

T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'NİN CO₂ EMİSYONUNUN ANFİS İLE
TAHMİN EDİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Eda HAMAMCIOĞLU

Danışman
Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

2024
KAYSERİ

T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'NİN CO2 EMİSYONUNUN ANFİS İLE
TAHMİN EDİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Eda HAMAMCIOĞLU

Danışman
Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

2024
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Eda HAMAMCIOĞLU

İmza

(Faint, stylized signature watermark)

YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

“Türkiye’nin CO2 Emisyonunun ANFIS ile Tahmin Edilmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Eda HAMAMCIOĞLU

İmza

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

İmza



KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK danışmanlığında Eda HAMAMCIOĞLU tarafından hazırlanan “Türkiye’nin CO2 Emisyonunun ANFIS ile Tahmin Edilmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

.../.../2024

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

Üye :

Üye :

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../

Prof. Dr. Erkan Köse

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Türkiye'nin CO2 Emisyonunun ANFIS ile Tahmin Edilmesi adlı tez çalışması Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Endüstri Mühendisliği tezli yüksek lisans kapsamında hazırlanmıştır. Tez sürecim boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK'a ve tüm yaşamım boyunca maddi manevi her türlü desteğini esirgemeyen annem, babam, kardeşim, Yusuf ve Doğuhan'a çok teşekkür ederim.

(Kayseri,2024).

Eda HAMAMCIOĞLU

Kayseri, 2024

TÜRKİYE’NİN CO2 EMİSYONUNUN ANFİS İLE TAHMİN EDİLMESİ

Eda HAMAMCIOĞLU

**Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2024**

Danışman: Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK

ÖZET

Türkiye'nin enerji tüketimi ve ekonomik büyümesi hızla gelişmektedir ve bu CO2 emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir bir gelecek için çabaları önemli hale getirmektedir. Bu çalışma, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını anlamak ve tahmin etmek için ekonomik ve sosyal göstergelerin analiz edildiği bir araştırmayı sunmaktadır. 2000-2021 verileri, elektrik üretimi, ihracat, akaryakıt tüketimi, nüfus ve toplam taşıt sayısı gibi temel parametrelerin CO2 emisyonlarını etkilediğini göstermektedir. ANFİS (Adaptive Neural Fuzzy Inference System) kullanılarak yapılan analizler, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını tahmin etmek için etkili bir araç olarak ortaya çıkmıştır. 2022-2030 tahminleri, Türkiye'nin karbon azaltma çabalarını desteklemek için önemli bir rehber sağlamaktadır ve politika yapıcılarına enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı ve sürdürülebilir ulaşım gibi alanlarda yapılacak yatırımların önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma, Türkiye'nin sürdürülebilir bir gelecek için izlemesi gereken yol haritasına ışık tutarak, çevresel hedeflere ulaşmaya yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: CO2 emisyonu, ANFİS, Regresyon Analizi, Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Tahmin, Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji

ESTIMATING TURKEY'S CO2 EMISSIONS WITH ANFIS

Eda HAMAMCIOĞLU

**Nuh Naci Yazgan University, Institute of
Science, Industrial Engineering Department,**

Master of Science Thesis, June 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Oğuzhan Ahmet ARIK

ABSTRACT

Turkey's energy consumption and economic growth are rapidly developing, making efforts to reduce CO2 emissions and ensure a sustainable future increasingly important. This study presents an analysis of various economic and social indicators to understand and predict Turkey's CO2 emissions. Data from 2000-2021 demonstrate that fundamental parameters such as electricity production, exports, fuel consumption, population, and total number of vehicles impact CO2 emissions. Analyses conducted using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) have emerged as an effective tool for predicting Turkey's CO2 emissions. Forecasts for 2022-2030 provide valuable guidance to support Turkey's carbon reduction efforts, emphasizing the importance of investments in energy efficiency, renewable energy usage, and sustainable transportation for policymakers. By shedding light on the roadmap Turkey should follow for a sustainable future, this study can help achieve environmental goals.

Keywords: CO2 emissions, ANFIS, Economic Growth, Energy Consumption, Prediction, Energy Efficiency, Renewable Energy

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	iii
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI	iv
KABUL VE ONAY SAYFASI	v
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMA VE SİMGELER	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv

1.BÖLÜM: GİRİŞ

1. GİRİŞ.....	1
---------------	---

2.BÖLÜM: LİTERATÜR ANALİZİ

2. LİTERATÜR ANALİZİ.....	4
---------------------------	---

3. BÖLÜM: YÖNTEM

3. YÖNTEM	21
-----------------	----

3.1. Uygulama Özeti.....	21
--------------------------	----

3.1.1. Parametre Seçimi.....	22
------------------------------	----

3.1.2. Veri Analizi.....	22
--------------------------	----

3.1.3. ANFIS Tahmini.....	23
3.1.4. Senaryo Oluşturma.....	23
3.1.5. Sonuç Karşılaştırması.....	23
3.2. Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları.....	24
3.2.1. Bulanık Mantık	24
3.2.1.1. Bulanık Küme Teorisi	25
3.2.1.2. Bulanık Kurallar ve Mantık	25
3.2.1.3. Bulanık ıkarım Sistemleri	26
3.2.2. Yapay Sinir Ağları.....	27
3.2.3. Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağlarının Birleştirilmesi	27
3.2.3.1. Bulanık Sinir Ağları (FNN).....	28
3.2.3.2. Nöro-Bulanık Genetik Sistemler	28
3.2.3.3. Hibrit Nöro-Bulanık Sistemler	28
3.2.3.4. ANFIS	29
3.3. Tahmin Hataları İçin Kullanılan ltler	31
3.3.1. Ortalama Mutlak Hata (MAE).....	31
3.3.2. Ortalama Kare Hata (MSE)	31
3.3.3. Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)	32
3.3.4. Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)	32
3.4. CO2 Tahmini için ANFIS ve Eğitim	32
3.4.1. Verilerin Bulunması	33

