik <sup>3</sup> |
|------|----|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 1986 | 1  | 45,9               | 24,0                | 14,7                  |
| 1986 | 2  | 40,5               | 21,4                | 13,4                  |
| 1986 | 3  | 47,2               | 24,4                | 14,8                  |
| 1986 | 4  | 44,2               | 22,9                | 14,4                  |
| 1986 | 5  | 46,6               | 23,8                | 15,3                  |
| 1986 | 6  | 46,6               | 23,4                | 14,3                  |
| 1986 | 7  | 51,0               | 24,8                | 16,1                  |
| 1986 | 8  | 47,5               | 24,4                | 15,7                  |
| 1986 | 9  | 54,3               | 26,2                | 16,2                  |
| 1986 | 10 | 56,4               | 30,0                | 16,5                  |
| 1986 | 11 | 54,4               | 28,8                | 16,3                  |
| 1986 | 12 | 53,4               | 28,4                | 17,1                  |



**Şekil 5.** Model oluşturmada kullanılan veriler ve eğilim çizgisi

**Çizelge 2.** 2023 yılı verileri ile ay ve yıl girdisine sahip 3’lü üyelik fonksiyonlarına ait elektrik üretim endeksi tahminleri

| Yıl  | Ay | Elektrik | Trimf       | Trapmf      | Gbellmf     | Gaussmf     | Gauss2mf    | Pimf        | Dsigmf      | Psigmf      |
|------|----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2023 | 1  | 124,0298 | 131,853225  | 114,278119  | 117,526378  | 121,15592   | 119,790144  | 119,710027  | 126,150560  | 123,053598  |
| 2023 | 2  | 112,8441 | 127,697858  | 114,2781185 | 117,5273328 | 121,1559192 | 119,7901435 | 119,7100272 | 126,2072981 | 123,0536113 |
| 2023 | 3  | 121,286  | 124,9163963 | 114,6331918 | 117,5302238 | 121,1559192 | 119,7901435 | 119,7100272 | 126,9729497 | 123,0538733 |
| 2023 | 4  | 109,5195 | 122,924115  | 117,8842914 | 117,5422154 | 121,1559194 | 119,7901435 | 119,7100272 | 130,9827427 | 123,0589012 |
| 2023 | 5  | 119,9644 | 121,4268728 | 120,1846887 | 117,6235056 | 121,1579335 | 119,7902981 | 119,7100272 | 133,3578399 | 123,1566647 |
| 2023 | 6  | 115,3273 | 125,1522994 | 122,1803672 | 118,8385177 | 122,6108021 | 132,9993742 | 120,0688498 | 133,6030696 | 125,2825262 |
| 2023 | 7  | 144,4758 | 147,354147  | 133,6175464 | 137,1574646 | 141,5414256 | 135,8146543 | 139,2749332 | 133,6079385 | 143,7104921 |
| 2023 | 8  | 151,7835 | 148,9509158 | 133,6175464 | 140,2507395 | 144,8546897 | 138,3567974 | 141,6386425 | 133,431794  | 146,6321726 |
| 2023 | 9  | 129,8558 | 129,0783023 | 121,2385874 | 122,2418043 | 126,0545208 | 125,2410991 | 123,6712341 | 131,6118268 | 128,2859539 |
| 2023 | 10 | 118,4964 | 128,9330625 | 118,9715359 | 118,3017596 | 121,1766784 | 122,8579585 | 122,5880641 | 128,3071635 | 126,1098311 |
| 2023 | 11 | 117,6961 | 128,9330625 | 118,9715359 | 119,2700114 | 122,8456478 | 122,902253  | 122,5880641 | 127,6754253 | 126,03621   |
| 2023 | 12 | 126,9108 | 128,9330625 | 118,9715359 | 127,2354195 | 130,8764461 | 122,9067663 | 122,5880641 | 127,6289821 | 126,0326886 |

Çizelge 2, 3 üyelik fonksiyonu sayısına sahip ANFIS mimarisinde, üyelik fonksiyonlarının değiştirilerek oluşturulan modellerin tahmin sonucunu vermektedir. Çizelgenin ilk iki sütunu yıl ve ay girdi değerlerini, üçüncü sütun olan Elektrik sütunu ise TÜİK verileri içinde yer alan 2023 yılında Elektrik Üretim Endeksini göstermektedir. Aynı girdiler ile 4 ve 5 üyelik fonksiyonlu modeller de geliştirilmiş ve 2023 yılının tahminleri gerçekleştirilmiştir. Farklı üyelik fonksiyonu türleri ile elde edilmiş 2023 yılına ait tahmin sonuçlarının varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre p-skoru 1,93 ve f-skoru 0,075 olarak hesaplanmıştır. Buradan yola çıkarak yıl ve ay girdileri ile elektrik üretim endeksi tahmininde farklı üyelik fonksiyonlarının kullanımı, 3 üyelik fonksiyonlu sistemde anlamlı bir farklılık göstermemektedir.

### Analysis of Variance

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|--------|----|--------|--------|---------|---------|
| Factor | 7  | 298,7  | 42,67  | 1,93    | 0,075   |
| Error  | 88 | 1949,9 | 22,16  |         |         |
| Total  | 95 | 2248,6 |        |         |         |

Şekil 6. 2023 yılına ait üyelik fonksiyonları varyans analizi sonuçları

Elde edilen tahmin değerlerinin RMSE, MAPE,  $R^2$  ve MAE değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sırasıyla 3 fonksiyonlu model için Çizelge 3'te, 4 fonksiyonlu model için Çizelge 4'te ve 5 fonksiyonlu model için Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgelerde aynı zamanda 1986-2022 yılları arasında yer alan eğitim verilerinin değerleri de "Eğitim" satırında gösterilmiştir. Çizelgelerde yer alan "Test" satırı ise 2023 yılının değerlerini ifade etmektedir.

Çizelge 3. 3 üyelik fonksiyonu ve ay-yıl girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |       | Trimf    | Trapmf   | Gbellmf  | Gaussmf  | Gauss2mf | Pimf     | Dsigmf    | Psigmf   |
|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| Eğitim | RMSE  | 3,749800 | 4,542259 | 3,595549 | 3,675309 | 4,410544 | 3,887526 | 5,394863  | 3,985280 |
|        | MAPE  | 4,413544 | 5,493387 | 4,081637 | 4,330323 | 4,829241 | 4,072549 | 5,749865  | 4,410291 |
|        | $R^2$ | 0,988609 | 0,983286 | 0,989527 | 0,989058 | 0,984242 | 0,987757 | 0,976423  | 0,987134 |
|        | MAE   | 2,654063 | 3,245085 | 2,465727 | 2,606654 | 3,050847 | 2,654675 | 3,781635  | 2,809169 |
| Test   | RMSE  | 8,314475 | 8,393637 | 5,828523 | 5,684318 | 8,291680 | 5,931921 | 12,395577 | 6,823988 |
|        | MAPE  | 5,737290 | 5,186856 | 3,757975 | 3,917551 | 5,442247 | 4,213037 | 8,594946  | 4,523613 |
|        | $R^2$ | 0,998486 | 0,998458 | 0,999256 | 0,999293 | 0,998495 | 0,999230 | 0,996636  | 0,998980 |
|        | MAE   | 6,765332 | 6,717316 | 4,781280 | 4,740756 | 6,756039 | 5,232048 | 10,482267 | 5,329881 |
| Tümü   | RMSE  | 3,938299 | 4,684357 | 3,671751 | 3,742022 | 4,555243 | 3,954888 | 5,690524  | 4,085332 |
|        | MAPE  | 4,448379 | 5,485320 | 4,073120 | 4,319460 | 4,845373 | 4,076246 | 5,824735  | 4,413273 |
|        | $R^2$ | 0,988049 | 0,983093 | 0,989612 | 0,989211 | 0,984012 | 0,987948 | 0,975049  | 0,987140 |
|        | MAE   | 2,762254 | 3,336459 | 2,526663 | 2,662815 | 3,148352 | 2,722500 | 3,957967  | 2,875503 |