3.4.2. ANFIS ile Modelin Eğitilmesi	40
---	----

3.4.3. Senaryoların Oluşturulması ve Gelecek Yıllara Ait Tahminlerin Yapılması	59
--	----

3.4.4. Senaryoların Karşılaştırılması.....	61
--	----

4.BÖLÜM: SONUÇ

4. SONUÇ.....	71
---------------	----

5. KAYNAKÇA.....	74
------------------	----

6. ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
-------------------	----------------------------------

KISALTMA VE SİMGELER

CO₂	:	Karbondioksit
ANFIS	:	Adaptive Neural Fuzzy Inference System
NDC	:	Ulusal Belirlenmiş Katkı
FCM	:	Fuzzy-C Means Kümeleme Yöntemi
HTGA	:	Hibrit Taguchi-Genetik Algoritması
HHV	:	Yüksek Isıl Değer
FC	:	Sabit Karbon
ASH	:	Kül İçeriği
RMSE	:	Kök Ortalama Kare Hatası
AARD	:	Ortalama Mutlak Göreceli Sapma
RPM	:	Dakika Başına Devir
CRDI	:	Comman Rail Diesel Intercooler
CNG	:	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
MAPE	:	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MSE	:	Ortalama Kare Hata
MOBSUB	:	Mobile Subscribers
EP	:	Elektronik Yayın Platformu
EI	:	Energy Industry
FFNN	:	İleri Beslemeli Sinir Ağı
LSTM	:	Uzun Kısa Vadeli Bellek
YZ	:	Yapay Zekâ
NARX	:	Nonlinear Auto Regressive Model With Exogenous Inputs
MIV	:	Ortalama Etki Değeri
GSYİH	:	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
SARIMA	:	Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average
ARIMA	:	AutoRegressive Integrated Moving Average
NRMSE	:	Normalize Ortalama Hata Kareleri Kökü
ANN	:	Artificial Neural Network
HWES	:	Holt-Winters Exponential Smoothing
SCM	:	Çıkarma Kümeleme Yöntemi

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Literatür Taraması Özeti.....	15
Tablo 3.1. CO2 Emisyonunu Etkileyen Faktörler	34
Tablo 3.2. CO2 Emisyonunu Etkileyen Faktörlerin Korelasyon ve Regresyon Katsayıları.....	36
Tablo 3.3. CO2 Emisyonunu Etkileyen Ana Faktörler ve Türkiye Verileri.....	39
Tablo 3.4. Farklı Eğitim-Test Oranları ve Üyelik Fonksiyonları İçin ANFIS Sonuçları	42
Tablo 3.5. ANFIS’te kullanılan parametreler ve tahmin sonuçları.....	51
Tablo 3.6. ANFIS tahmin modeli ve Regresyon Tahmin analizlerinin karşılaştırılması	58
Tablo 3.7. Senaryo 1’e at parametre tahminleri.....	59
Tablo 3.8. Senaryo 2’ye ait parametre tahminleri	59
Tablo 3.9. Senaryo 3’e at parametre tahminleri.....	60
Tablo 3.10. Senaryolar 4’e ait parametre tahminleri	60
Tablo 3.11. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 1’e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	61
Tablo 3.12. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 2’ye göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	61
Tablo 3.13. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 3’e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	62
Tablo 3.14. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 4’e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	62

Tablo 3.15. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 1'e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	63
Tablo 3.16. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 2'ye göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	63
Tablo 3.17. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 3'e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	64
Tablo 3.18. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 4'e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları	64



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. ANFIS Katman Yapısı.....	30
Şekil 3.2. CO2 Emisyonunu Etkileyen Ana Parametreler ve ANFIS Katmanları.....	38
Şekil 3.3. Türkiye'de Ölçülen CO2 Emisyonlarına İlişkin Veriler	40
Şekil 3.4. ANFIS Model yapısının oluşturulması	44
Şekil 3.5. ANFIS yapısı	45
Şekil 3.6. Gbellmf üyelik fonksiyonuna göre ANFIS Model Yapısı.....	46
Şekil 3.7. Gbellmf üyelik fonksiyonuna göre bulanık mantık kuralları	47
Şekil 3.8. Gerçek CO2 emisyonu verileri ve Gbellmf üyelik fonksiyonu ile eğitilen ANFIS modelinin test sonuçları	48
Şekil 3.9. Gaussmf bulanık mantık kuralları	50
Şekil 3.10. Gerçekleşen ve tahminlenen CO2 emisyonları	52
Şekil 3.11. CO2 Emisyonu ve Elektrik, İhracat İlişkisi.....	53
Şekil 3.12. CO2 Emisyonu ve Akaryakıt, Nüfus İlişkisi	54
Şekil 3.13. CO2 Emisyonu ve Elektrik, Kara Taşıtları İlişkisi.....	54
Şekil 3.14. CO2 Emisyonu ve İhracat, Nüfus İlişkisi.....	55
Şekil 3.15. CO2 Emisyonu ve Akaryakıt, Kara Taşıtları İlişkisi.....	55
Şekil 3.16. CO2 Emisyonu ve Elektrik, Akaryakıt İlişkisi.....	56
Şekil 3.17. CO2 Emisyonu ve Elektrik, Nüfus İlişkisi	56
Şekil 3.18. CO2 Emisyonu İhracat, Akaryakıt İlişkisi	57
Şekil 3.19. CO2 Emisyonu İhracat, Kara Taşıtları İlişkisi	57