Çizelge 4. 4 üyelik fonksiyonu ve ay-yıl girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |       | Trimf    | Trapmf   | Gbellmf  | Gaussmf   | Gauss2mf | Pimf     | Dsigmf   | Psigmf   |
|--------|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Eğitim | RMSE  | 3,706576 | 4,198035 | 3,066494 | 3,175884  | 3,534690 | 4,057962 | 4,058282 | 3,659640 |
|        | MAPE  | 3,896317 | 4,464339 | 3,322029 | 3,662885  | 3,577941 | 3,983334 | 4,381322 | 4,004869 |
|        | $R^2$ | 0,988871 | 0,985724 | 0,992383 | 0,991829  | 0,989879 | 0,986660 | 0,986658 | 0,989151 |
|        | MAE   | 2,559310 | 2,861362 | 2,086533 | 2,153108  | 2,384211 | 2,755015 | 2,862496 | 2,580158 |
| Test   | RMSE  | 7,355512 | 7,979178 | 5,300025 | 5,206482  | 5,444879 | 7,148938 | 6,415070 | 5,737144 |
|        | MAPE  | 4,821564 | 4,390220 | 3,718389 | 3,730287  | 3,821541 | 4,767123 | 4,311933 | 4,088551 |
|        | $R^2$ | 0,998815 | 0,998606 | 0,999385 | 0,999407  | 0,999351 | 0,998881 | 0,999099 | 0,999279 |
|        | MAE   | 5,685741 | 5,794782 | 4,586771 | 4,583897  | 4,776355 | 6,046751 | 5,445000 | 5,036062 |
| Tümü   | RMSE  | 3,847199 | 4,339951 | 3,145655 | 3,245638  | 3,597975 | 4,168770 | 4,137538 | 3,729168 |
|        | MAPE  | 3,920665 | 4,462389 | 3,332460 | 3,664659  | 3,584351 | 4,003960 | 4,379496 | 4,007071 |
|        | $R^2$ | 0,988596 | 0,985487 | 0,992376 | 0,9918834 | 0,990025 | 0,986610 | 0,986810 | 0,989285 |
|        | MAE   | 2,641585 | 2,938557 | 2,152328 | 2,2170761 | 2,447162 | 2,841640 | 2,930457 | 2,644787 |

**Çizelge 5.** 5 üyelik fonksiyonu ve ay-yıl girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|               |                      | Trimf    | Trapmf   | Gbellmf  | Gaussmf  | Gauss2mf | Pimf      | Dsigmf   | Psigmf   |
|---------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| <b>Eğitim</b> | <b>RMSE</b>          | 3,129631 | 3,940099 | 2,543205 | 3,168912 | 2,523159 | 3,828275  | 3,054391 | 3,054391 |
|               | <b>MAPE</b>          | 3,195708 | 3,968636 | 2,611736 | 3,322507 | 2,513763 | 3,658369  | 3,340570 | 3,340570 |
|               | <b>R<sup>2</sup></b> | 0,992066 | 0,987424 | 0,994761 | 0,991865 | 0,994843 | 0,988128  | 0,992443 | 0,992443 |
|               | <b>MAE</b>           | 2,088459 | 2,557053 | 1,671085 | 2,120670 | 1,624604 | 2,435323  | 2,136103 | 2,136103 |
| <b>Test</b>   | <b>RMSE</b>          | 5,848368 | 9,102907 | 5,444676 | 5,142471 | 5,727476 | 10,114051 | 5,998766 | 5,998766 |
|               | <b>MAPE</b>          | 3,903447 | 5,772992 | 4,024685 | 3,705415 | 4,151735 | 6,717840  | 4,299241 | 4,299241 |
|               | <b>R<sup>2</sup></b> | 0,999251 | 0,998186 | 0,999351 | 0,999421 | 0,999282 | 0,997760  | 0,999212 | 0,999212 |
|               | <b>MAE</b>           | 4,654807 | 7,302281 | 4,836871 | 4,564197 | 4,984490 | 8,195392  | 5,225356 | 5,225356 |
| <b>Tümü</b>   | <b>RMSE</b>          | 3,230624 | 4,158899 | 2,660414 | 3,236304 | 2,657454 | 4,118491  | 3,167140 | 3,167140 |
|               | <b>MAPE</b>          | 3,214333 | 4,016119 | 2,648919 | 3,332583 | 2,556867 | 3,738881  | 3,365798 | 3,365798 |
|               | <b>R<sup>2</sup></b> | 0,991958 | 0,986673 | 0,994547 | 0,991930 | 0,994559 | 0,986931  | 0,992271 | 0,992271 |
|               | <b>MAE</b>           | 2,155995 | 2,681928 | 1,754395 | 2,184973 | 1,713022 | 2,586904  | 2,217400 | 2,217400 |

1986 – 2022 yılları arası yıl, ay ve elektrik üretim endeksi eğitim seti kullanılarak oluşturulan 5 üyelik fonksiyon sayısına sahip ANFIS modellerinden, en iyi ve en kötü RMSE, MAPE, R<sup>2</sup> ve MAE değerlerine sahip iki üyelik fonksiyonu modeli, Destek Vektör Regresyon (SVR) ve Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) karşılaştırması yapılmıştır. SVR ve LSTM modelleri için kullanılan eğitim seti ANFIS ile birebir aynıdır. Bu iki modelin ürettiği 2023 yılı elektrik üretim endeksi tahmin değerleri Çizelge 6’da verilmiştir. Elde edilen bu tahmin değerleri ile SVR, LSTM ve iki ANFIS modelinin RMSE, MAPE, R<sup>2</sup> ve MAE değerleri hesaplanarak Çizelge 7’de sunulmuştur. Çizelge 7’de sunulan iki ANFIS modeli, 5 üyelik fonksiyon sayısına sahip ve üyelik fonksiyonu olarak Gaussmf ile Pimf kullanan

modellerdir. Bu modellerin, Çizelge 5’e bakıldığında en iyi ve en kötü RMSE, MAPE, R<sup>2</sup> ve MAE değerlerine sahip modeller olduğu görülmektedir.

Elektrik üretim endeksinin zamana bağlı olarak tahmin edilmesi işlemi yanında Sanayi Üretim Endeksinin diğer bileşenlerinden olan Madencilik ve Taş Ocaklığı Endeksi ile İmalat Sanayi Endeksinin etkisinin de araştırılmasına yol açmıştır. ANFIS modelinde yer alan yıl ve ay girdilerinin yerine bu iki endeks girdi olarak verilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. 3 üyelik fonksiyonlu model için hesaplamalar Çizelge 8’de yer alırken, Çizelge 9 ve Çizelge 10 sırasıyla 4 üyelik fonksiyonlu ve 5 üyelik fonksiyonlu modeller için hesaplamaları içermektedir.

**Çizelge 6.** SVR ve LSTM modellerinin aylara göre 2023 yılı elektrik üretim endeksi tahmin değerleri

| Tarih      | Gerçek Değer | SVR      | LSTM     |
|------------|--------------|----------|----------|
| 01.01.2023 | 124,0298     | 130,6385 | 127,1636 |
| 01.02.2023 | 112,8441     | 130,9213 | 127,3877 |
| 01.03.2023 | 121,286      | 131,1766 | 127,6124 |
| 01.04.2023 | 109,5195     | 131,459  | 127,8336 |
| 01.05.2023 | 119,9644     | 131,7321 | 128,0565 |
| 01.06.2023 | 115,3273     | 132,014  | 128,2788 |
| 01.07.2023 | 144,4758     | 132,2866 | 128,5022 |
| 01.08.2023 | 151,7835     | 132,568  | 128,7251 |
| 01.09.2023 | 129,8558     | 132,8492 | 128,949  |
| 01.10.2023 | 118,4964     | 133,1211 | 129,3974 |
| 01.11.2023 | 117,6961     | 133,4018 | 129,3974 |
| 01.12.2023 | 126,9108     | 133,6733 | 129,6223 |

**Çizelge 7.** 5 üyelik fonksiyonuna sahip ANFIS modelleri ile diğer yöntemlerin test veri kümesi tahminlerinin karşılaştırması

|             |                      | SVR         | LSTM        | Gaussmf  | Pimf      |
|-------------|----------------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| <b>Test</b> | <b>RMSE</b>          | 14,14097168 | 12,51920238 | 5,142471 | 10,114051 |
|             | <b>MAPE</b>          | 10,68584174 | 8,629422027 | 3,705415 | 6,717840  |
|             | <b>R<sup>2</sup></b> | 0.946506    | 0.958073    | 0.992926 | 0.972635  |
|             | <b>MAE</b>           | 13.038453   | 10.717854   | 4.564197 | 8.195392  |

Çizelge 8. 3 üyelik fonksiyonu ve maden – imalat üretim endeksi girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |                | Trimf     | Trapmf    | Gbellmf   | Gaussmf   | Gauss2mf  | Pimf      | Dsigmf    | Psigmf    |
|--------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Eğitim | RMSE           | 7,839868  | 7,734709  | 7,481694  | 7,576339  | 7,539752  | 7,637344  | 7,875689  | 7,837034  |
|        | MAPE           | 11,714300 | 11,797702 | 11,107322 | 11,594165 | 10,982826 | 11,612640 | 12,173841 | 12,093635 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,950210  | 0,951537  | 0,954655  | 0,953501  | 0,953949  | 0,952749  | 0,949754  | 0,950246  |
|        | MAE            | 6,130892  | 6,092763  | 5,762129  | 5,950843  | 5,836250  | 5,981343  | 6,246722  | 6,195543  |
| Test   | RMSE           | 11,459554 | 13,447712 | 21,837918 | 12,141486 | 15,364224 | 13,920942 | 11,252630 | 10,864914 |
|        | MAPE           | 6,905165  | 8,544828  | 14,607061 | 6,877475  | 9,110112  | 8,606011  | 6,874939  | 6,707254  |
|        | R <sup>2</sup> | 0,997125  | 0,996041  | 0,989559  | 0,996772  | 0,994832  | 0,995757  | 0,997228  | 0,997415  |
|        | MAE            | 8,910015  | 10,899167 | 17,801791 | 9,102705  | 11,673637 | 11,075765 | 8,927124  | 8,653425  |
| Tümü   | RMSE           | 7,956248  | 7,937905  | 8,188562  | 7,731088  | 7,846270  | 7,867265  | 7,982879  | 7,931538  |
|        | MAPE           | 11,587744 | 11,712100 | 11,199420 | 11,470042 | 10,933544 | 11,533518 | 12,034396 | 11,951888 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,951225  | 0,9514501 | 0,9483356 | 0,953947  | 0,952565  | 0,952310  | 0,950898  | 0,951528  |
|        | MAE            | 6,204027  | 6,2192469 | 6,0789622 | 6,033787  | 5,989865  | 6,115406  | 6,317259  | 6,260224  |

Çizelge 9. 4 üyelik fonksiyonu ve maden – imalat üretim endeksi girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |                | Trimf     | Trapmf    | Gbellmf   | Gaussmf   | Gauss2mf  | Pimf      | Dsigmf    | Psigmf    |
|--------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Eğitim | RMSE           | 7,541774  | 7,576262  | 7,379714  | 7,355514  | 7,276480  | 7,264665  | 7,607007  | 7,600673  |
|        | MAPE           | 11,335458 | 11,329328 | 10,877727 | 11,045849 | 10,810291 | 10,829604 | 11,293945 | 11,150053 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,953924  | 0,953502  | 0,955883  | 0,956172  | 0,957109  | 0,957248  | 0,953124  | 0,953202  |
|        | MAE            | 5,835700  | 5,861285  | 5,700358  | 5,686873  | 5,606171  | 5,580830  | 5,934505  | 5,910213  |
| Test   | RMSE           | 11,530505 | 12,114691 | 21,638212 | 14,984336 | 13,639064 | 11,442770 | 11,697137 | 11,682097 |
|        | MAPE           | 6,821891  | 7,361885  | 13,141917 | 9,788772  | 8,934311  | 7,154168  | 6,067473  | 6,085907  |
|        | R <sup>2</sup> | 0,997089  | 0,996787  | 0,989749  | 0,995084  | 0,995927  | 0,997133  | 0,997004  | 0,997012  |
|        | MAE            | 8,842989  | 9,473421  | 16,342328 | 12,247002 | 11,296615 | 9,201351  | 8,057014  | 8,052645  |
| Tümü   | RMSE           | 7,673351  | 7,729908  | 8,083835  | 7,654313  | 7,513267  | 7,404880  | 7,742374  | 7,735717  |
|        | MAPE           | 11,216680 | 11,224922 | 10,937311 | 11,012768 | 10,760923 | 10,732882 | 11,156406 | 11,016786 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,954632  | 0,953961  | 0,949649  | 0,954857  | 0,956506  | 0,957751  | 0,953812  | 0,953892  |
|        | MAE            | 5,914839  | 5,956341  | 5,980409  | 5,859508  | 5,755920  | 5,676106  | 5,990360  | 5,966592  |