Şekil 3.20. CO2 Emisyonu Nüfus, Kara Taşıtları İlişkisi.....	58
Şekil 3.21. Senaryo 1’e göre modellerin karşılaştırılması	65
Şekil 3.22. Senaryo 2’ye göre modellerin karşılaştırılması	66
Şekil 3.23. Senaryo 3’e göre modellerin karşılaştırılması	67
Şekil 3.24. Senaryo 4’e göre modellerin karşılaştırılması	68



1. BÖLÜM: GİRİŞ

CO2 emisyonu, karbon dioksit gazının atmosfere salınması anlamına gelmektedir. Bu emisyonlar, fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) yanması, endüstriyel süreçler, ormansızlaşma ve tarım gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Atmosferdeki CO2 seviyelerinin artması, sera etkisi yaratmakta ve dünya genelinde iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu değişiklikler, ekstrem hava olayları, deniz seviyesinde yükselme, habitat kaybı ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi bir dizi çevresel soruna yol açmaktadır. CO2 emisyonlarının ana kaynakları enerji üretimi ve tüketimi, endüstriyel faaliyetler, ulaşım ve tarım olarak öne çıkmaktadır. Fosil yakıtların yaygın olarak kullanılması, enerji üretimindeki sanayi tesislerinden yayılan emisyonları artırmaktadır. Ayrıca ulaşım sektörü, özellikle fosil yakıt kullanan araçlar, yüksek oranda CO2 emisyonuna neden olmaktadır. Tarım, özellikle ormansızlaşma ve toprak kullanımı değişiklikleri, sera gazı salınımını artırmaktadır.

Türkiye hem ulusal hem de uluslararası platformlarda çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle mücadele konularında kararlı bir tutum sergilemektedir. Bu bağlamda, ülkenin CO2 emisyonlarını azaltma hedefleri stratejik bir öncelik haline gelmiştir. Türkiye, 2020-2030 dönemi için belirlediği Ulusal Belirlenmiş Katkı (NDC) ile sera gazı emisyonlarını azaltma taahhüdünde bulunmuştur. NDC belgesine göre, Türkiye 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 2005 seviyelerine göre %21 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu azaltım hedefleri, enerji, sanayi, ulaşım, tarım ve orman sektörlerinde alınacak önlemlerle gerçekleştirilecektir. Türkiye'nin CO2 emisyonlarını azaltma stratejileri arasında öncelikli olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin teşvik edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması yer almaktadır. Bu kapsamda, rüzgâr, güneş, hidroelektrik ve biyokütle gibi temiz enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artırılarak, bu kaynakların enerji üretim portföyündeki payı artırılacaktır. Enerji verimliliği projeleri ve uygulamalarıyla enerji tüketiminin azaltılması ve kaynakların daha verimli kullanılması da CO2 emisyonlarının azaltılmasına yönelik önemli bir

adımdır. Sanayi sektöründe, enerji verimliliği önlemleri ve temiz teknolojilere geçişin teşvik edilmesiyle sera gazı salınımı azaltılacaktır. Ulaşım sektöründe ise, elektrikli araçların ve toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması, yeşil ulaşım projelerinin desteklenmesiyle CO2 emisyonlarının azaltılması hedeflenmektedir. Tarım ve orman sektörlerinde de ormansızlaşmanın önlenmesi, ağaçlandırma projelerinin desteklenmesi ve tarım uygulamalarının sürdürülebilir hale getirilmesiyle CO2 emisyonlarının azaltılması planlanmaktadır. Türkiye, bu stratejilerin etkili bir şekilde uygulanmasıyla uluslararası taahhütlerini yerine getirerek iklim değişikliğiyle mücadelede etkin bir rol oynamayı amaçlamaktadır.

Ormanların korunması ve ağaçlandırma projeleri, biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliğini sağlamanın yanı sıra karbon depolama kapasitesini artırarak atmosferdeki CO2 seviyelerini azaltmaya yönelik stratejiler arasında öne çıkmaktadır. Dünya genelinde CO2 emisyonlarını azaltma çabaları, Paris Anlaşması'nın öncülüğünde hız kazanmıştır. Paris Anlaşması, 2015 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi altında kabul edilen bir küresel iklim değişikliği anlaşmasıdır. Anlaşma, dünya genelinde iklim değişikliği ile mücadele etmek ve küresel sıcaklık artışını kontrol altına almak amacıyla oluşturulmuştur. Temel hedefi, küresel ısınmayı sanayi öncesi seviyelere göre 2 derece Celsius'ın altında tutmak, mümkünse 1.5 dereceyle sınırlamaktır.

Paris Anlaşması, ülkelerden sera gazı emisyonlarını azaltma taahhütlerinde bulunmalarını istemektedir. Her ülke, kendi ulusal belirlenmiş katkılarını (Nationally Determined Contributions) sunarak, sera gazı emisyonlarını ne kadar azaltmayı planladığını beyan etmektedir. Anlaşma, ülkelerin bu taahhütlerini belirli bir periyot içinde güncellemelerini ve artırmalarını öngörmektedir. Paris Anlaşması, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede ortak bir çabaya dayanmaktadır ve dünya genelinde birçok ülkenin katılımını içermektedir. Her ülkenin kendi kapasitesine göre katkıda bulunmasını ve sürdürülebilir bir gelecek için iş birliği yapmasını hedeflemektedir. Türkiye, Paris Anlaşması'nı 4 Kasım 2016 tarihinde imzalamış ve 28 Şubat 2017 tarihinde resmi olarak onaylamıştır. Bu şekilde, Türkiye, anlaşmanın hükümlerini kabul eden ve uygulayan bir üye ülke konumundadır.

CO2 emisyonlarının tahmin edilmesi, iklim değişikliği ve küresel ısınma ile mücadelede kritik bir rol oynamaktadır. Doğru tahminler, atmosferdeki sera gazlarının miktarını ve etkilerini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Bu tahminler, hkmetlerin, şirketlerin ve bireylerin alması gereken önlemleri belirlemek için kullanılmaktadır. Sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulması, düşük karbonlu ekonomilere geçiş ve iklim değişikliğiyle mücadele stratejilerinin belirlenmesi için CO2 emisyonlarının gelecekteki seviyelerini öngörmek büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca emisyon tahminleri, bilimsel araştırmalarda ve iklim modellerinde kullanılarak olası iklim senaryolarının değerlendirilmesine ve uyum stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Sonuç olarak, bu alışma, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını tahmin etme konusundaki önemli bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) yöntemi, karmaşık ve dinamik bir konu olan CO2 emisyonlarının modellenmesinde yüksek doğruluk ve esneklik sağlayan bir yöntem olarak öne çıkılmaktadır. Yapılan literatür taraması ve yöntemin temel prensiplerine odaklanarak, bu araştırma, Türkiye'nin geçmiş CO2 emisyon verilerini kullanarak gelecekteki emisyon trendlerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Elde edilecek sonuçlar, sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin oluşturulmasında, enerji politikalarının şekillendirilmesinde ve çevresel etki değerlendirmelerinde önemli bir rehberlik sağlayabilir. Ayrıca, ANFIS modelinin CO2 emisyon tahminindeki başarısı, benzer çalışmalara ilham kaynağı olabilir ve bu alandaki gelecekteki araştırmalara önemli bir katkı sunabilir.

2. BÖLÜM: LİTERATÜR ANALİZİ

Günümüzde, atmosferik karbondioksit (CO₂) emisyonlarının tahmin edilmesi, iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından hayati bir öneme sahiptir. CO₂ emisyonlarının doğru tahmin edilmesi, çevresel politika oluşturucuları, endüstri liderleri ve bilim insanları için temel bir gerekliliktir. Literatür taramasının odak noktası, CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için kullanılan parametrelerin ve yöntemlerin incelenmesidir. Bu bağlamda, bulgularının odak noktası, bulanık mantık teorisi temelli bir yapay zekâ yöntemi olan Adaptif Sinirsel Bulanık İnferans Sistemi (ANFIS) üzerinde yoğunlaşmıştır. Literatür taraması, CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için kullanılan çeşitli parametrelerin incelenmesiyle birlikte, ANFIS'in bu bağlamdaki rolünü ve etkinliğini anlamaya yardımcı olacaktır. Bu araştırma, CO₂ emisyonlarının gelecekteki seviyelerini tahmin etmek için geliştirilen yeni ve etkili yöntemlerin keşfedilmesine katkı sağlayabilir. Bu da iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir bir gelecek için daha etkili politikaların geliştirilmesine olanak tanır.

Arı ve Zeren'in [1] çalışması, karbon emisyonları ile kişi başına gelir arasındaki bağlantıyı inceleyerek Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) teorisini sınamayı amaçlamışlardır. Çalışmada, 2000-2005 dönemi için Akdeniz ülkeleri baz alınarak panel veri yöntemi kullanılmıştır. Deneyimsel bulgular, karbon emisyonları ile kişi başına gelir arasında ters-U şeklinde bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, ekonomik büyümenin artmasıyla CO₂ emisyonlarının da artabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, çalışma nüfus yoğunluğu ve enerji tüketimi gibi değişkenlerin çevre kirliliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Ampirik bulgular, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketiminin CO₂ emisyonlarını pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Bu bulgular, çevresel politika oluşturucuları için önemli ipuçları sunarak çevresel sürdürülebilirlik açısından değerli bir katkı sağlamaktadır.

Sel ve Tekgün [2] tarafından yapılan araştırmada, küresel ölçekte yaşanan yoğun sanayileşme, hızlı nüfus artışı, bilinçsiz enerji tüketimi ve yüksek enerji talebinin, karbon emisyon miktarının artışına sebep olduğu ve sera gazı salınımındaki bu artışın dünya çapında ve ülkemizde ekonomik gelişimi, sürdürülebilir büyümeyi, iklim koşullarını, şehirleşmeyi ve temelde ekonomik gücü tehdit ettiği belirtilmiştir. Çalışmada, CO2 salınımı tahmininde bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının entegrasyonu olan ANFIS yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması çerçevesinde değerlendirilmiş ve karbon emisyonlarının azaltılması için projeler ve planlar geliştiren karar vericilere yardımcı olması hedeflenmiştir.