Çizelge 10. 5 üyelik fonksiyonu ve maden – imalat üretim endeksi girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |                | Trimf     | Trapmf    | Gbellmf    | Gaussmf   | Gauss2mf  | Pimf      | Dsigmf    | Psigmf    |
|--------|----------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Eğitim | RMSE           | 7,457427  | 7,531320  | 7,175063   | 7,247506  | 7,014888  | 7,334528  | 7,600782  | 7,602104  |
|        | MAPE           | 11,276357 | 11,334036 | 10,801394  | 10,928332 | 10,692316 | 11,070504 | 11,852322 | 11,870206 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,954949  | 0,954052  | 0,958296   | 0,957450  | 0,960137  | 0,956422  | 0,953200  | 0,953184  |
|        | MAE            | 5,798880  | 5,871092  | 5,572982   | 5,609634  | 5,424817  | 5,674086  | 5,967179  | 5,972395  |
| Test   | RMSE           | 29,416902 | 31,131952 | 122,574021 | 59,479553 | 34,322841 | 35,764550 | 32,983251 | 33,798637 |
|        | MAPE           | 15,411066 | 12,840071 | 49,900209  | 30,865355 | 21,134704 | 16,121718 | 20,590760 | 21,125257 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,981054  | 0,978780  | 0,671056   | 0,922543  | 0,974208  | 0,971995  | 0,976182  | 0,974989  |
|        | MAE            | 19,190622 | 16,345198 | 60,461957  | 37,392414 | 26,010048 | 20,120151 | 24,906796 | 25,548306 |
| Tümü   | RMSE           | 8,770529  | 8,985174  | 21,107000  | 12,010184 | 8,883423  | 9,275788  | 9,213055  | 9,291552  |
|        | MAPE           | 11,385165 | 11,373668 | 11,830310  | 11,452991 | 10,967116 | 11,203430 | 12,082281 | 12,113760 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,940731  | 0,937794  | 0,656735   | 0,888859  | 0,939195  | 0,933705  | 0,934599  | 0,933480  |
|        | MAE            | 6,151294  | 6,146726  | 7,017429   | 6,446022  | 5,966534  | 6,054246  | 6,465590  | 6,487551  |

Her iki ayrı girdi veri kümesi birleştirilerek yeni bir ANFIS modeli tasarlanmıştır. Bu yeni model 4 girdiye ve 1 çıktıya sahiptir. Girdi değerleri Yıl, Ay, İmalat Üretim Endeksi ve Maden üretim Endeksi iken, çıktı olarak tahmin edilen değer ise Elektrik Üretim Endeksi olması planlanmıştır.

Bu durumda elde edilen RMSE, MAPE,  $R^2$  ve MAE değerleri 3 üyelik fonksiyonlu model için Çizelge 11, 4 üyelik fonksiyonlu model için Çizelge 12 ve 5 üyelik fonksiyonlu model için Çizelge 13'te sırasıyla verilmiştir.

**Çizelge 11.** 3 üyelik fonksiyonu ve ay, yıl, maden, imalat üretim endeksi girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |       | Trimf     | Trapmf    | Gbellmf   | Gaussmf   | Gauss2mf  | Pimf     | Dsigmf   | Psigmf   |
|--------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| Eğitim | RMSE  | 3,761010  | 3,798270  | 2,941753  | 3,163296  | 3,445834  | 3,222574 | 4,250600 | 4,250497 |
|        | MAPE  | 3,881277  | 4,099610  | 3,452334  | 3,499424  | 3,933014  | 3,713558 | 4,626812 | 4,626584 |
|        | $R^2$ | 0,988541  | 0,988313  | 0,992990  | 0,991894  | 0,990381  | 0,991587 | 0,985364 | 0,985365 |
|        | MAE   | 2,549538  | 2,538812  | 2,089141  | 2,228334  | 2,365841  | 2,214278 | 2,963940 | 2,963842 |
| Test   | RMSE  | 17,678769 | 12,262961 | 14,279737 | 26,538661 | 12,007000 | 4,674710 | 9,157121 | 9,157570 |
|        | MAPE  | 8,691066  | 7,887691  | 10,499751 | 16,167206 | 6,942663  | 3,138705 | 5,497195 | 5,497029 |
|        | $R^2$ | 0,993157  | 0,996708  | 0,995536  | 0,984580  | 0,996844  | 0,999522 | 0,998164 | 0,998164 |
|        | MAE   | 10,611349 | 10,175141 | 12,708268 | 19,261551 | 9,140607  | 3,767530 | 7,130895 | 7,130756 |
| Tümü   | RMSE  | 4,690167  | 4,243179  | 3,713792  | 5,317644  | 3,918571  | 3,269063 | 4,449584 | 4,449512 |
|        | MAPE  | 4,007850  | 4,199297  | 3,637793  | 3,832787  | 4,012215  | 3,698430 | 4,649717 | 4,649491 |
|        | $R^2$ | 0,983051  | 0,986127  | 0,989373  | 0,978212  | 0,988169  | 0,991766 | 0,984745 | 0,984745 |
|        | MAE   | 2,761691  | 2,739768  | 2,368592  | 2,676576  | 2,544124  | 2,255153 | 3,073596 | 3,073498 |

**Çizelge 12.** 4 üyelik fonksiyonu ve ay, yıl, maden, imalat üretim endeksi girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |       | Trimf     | Trapmf    | Gbellmf   | Gaussmf   | Gauss2mf  | Pimf      | Dsigmf    | Psigmf    |
|--------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Eğitim | RMSE  | 2,369041  | 3,354783  | 1,287818  | 1,424923  | 1,456987  | 2,833103  | 3,005973  | 2,979370  |
|        | MAPE  | 2,788315  | 3,475879  | 1,629375  | 1,865063  | 1,924816  | 2,869244  | 3,874825  | 3,852735  |
|        | $R^2$ | 0,995454  | 0,990883  | 0,998657  | 0,998355  | 0,998280  | 0,993498  | 0,992680  | 0,992809  |
|        | MAE   | 1,656614  | 2,224536  | 0,900849  | 1,029359  | 1,006231  | 1,876676  | 2,184870  | 2,170134  |
| Test   | RMSE  | 30,200482 | 34,593613 | 17,426644 | 27,652731 | 38,679909 | 36,581584 | 17,461293 | 16,488911 |
|        | MAPE  | 17,489669 | 13,487074 | 11,673645 | 16,219773 | 20,786833 | 22,651421 | 11,663722 | 10,470842 |
|        | $R^2$ | 0,980031  | 0,973799  | 0,993351  | 0,983258  | 0,967244  | 0,970701  | 0,993325  | 0,994047  |
|        | MAE   | 20,747506 | 16,825605 | 14,545959 | 19,206071 | 24,058826 | 27,942998 | 14,491898 | 13,034110 |
| Tümü   | RMSE  | 5,428304  | 6,515441  | 3,099455  | 4,701060  | 6,437308  | 6,559830  | 4,101425  | 3,974657  |
|        | MAPE  | 3,175193  | 3,739331  | 1,893698  | 2,242818  | 2,421185  | 3,389827  | 4,079796  | 4,026896  |
|        | $R^2$ | 0,977296  | 0,967291  | 0,992598  | 0,982972  | 0,968071  | 0,966844  | 0,987039  | 0,987828  |
|        | MAE   | 2,159006  | 2,608774  | 1,259931  | 1,507694  | 1,612878  | 2,562632  | 2,508739  | 2,456028  |

**Çizelge 13.** 5 üyelik fonksiyonu ve ay, yıl, maden, imalat üretim endeksi girdi seti ile yapılmış tahminlerin değerlendirme değerleri

|        |       | Trimf     | Trapmf    | Gbellmf   | Gaussmf   | Gauss2mf  | Pimf      | Dsigmf    | Psigmf    |
|--------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Eğitim | RMSE  | 0,976764  | 3,040935  | 0,472458  | 0,896411  | 0,983133  | 2,437081  | 1,962523  | 1,505761  |
|        | MAPE  | 1,326818  | 3,629668  | 0,775278  | 1,209499  | 1,322184  | 2,485996  | 2,635969  | 2,079639  |
|        | $R^2$ | 0,999227  | 0,992509  | 0,999819  | 0,999349  | 0,999217  | 0,995189  | 0,996880  | 0,998163  |
|        | MAE   | 0,658714  | 1,977245  | 0,342309  | 0,587037  | 0,672459  | 1,512414  | 1,339577  | 1,017866  |
| Test   | RMSE  | 18,907151 | 16,090821 | 14,146398 | 58,086542 | 26,341862 | 28,268595 | 46,072261 | 49,065773 |
|        | MAPE  | 11,249247 | 8,323467  | 9,302332  | 29,414480 | 14,131176 | 12,298262 | 26,715572 | 28,323091 |
|        | $R^2$ | 0,992173  | 0,994331  | 0,995619  | 0,926129  | 0,984808  | 0,982504  | 0,953527  | 0,947291  |
|        | MAE   | 13,244885 | 10,078338 | 11,028518 | 34,782266 | 16,984096 | 15,431493 | 31,805853 | 33,294927 |
| Tümü   | RMSE  | 3,215018  | 3,977119  | 2,341724  | 9,464307  | 4,381949  | 5,178066  | 7,720715  | 8,097012  |
|        | MAPE  | 1,587935  | 3,753189  | 0,999674  | 1,951735  | 1,659263  | 2,744214  | 3,269643  | 2,770256  |
|        | $R^2$ | 0,992036  | 0,987813  | 0,995775  | 0,930983  | 0,985205  | 0,979341  | 0,954071  | 0,949484  |
|        | MAE   | 0,989929  | 2,190432  | 0,623525  | 1,486912  | 1,101713  | 1,878706  | 2,141321  | 1,867262  |

Bunlara ilave olarak ANFIS modellerinde de hata oranları hesaplanmış ve Çizelge 14'te verilmiştir. Üyelik fonksiyonları ve üyelik fonksiyon sayıları değiştirilerek elde edilen ANFIS modellerinde büyük çoğunlukla Gbellmf kullanılan ve 5 üyelik fonksiyonu içeren modelin hata oranlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Modellerin

oluşturulması ve tahminleri gerçekleştirilmesi için kullanılan 1986 – 2022 arası verilerin doğrulaması için Kaydırmalı (Rolling) Çapraz Doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem zaman serileri için kullanılan etkin bir yöntemdir. Bu yöntemde öncelikle veriler parçalara ayrılmaktadır. Ayrılan ilk parça ile modelin

eğitimi gerçekleştirilerek ikinci parçanın tahmin edilmesi işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada ilk olarak 1986 – 2018 yılı verileri eğitim için kullanılarak 2019 yılı elektrik üretim endeksi değerleri tahmin edilmiştir. Sonraki adımda 2019 verileri de eğitim setine eklenerek 2020 verileri tahmini

gerçekleştirilmiş, bu döngü tüm veriler işlenene kadar devam etmiştir. Verilerin doğrulanması için 3 üyelik fonksiyonu sayısına sahip Gbellmf üyelik fonksiyonlu model seçilmiştir. Girdi verisi olarak yıl ve ayın olduğu modeller üzerindeki doğrulama gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 14.** ANFIS modelleri hata değerleri

|         | Ü.F. Sayısı    | Trimf   | Trapmf | Gbellmf | Gaussmf | Gauss2mf | Pimf   | Dsigmf | Psigmf |
|---------|----------------|---------|--------|---------|---------|----------|--------|--------|--------|
| Ay-Yıl  | ANFIS(3 3)     | 3,7501  | 4,5445 | 3,5964  | 3,6758  | 4,4102   | 3,8883 | 5,394  | 3,9857 |
|         | ANFIS(4 4)     | 3,7065  | 4,1975 | 3,0663  | 3,1764  | 3,5351   | 4,0571 | 4,0578 | 3,6597 |
|         | ANFIS(5 5)     | 3,1298  | 3,9392 | 2,543   | 3,1694  | 2,5235   | 3,8275 | 3,0535 | 2,9431 |
| MadımEl | ANFIS(3 3)     | 7,8387  | 7,7334 | 7,4806  | 7,5756  | 7,5385   | 7,6364 | 7,8745 | 7,836  |
|         | ANFIS(4 4)     | 7,5409  | 7,5757 | 7,3782  | 7,3544  | 7,2757   | 7,264  | 7,6061 | 7,5998 |
|         | ANFIS(5 5)     | 7,4565  | 7,5306 | 7,1743  | 7,2466  | 7,0134   | 7,3337 | 7,5999 | 7,6012 |
| Tümü    | ANFIS(3 3 3 3) | 3,7589  | 3,7975 | 2,941   | 3,1623  | 3,4465   | 3,2241 | 4,2498 | 4,2497 |
|         | ANFIS(4 4 4 4) | 2,3675  | 3,3532 | 1,2882  | 1,4256  | 1,4574   | 2,8313 | 3,0043 | 2,9776 |
|         | ANFIS(5 5 5 5) | 0,97801 | 3,0396 | 0,47226 | 0,89675 | 0,98267  | 2,4354 | 1,962  | 1,5059 |

**Çizelge 15.** ANFIS modelleri hata değerleri

|        |                | 2019   | 2020    | 2021    | 2022   | 2023   |
|--------|----------------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Eğitim | RMSE           | 3,1891 | 2,8643  | 3,6056  | 3,4703 | 3,5955 |
|        | MAPE           | 4,4165 | 4,0126  | 4,2413  | 4,0920 | 4,0816 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,9892 | 0,9919  | 0,9879  | 0,9897 | 0,9895 |
|        | MAE            | 2,3902 | 2,1497  | 2,5203  | 2,3948 | 2,4657 |
| Test   | RMSE           | 6,7031 | 10,2402 | 13,5460 | 7,0174 | 5,8285 |
|        | MAPE           | 4,6346 | 7,9763  | 9,5348  | 4,4198 | 3,7580 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,9986 | 0,9969  | 0,9951  | 0,9988 | 0,9993 |
|        | MAE            | 5,4712 | 9,0994  | 12,3387 | 5,5541 | 4,7813 |
| Tümü   | RMSE           | 3,3456 | 3,3115  | 4,2115  | 3,6123 | 3,6718 |
|        | MAPE           | 4,4229 | 4,1258  | 4,3883  | 4,1008 | 4,0731 |
|        | R <sup>2</sup> | 0,9889 | 0,9898  | 0,9848  | 0,9894 | 0,9896 |
|        | MAE            | 2,4808 | 2,3483  | 2,7931  | 2,4801 | 2,5267 |