Mardani vd. [3]'te, CO2 emisyonlarının tahminini gerçekleştirmek amacıyla ANFIS modelini kullanarak girdi ve çıktı göstergelerinin ilişkilerini belirlemişlerdir. Dünya Kalkınma Göstergeleri veri setleri üzerinde yapılan deneysel analizler, önerilen modelin enerji tüketimi ve ekonomik büyüme temelinde CO2 emisyonlarını başarılı bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir. Bu çalışma, ANFIS modelini kullanarak G20 ülkelerinde CO2 emisyonlarını tahmin etmek için ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkileri ve etki düzeylerini inceleyen bir yöntem önermektedir. Çalışma kapsamında ANFIS modeli 1962-2016 yılları arasında G20 ülkelerindeki gerçek verilerle enerji tüketimi, CO2 ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılmıştır.

Karaboğa ve Kaya [4] yaptıkları çalışmada ANFIS, gerçek dünya probleminin çözümü için ABC algoritması kullanılarak eğitmişlerdir. Bu amaçla, ABD, Almanya, Bulgaristan, Fransa, Gürcistan, Hollanda, İngiltere, İran ve Rusya'dan gelen yabancı ziyaretçi sayıları Türkiye'de tahmin edilmiştir. Ayrıca, toplam ziyaretçi sayısı da öngörülmüştür. Uygulamalarda, Temmuz 2002 ile Aralık 2014 arasındaki 150 aylık veri kullanılmış ve bu verilerle bir zaman serisi oluşturulmuştur. Sonuç olarak, yabancı ziyaretçi sayısının tahmininde ABC algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların diğer optimizasyon yöntemlerinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu çalışma ANFIS'in, ABC algoritması kullanılarak eğitilmesi ve Türkiye'ye gelen yabancı ziyaretçi sayısını tahmin etmede başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. ABC algoritması ile elde edilen sonuçlar, diğer optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha başarılı bulunmuştur.

Bayramoğlu vd. [5] Türkiye'nin 2016-2030 dönemindeki enerji talebini belirlemek amacıyla ANFIS yöntemini kullanarak büyüme oranları, nüfus ve enerji fiyatları gibi belirleyici göstergeleri ele almışlardır. Analizlerinden elde ettikleri sonuçlara göre, Türkiye'nin gelecekteki enerji talebinde önemli bir artış olabileceği öngörülmüştür. Ancak, petrol ve doğal gaz gibi birincil enerji kaynaklarına dayalı talepte belirgin bir değişiklik beklenmemektedir. Bu çalışma, enerji fiyatlarını da dikkate alarak, daha önce yapılan büyüme ve nüfusa dayalı analizlere ek olarak literatürdeki bir boşluğu doldurmaya yöneliktir.

Koçak [6] yaptığı çalışmada Türkiye örneğinde internet kullanımının CO2 emisyonları üzerindeki etkilerini incelemektedir. 1993-2020 dönemini ele alan bu çalışmada, CO2 emisyonları ile internet kullanımı, ekonomik büyüme, finansal gelişme ve dış ticaret açıklığı değişkenleri arasındaki uzun ve kısa süreli ilişkiler, ARDL sınır testi yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Zaman serisi analizi sonucunda elde edilen bulgular, internet kullanımının hem kısa hem de uzun vadede CO2 emisyonlarını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Sarıtaş ve Akar [7] yaptıkları çalışmada, 1995-2018 dönemi boyunca turizm açısından en popüler olan 10 ülkede turizmin karbon emisyonlarına etkisini panel veri analizi ile incelemişlerdir. Turizm, seyahat ve konaklama faaliyetleri nedeniyle karbon emisyonlarında artışa neden olacağı ve ekonomik büyümeye katkı sağlarken çevre kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği belirtilmiştir. İki farklı model kullanılarak yapılan analizde, turizmin karbon salınımını pozitif yönde etkilediği bulunmuştur. İkinci modelde, turizm ve petrol tüketimi değişkenlerinin her ikisinin de karbon salınımını pozitif yönde etkilediği gözlenmiştir.

Güler ve Kandemir [8], 1965'ten 2020'ye kadar OECD ülkelerinin CO2 emisyon değerlerini kullanarak tahmin analizi gerçekleştirmişlerdir. Lineer ve kübik regresyon analizleri kullanılarak iki farklı modelle gelecek 15 yılın emisyon değerleri tahmin edilmiştir. Tahmin başarısı, farklı metriklerle değerlendirilmiştir ve kübik regresyon analizi kullanılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Tek örneklem t testi sonuçlarına göre, iki tahmin yöntemi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmiştir.

Pabuççu ve Bayramoğlu [9] yaptıkları çalışmada Türkiye ve AB-28 ülkelerinin gelecekteki sera gazı salım değerlerini tahmin etmek için 1990-2030 dönemine ait nüfus, GSYH, enerji üretimi ve tüketimi ile ulaşımda enerji kullanımı ve sera gazı salım miktarları gibi verilerin analizi yapılmıştır. Türkiye'nin 2020, 2025 ve 2030 yılları için CO₂ eşdeğeri salım tahminleri, Yapay Sinir Ağları Modeli (YSA) kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan tahminler, Türkiye'nin 2030 yılı için Paris İklim Zirvesi'nde taahhüt ettiği 929 Mt CO₂ eşdeğeri salım miktarını aşacağını göstermektedir.