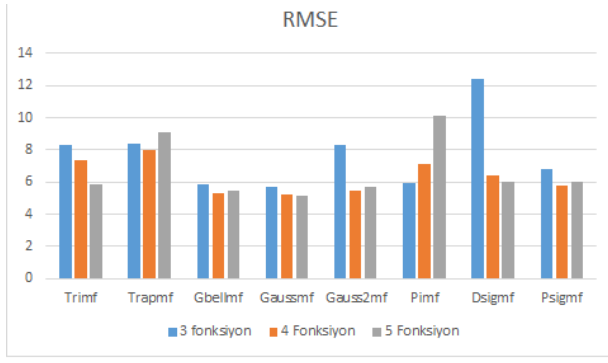
Çapraz doğrulama sonucunda elde edilen RMSE, MAPE, R<sup>2</sup> ve MAE değerleri Çizelge 15’te verilmiştir. Bu çizelgede Eğitim satırı tüm eğitim verileri üzerinde son beş yıl için yapılan çapraz doğrulama sonuçlarının yakınlığını göstermektedir. Değerler arasındaki farkların oldukça düşük olduğu gözükmemektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

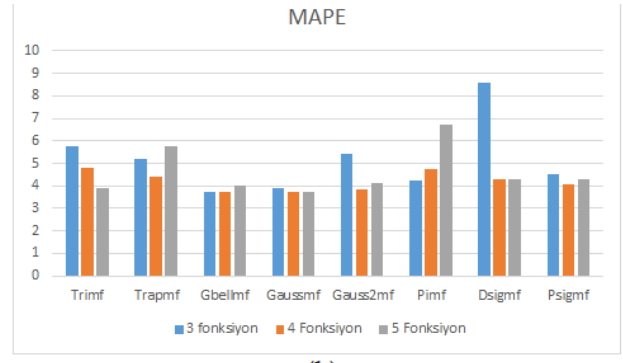
Günümüz teknolojilerinde yapay zekanın birçok kullanım alanı mevcuttur. Sistemlerin modelini oluşturarak davranışlarını tahmin etmek de bu alanlardan biridir. Yapılmış olan bu çalışmada bir yıla ait elektrik üretim endeksinin tahmin edilmesi için önceki yıllardaki veriler kullanılarak bulanık mantık modelleri üretilmiştir. ANFIS modelleri için de çeşitlendirme üyelik fonksiyonu ve üyelik fonksiyon sayısını değiştirerek elde edilmiştir. ANFIS’de yapılan tahminler bu modeller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Modellerin eğitilmesi için 1986-2022 yılları arasındaki imalat, maden ve elektrik üretim endeksi değerleri kullanılarak 2023 yılının elektrik üretim endeksi tahminleri yapılmış ve gerçek verilerle olan yakınlığı incelenmiştir. Bu tahminler yapılırken öncelikle ay ve yıl verileri girdi olarak alınarak 2023 yılının değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Buna ilave olarak zamana bağlı

olarak değişen imalat ve maden üretim endeksinin elektrik üretim endeksi üzerindeki etkisinin araştırılması için, girdi kümesine bu iki değeri de ekleyerek tahmin çalışması da yapılmıştır. Ayrıca girdi kümesinden zaman ögesini çıkararak, elektrik üretim endeksinin imalat ve maden üretim endeksleri değerleri ile ilişkilendirebilmek için ANFIS modelleri üretilmiştir. ANFIS modeli göz önüne alındığında sadece imalat ve maden üretim endeksinin dayalı elektrik üretim endeksinin tahmini, elektrik üretim endeksinin zamana bağlı tahmininde daha kötü sonuç vermiştir. Bunun yanında bu iki girdi değerinin zaman girdisine ilave edilerek oluşturulan veri seti üzerinde yapılan tahminde iyileştirici bir etkisi göze çarpmaktadır.

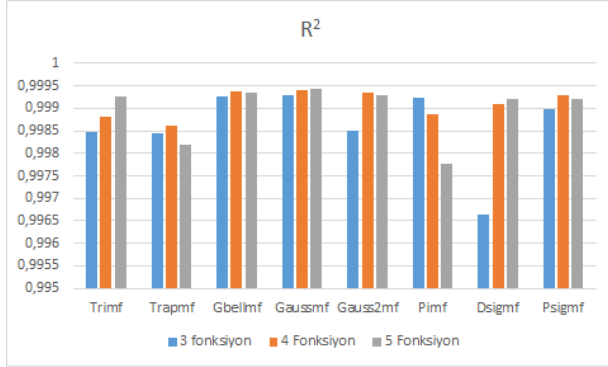
NFIS modelleri sonuçları değerlendirme ölçütleri 4 teknikte belirlenmiştir. Şekil 7’de bu 4 yöntem için sırasıyla 3, 4 ve 5 üyelik fonksiyonuna sahip, farklı üyelik fonksiyonu kullanan modellerin sadece ay-yıl girdi değerlerine göre elektrik üretim endeksi tahminlerine ait değerlendirmeler yer almaktadır. Şekil incelendiğinde Gauss2mf ve Dsigmf üyelik fonksiyonlarının 3 üyelik fonksiyonlu modelde, Pimf üyelik fonksiyonunun ise 5 üyelik fonksiyonlu modelde elde edilen sonuçlarının diğer modellerden oldukça farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.



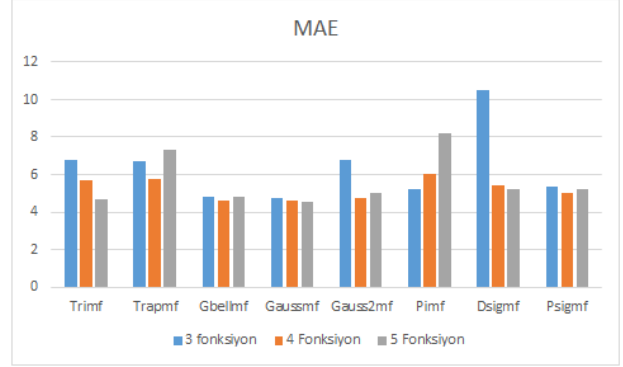
(a)



(b)

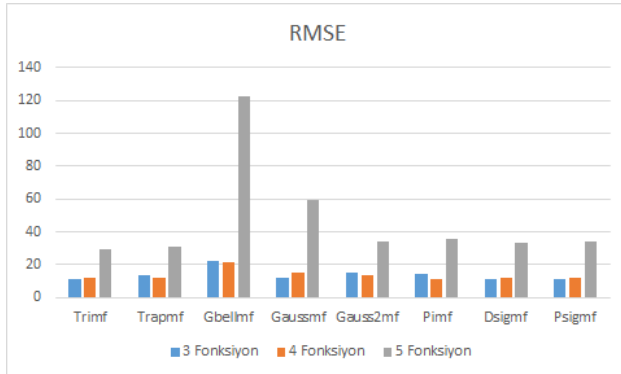


(c)

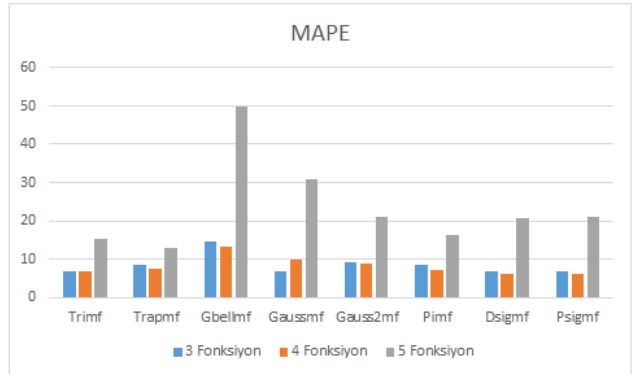


(d)

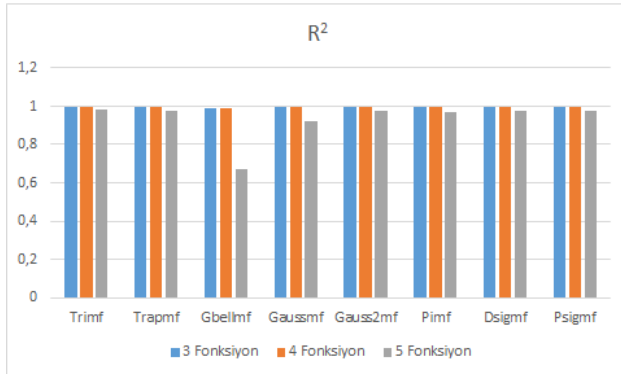
Şekil 7. Değişen üyelik fonksiyonu ve ay - yıl girdi setine sahip modellerin test sonuçlarının karşılaştırılması



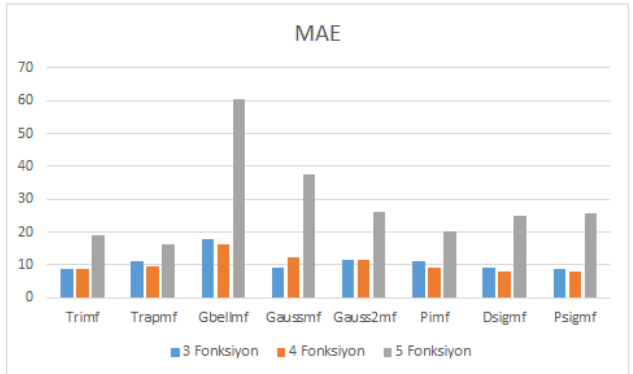
(a)



(b)

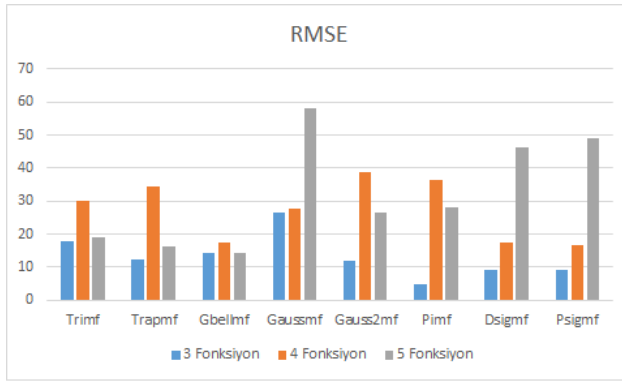


(c)

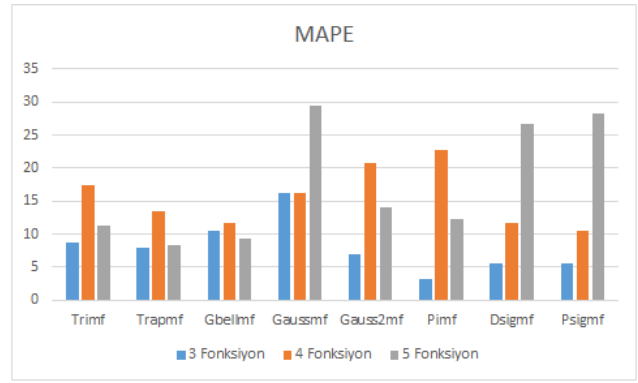


(d)

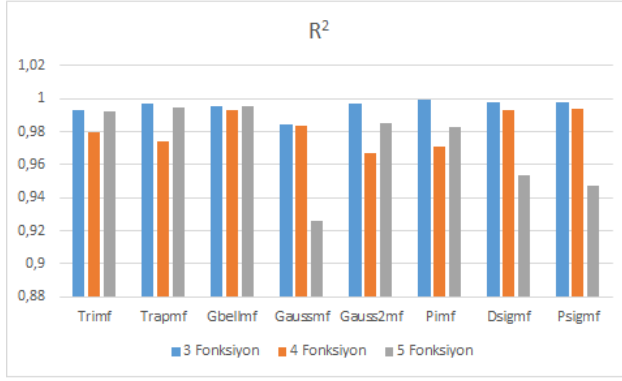
Şekil 8. Değişen üyelik fonksiyonu ve maden – imalat üretim endeksi girdi setine sahip modellerin test sonuçlarının karşılaştırılması



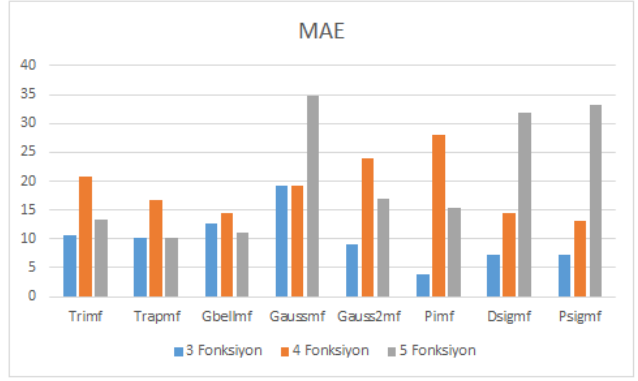
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 9.** Değişen üyelik fonksiyonu ve ay – yıl - maden – imalat üretim endeksi girdi setine sahip modellerin test sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 8, girdi seti olarak Maden ve İmalat Üretim Endeksleri kullanan ve değişken üyelik fonksiyonu sayısına sahip modellerin performans çıktılarını göstermektedir. Şekilden anlaşıldığı üzere, bu girdi seti için 5 fonksiyon kullanmak tahminlerin performansını kötü yönde etkilemektedir.