Bozkurt ve Okumuş [10], Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezini sınavabilmek adına 1966-2011 yıllarını kapsayan bir süreçte, CO₂ emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticaret açıklığı oranı ve nüfus yoğunluğu gibi değişkenler arasındaki uzun vadeli ilişkiyi analiz etmişlerdir. Çalışma, ekonomik büyümenin, enerji tüketimi, nüfus artışı ve ticari açıklık oranları gibi faktörlerin CO₂ emisyonunu artırdığını ve EKC hipotezinin Türkiye için geçerli olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, enerji, büyüme, ticaret ve nüfusla ilgili politikaların yeniden gözden geçirilmesi ve sürdürülebilir kalkınma amaçlarına uygun adımlar atılması gerektiği belirtilmiştir.

Jeong vd. [11] yaptıkları çalışmada, inşaat sırasında tüketilen başlıca inşaat malzemeleri nedeniyle altı farklı büyüklükteki apartman ünitesinden yayılan CO₂ emisyonlarını nicel olarak belirlemeyi amaçlamaktadırlar. Sonuçlar, bir apartman ünitesinin çeşitli inşaat malzemelerinden kaynaklanan CO₂ emisyonunun ortalama 569.5 kg-CO₂/m² olduğunu göstermiştir. Kore'deki ortak bir apartman tipi olan 84.9 m² alanlı bir apartmanda yaklaşık 11.8 TOE gömülü enerji ve 45.1 ton-CO₂ emisyonu bulunmaktadır. Çelik ve betondan kaynaklanan CO₂ emisyonları, apartman üniteleri için 424.2–584,2 kg-CO₂/m² olup, toplam CO₂ emisyonlarının yüzde 82'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Sonuçlar, apartman komplekslerinin sürdürülebilir tasarımı için değerli olduğunu ancak bina sektörünün CO₂ azaltma stratejisi için teknik önlemler alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Sun vd. [12] yazarların çalışmasında bahsedildiği gibi 1996-2013 yılları arasında, pirinç, buğday ve mısır anızlarının yakılmasından kaynaklanan CO₂ emisyonları laboratuvar ölçümlerine dayanarak hesaplanmış ve bu süre zarfında tarım atığı yakılmasından yaklaşık 2707.34 Tg CO₂ salınmıştır. Bu miktar, 1996-2013 yılları arasındaki toplam konut kömür tüketiminin %45,09'unu oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Tarım ürünü artığı açık yakmasından kaynaklanan CO2 emisyonu miktarı, sera gazı emisyonunun hafifletilme potansiyelini belirlemek için önemli bir gösterge olduğunu ve anızın tarlaya geri dönüşü, anızın kullanım verimliliğinin artırılması ve biyokütle enerjisinin ticarileştirilmesi gibi stratejiler önermişlerdir. Ancak, bu hafifletme potansiyelini gerçekleştirebilmek için, Çin'in farklı kırsal bölgelerindeki yerel ekonomik ve çevresel koşullara uygun politikalar ve düzenlemelerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bengochea vd. [13] yaptıkları çalışmada, ekonomik büyüme ile CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi Avrupa Birliği'nde incelemektedirler. 1981'den 1995'e kadar olan dönem için bir panel veri analizi uygulanmış ve on seçili Avrupa ülkesindeki GSYİH büyümesi ve CO2 emisyonları arasındaki ilişki tahmin edilmiştir. Analiz, en çok sanayileşmiş ülkeler ile diğerleri arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Sonuçlar, emisyonları kontrol etmek için tek tip bir politikanın desteklenmediğini; bunun yerine, her AB üyesi devletin özel ekonomik durumu ve sanayi yapısı göz önünde bulundurularak emisyon azaltımının gerçekleştirilmesi gerektiğini işaret etmektedir.

George ve Ioana [14], turizm talebini tahmin etmek için turizm modellemesi alanında yeni bir teknik sunmaktadırlar. Çalışmada Yapay Sinir Ağları ve bulanık mantık teknikleri birleştirilerek, Krit Adası'ndaki gelecek yılın turizm talebini tahmin etmek için bir nöro-bulanık model oluşturmuşlardır. Turizm uygulayıcıları, turizm stratejilerini daha etkili bir şekilde planlamak için turizm tahminlerine büyük ilgi gösterdiğini ve turizm çevresinin karmaşıklığını ve belirsizliğini modellemek için bulanık tekniklerin uygulanması önemli olduğunu belirtmişlerdir. Modelin girdisi, önceki yıllık konaklama sürelerinin bir zaman serisidir. Modelin performansını değerlendirmek için klasik istatistiksel ölçüler hesaplanmıştır.

Harandizadeh vd. [15] farklı toprak türlerinde derin temel taşıma kapasitesinin doğru tahminini, jeoteknik mühendislikte önemli bir problem olarak belirtmişlerdir. Çalışma, iki geliştirilmiş ANFIS tekniğini, kazık temellerinin taşıma kapasitesini tahmin etmek için sunmaktadır. Modeller, koni penetrasyon testi sonuçlarına ve yerçekimi arama algoritması kullanılarak optimize edilen sabit katsayılara dayanmaktadır. Bulgular, önerilen yapay zekâ modellerinin, çoklu regresyon denklemlerine kıyasla kazıkların aksiyal taşıma kapasitesinin tahmininde daha yüksek hassasiyet gösterdiğini ortaya

koymuştur.

Ho vd. [16] yaptıkları çalışmada geliştirilmiş genetik algoritma olan hibrit Taguchi-genetik algoritması (HTGA) ile donatılmış bir ANFIS modeli, tıbbi bir rejim olan vancomisin rejiminin uygunluğunu tahmin etmek için kullanmışlardır. HTGA, ANFIS içerisinde kullanılarak, eğitim doğruluk performans kriterini doğrudan maksimize ederek optimal onkoşul ve sonuç parametrelerini ve toplam çıktı katmanı parametresini bulmak için uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, HTGA tabanlı ANFIS modelinin tahmin doğruluğu açısından lojistik regresyon modelini aştığını göstermektedir. Bu nedenle, bu alışma, HTGA tabanlı ANFIS'in klinik veritabanlarına dayanarak hastalar için vancomisin rejiminin uygunluğu için karar destek sistemlerinin mekanizması olarak uygulanabilirliğini göstermektedir.

Roy vd. [17] bir CRDI (Comman Rail Diesel Intercooler) destekli dizel motorun CNG (Sıkıştırılmış doğal gaz) ift yakıtlı operasyon altındaki performans ve emisyon parametrelerini tahmin etmek için bir ANFIS tabanlı model geliştirmişlerdir. Kurulan model, yk, yakıt enjeksiyon basıncı ve CNG enerji payının istenen olan etkilerini başarıyla yakalamıştır. Performans değerlendirmesinden, ANFIS'in tahmin ettiği verilerin, korelasyon katsayısı (R^2) değerleri 0.998875 ila 0.999989 arasında değişen yüksek genel doğrulukla deneysel verilerle eşleştiği görülmüştür. Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) puanlarının 0.08-1.84% aralığında olduğu ve kök ortalama kare hatalarının (RMSE) kabul edilebilir marjlar içinde olduğu görülmüştür. Geliştirilen model, tamamen farklı deneysel modlar altında bile gerçek motor parametrelerini tutarlı bir şekilde taklit edebilmiş ve böylece verilen çift yakıt için çift yakıt operasyon modundan bağımsız bir bütünsel ve sağlam tahmin platformu sağlamıştır.

Yazar vd. [18] yaptıkları çalışmada aptığı çalışmada, askeri uçak motorları için egzoz gazı emisyonlarını tahmin etme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Sistem tanımlama sürecinde, yanma verimliliği, motorun devir sayısı ve hava-yakıt oranı gibi parametreler kullanılarak karbon monoksit, karbon dioksit, azot oksitleri ve yanmamış hidrokarbon emisyon indekslerini elde etmek amaçlanmıştır. Tahmin metodolojilerini karşılaştırırken, üyelik fonksiyonlarını tanımlamak için adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi yapısında iki kümeleme yöntemi, grid bölme ve çıkartmalı kümeleme, kullanılmıştır. Eğitim bölümlerinde hibrit optimizasyon tercih edilmiştir. Bu çalışmanın

sonuç yorumu olarak, her iki kümeleme yönteminin tahmin hata değerleri, ortak eğitim yöntemiyle farklı sayıda üyelik fonksiyonları için bulunmuştur. Ancak, eğitim süresini kısaltma, çalışmadaki çıkartmalı kümeleme yönteminin avantajı olduğunu belirtmişlerdir.

Suleymani ve Bemani [19], enerji kaynakları ve bioenerjinin ekonomik incelemesinde önemli parametrelerden biri olan yüksek ısı değeri (HHV) parametresini ele almışlardır. Yapılları araştırmada, sabit karbon (FC), kül içeriği (ASH) ve uçucu maddeler (VMs) açısından biyokütlelerin HHV'sini tahmin etmek için ANFIS yeni bir yöntem olarak uygulanmıştır. Deneysel araştırmaların zaman ve maliyet gerektirdiği göz önüne alındığında, bu araştırma tamamen hesaplamalı olarak seçilmiş ve modelleme adımları için literatürden toplamda 350 deneysel veri alınmıştır. Önerilen algoritma, belirleme katsayısı (R^2), ortalama kare hata kökü (RMSE) ve ortalama mutlak göreceli sapma (AARD) gibi istatistiksel indekslerle değerlendirilmiştir. Bu indeksler sırasıyla 0.90757, 1.1792 ve 5.266 olarak bulunmuştur. Bildirilen indeksler, ANFIS-parçacık sürü optimizasyonunun, yaklaşık analiz fonksiyonu olarak HHV'nin tahmin edilmesi için yeni bir hesaplamalı yaklaşım olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Pusat vd. [20] yaptıkları çalışmada, kurutma işlemi sırasındaki kömür nem içeriğini tahmin etmek için yeni bir yöntem uygulamışlardır. ANFIS, kurutma işlemi sırasında herhangi bir zamandaki kömür nem içeriğini tahmin etmek için kullanılmıştır. Deneyler, farklı kurutma hava sıcaklıklarında, kurutma hava hızlarında, yatak yüksekliklerinde ve örnek boyutlarında gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçlar, ANFIS'in kömür kurutma işlemindeki uygulanabilirliğini doğrulamak için kullanılmıştır. ANFIS ağı, kabul edilebilir sapmalarla oldukça tatmin edici bilimsel sonuçlar elde etmiştir. Test aşaması için MSE ve R^2 değerleri sırasıyla 1.899 ve 0.998 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, ANFIS'in kömür kurutma işlemlerinde herhangi bir zamandaki kömür nem içeriğini tahmin etme uygulanabilirliğini göstermektedir.