Ay – yıl ve maden – imalat girdi setlerinin birleştirilerek tahminlerin performansları artırılmak istenmiş ve bu şekilde değişen fonksiyon sayıları ile üyelik fonksiyonları için modeller oluşturulmuştur. Şekil 9 incelendiğinde sadece yıl ve ay girdilerine sahip olan modellerin, diğer iki girdi setine oranla daha verimli tahminler yaptıkları anlaşılmaktadır. Ayrıca şekiller incelendiğinde üyelik fonksiyonu sayısının artırılmasının performansa beklenen iyileştirme etkisini yapmadığı, aksine bazı değerlerde farkların açılmasına sebep olduğu da görülmektedir. Üyelik fonksiyonlarının tahminlere olan etkileri çapraz doğrulama işlemleri sırasında da yapılmıştır. Son 5 yıla ait tahminler ve değerlendirme kriterleri hesaplanarak Çizelge 15’te sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde son 5 yıla ait tahminlerde belirgin bir farklılık göze çarpmamaktadır. Buna dayanarak normal şartların süregeldiği yıllar için tahminlerin de benzer şekilde tutarlı ve gerçek değerlere yakın olacağı öngörüsü oluşabilecektir.

Elektrik üretim endeksinin tahmin edilmesi, elektrik şebekesinin işletimi ve yönetimi, sanayi ve imalat

sektörlerinin planlamaları açısından için çok önemlidir. Güvenilir tahminler yapabilmek için, model girdilerinin bir tahmin modeline dahil edilmeden önce tahmine yönelik özellikler açısından analiz edilmesi gerekir. Bu çalışmada güvenilir bir model oluşturmak için ANFIS parametrelerinin tahminler üzerine etkileri incelenmiş, aynı zamanda ANFIS yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırmasına da yer verilmiştir.

#### Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler. Bu çalışma yazar Öğr. Gör. Abdurrahman ÖZCAN’ın Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde 07.07.2024 tarihinde sunulmuş ve başarılı bulunmuş “YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIK İLE SANAYİ ÜRETİM ENDEKSİ TAHMİNİ” isimli Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

#### Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar-1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak, Görselleştirme, Doğrulama, Analiz ve yorumlama, Deneyleme, Metodoloji

Yazar-2: Yazma – orijinal taslak, Kavramsallaştırma, Metodoloji/Çalışma, deneysel tasarım, Araştırma, Kaynak sağlama, Yazma/inceleme ve düzenleme, Denetleme/danışmanlık, Proje Yöneticisi

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, <https://www.tuik.gov.tr/> sitesinden alınmıştır.

## 5. Kaynaklar

- Acedański, J., 2013. Forecasting Industrial Production in Poland – a Comparison of Different Methods. *Ekonometria Econometrics*, 1(39), 40–51.
- Beşirik, B. A., 2016. Bulanık Mantık ve Bulanık Yapay Sinir Ağı Teknikleri Kullanılarak Kripto Para Piyasasında Alım Satım Kararlarının Önceden Tahminlenmesi Üzerine Çalışma, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 118 s.
- Bilgin, A., 2023. Türkiye'deki İş Kazası Verilerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi, Yüksek Lisans, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 104 s.
- Bodo, G., Roberto, G.i, Giuseppe, P., 2000. Forecasting industrial production in the Euro area. *Empirical Economics*, 25(4), 541–61. <https://doi.org/10.1007/s001810000032>
- Demirci, E., 2020. Anfis İle Doğalgaz Talep Tahmini; Türkiye Örneği. *International Journal of Social Sciences Academy*, (3), 495-511.
- Ghimire, S., Deo, R.C., Casillas-Pérez, D., Salcedo-Sanz, S., 2023. Efficient daily electricity demand prediction with hybrid deep-learning multi-algorithm approach. *Energy Conversion and Management*, 297, 117707. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117707>
- Günay, M., 2018. Forecasting industrial production and inflation in Turkey with factor models. *Central Bank Review*, 18(4), 149–61. <https://doi.org/10.1016/j.cbrev.2018.11.003>
- Karabulut, M., 2024. Tedarik Zincirlerindeki Kırılma Risklerinin Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahminlemesine Yönelik Kızılay İşletmelerinde Bir Uygulama, Doktora, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya, 262 s.
- Kaynar, O., Zontul, M., Demirkoparan, F., 2010. Ham petrol fiyatlarının ANFIS ile tahmini. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 17, 3–14.
- Koç, E., Kaya, K., Şenel, M.C., 2016. Türkiye'de sanayi sektörü ve temel sanayi göstergeleri – sanayi üretim endeksi. *Mühendis ve Makine*, 57(682), 42-53.
- Levent, M., 2022. Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile Kurutma Sürecinin Modellenmesi, Yüksek Lisans, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 46 s.
- Mehrabadi, A. K., Omran, V. T., Khatir, M. V., Rasekhi, S., 2020. Forecasting Industrial Production in Iran : A Comparative Study of Artificial Neural Networks and Adaptive Nero-Fuzzy Inference System. *Iranian Journal of Economic Studies*, 8(1), 53–68. <https://doi.org/10.22099/ijes.2018.28706.1438>
- Oğuz Erenler, G., 2023. Rüzgar Gücünün Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 96 s.
- Öncel Çekim, H., 2018. Examination of industry production index in Turkey with time series method. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 547–54. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.423143>
- Pekçağlayan, B., 2021. Türkiye'de Sanayi Üretim Endeksinin Belirleyenleri: ARDL Modeli. *İstanbul Journal of Economics*, 71(2), 435–56. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-972114>
- Potdar, K., Kinnerkar, R., 2017. A non-linear autoregressive neural network model for forecasting Indian index of industrial production. TENSYPMP 2017 - IEEE International Symposium on Technologies for Smart Cities. Kochi, Kerala, India. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8069973>.
- Reddy, G., Aitha, L., Poojitha, C.H., Shreya, A., Reddy, D., Meghana, G., 2023. Electricity Consumption Prediction Using Machine Learning. E3S Web of Conferences. 391, 01048. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101048>.
- Sönmez Çakır, F., 2018. Model Melezleme ile Finansal Zaman Serisi Analizi, Doktora, Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze, 90 s.
- Şencan, D., Şencan Şahin, A., 2022. Anfis Yöntemi Kullanılarak Türkiye'de Gsyih Tahmini. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(26), 953–71. <https://doi.org/10.36543/kauibfd.2022.039>.
- Turan, T., Turan, G., Köse, U., 2022. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ve Yapay Sinir Ağları ile Türkiye'deki COVID-19 Vefat Sayısının Tahmin Edilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 15(2), 97–105. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.910806>.
- Uzun Özşahin, D., Uzun, B., Özşin, İ., Mubarak, T. M., Musa, S. M., 2020. Fuzzy logic in medicine. Biomedical Signal Processing and Artificial Intelligence in Healthcare, Walid Zgallai, 153-182. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818946-7.00006-8>.
- Warnakula, W. P. J. M., Samarasinghe, D. G. S. P., Hewaarachchi, A. P., 2024. Forecasting the Index of Industrial Production of Sri Lanka. 23rd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2024 – Proceedings, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina 1–4. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH60418.2024.10495928>.
- Wen, L., Yuan, X., 2020. RETRACTED ARTICLE: Forecasting the annual household electricity consumption of Chinese residents using the DPSO-BP prediction model. *Environ Sci Pollut Res* 27, 22014–22032. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08418-8>
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zhu, X., Song, Z., Sen, G., Tian, M., Zheng, Y., Zhu, B., 2022. Prediction study of electric energy production in important power production base, China. *Sci Rep* 12, 21472. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25885-w>