Thanh vd. [21] yaptıkları çalışmada, 1996-2019 dönemini kapsayan bir incelemede, İnternet kullanıcıları ve mobil hücresel aboneliklerin dijitalleşme, yeşil teknoloji, CO2 emisyonları ve enerji verimliliği arasındaki bağlantıları araştırmışlardır. Sonuçlar, İnternet kullanıcılarının ve mobil aboneliklerin önemli şok iletimcileri olduğunu, enerji verimliliği endeksinin ise zaman içinde rol değiştirdiğini göstermektedir. CO2 emisyonları genellikle şok alıcısı konumunda, ancak belirli dönemlerde farklılık

göstermektedir. İki yönlü bağlantılar, özellikle sürekli internet kullanıcılarının dijitalleşmenin hakimiyetini vurguladığını ve internet kullanıcılarının MOBSUB ve EP üzerindeki etkisi belirginken, EI ve CO2 emisyonlarına olan etkisi daha küçük olduğunu belirtmişlerdir. Bu bulgular, dijitalleşme, yeşil teknoloji ve enerji verimliliği arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına katkıda bulunması öngörülmektedir.

Nassef vd. [22], Suudi Arabistan'ın 2030'a kadar olan yıllık CO2 emisyonlarını tahmin etmek için ileri beslemeli sinir ağı (FFNN), ANFIS ve uzun kısa vadeli bellek (LSTM) gibi yapay zekâ araçlarını kullanmışlardır. 1954-2020 yılları arasındaki verilerden elde edilen modeller, farklı sürüş koşullarını ve giriş kombinasyonlarını değerlendirmiştir. LSTM modeli en yüksek doğruluğu göstermiştir. Tahminler, 2021 ölçümü ile doğrulandığında yüksek doğruluk göstermiş ve Suudi Arabistan'daki CO2 emisyonlarının 2020-2030 döneminde azalması beklenmektedir. Çalışmanın sonuçları, çevresel sürdürülebilirlik politikalarını belirleme konusunda Suudi Arabistan'daki karar alıcılarına değerli bilgiler sunabileceğini öngörmüşlerdir.

Acheampong ve Boateng [23] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Avustralya, Brezilya, Çin, Hindistan ve ABD için karbon emisyon yoğunluğunu tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Ekonomik büyüme, enerji tüketimi, Ar-Ge yatırımları, finansal gelişme, doğrudan yabancı yatırımlar, ticaret açıklığı, endüstrileşme ve kentselleşme gibi dokuz önemli değişken, karbon emisyon yoğunluğunu etkileyen giriş faktörleri olarak değerlendirilmiştir. Model geliştirme, eğitim ve doğrulama için 1981-2015 dönemini kapsayan üç aylık veriler kullanılmıştır. Sonuçların yeniden üretilebilirliğini sağlamak için her ülke için yirmi simulasyon gerçekleştirilmiş ve önceden belirlenmiş kriterlere göre en iyi modeller seçilmiştir. 9-5-1 çok katmanlı algılayıcı ve geri yayılım algoritması ile etkili bir şekilde modellerin oluşturulması ve eğitilmesi sağlanmıştır. Doğrulama sonuçları, Avustralya için 0.80, Brezilya için 0.91, Çin için 0.95, Hindistan için 0.99 ve ABD için 0.87 olan yüksek belirleme katsayıları (R^2) ile minimal hataları göstermektedir.

Yeasmin vd. [24] yaptıkları çalışmada, yapay zekanın (YZ) akıllı şehirlerdeki rolünü inceleyerek, özellikle sürdürülebilirlik odaklı bir perspektife vurgu yapmaktadırlar. Çalışma, kargo kamyonları için YZ kullanarak CO2 emisyonlarını öngören bir analiz önermektedir. Sistem, toplam mesafe ve yakıt tüketimi gibi faktörleri

göz önüne alarak emisyonları önceden tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, çevre dostu uygulamaları sadece ürün seçimlerinden öteye taşımayı hedeflemektedir. Gelecekteki akıllı şehirlerde yaygın hale gelecek olan kendi kendine sürüş özellikli araçlarla entegrasyonun da tartışıldığı makale, konseptin geliştirilmesinde kullanılan bilgileri detaylı bir şekilde ele almaktadır. Sistem geliştirmesi ve veri seti hazırlığına dair bir tartışma sunulmuş, analiz sonuçları doğrultusunda sistemin tahmin doğruluğu değerlendirilmiştir. Makalenin son kısmında ise mevcut yaklaşımın gelecekteki uygulama yönelimleri hakkında öngörülerde bulunmaktadır.

Delanoë vd. [25] yaptıkları çalışmada, dijital teknolojilerin ve yapay zekâ modellerinin CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik çözümleri optimize etmedeki artan rolünü ele almaktadırlar. Yapılan değerlendirmeler, pozitif etkilerin sadece dikkate alındığında model etkinliğini gösterirken, negatif etkiler de göz önüne alındığında bazı durumlarda negatif etkilerin pozitif etkilerden yüksek olabileceğini ortaya koymaktadır. Önerilen CO₂ emisyon kazanç metrikleri, yapay zekâ modellerinin CO₂ azaltma potansiyelini değerlendirmek için yeni bir ölçüt sunmaktadır.

Xu vd. [26] yaptıkları çalışmada, Çin'in karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının zirve yapma zamanını tahmin etmek için önceki modellerde kullanılmamış bir yapay sinir ağı modeli olan Nonlinear Auto Regressive model with exogenous inputs (NARX) metodunu benimsemişlerdir. Geri bildirim mekanizmalarını içererek, düşük, orta ve yüksek büyüme senaryolarında Çin'in CO₂ emisyonlarının 2029, 2031 veya 2035'te zirve yapacağını öngörmektedir. Çalışma, etki faktörlerini farklılaştırıp sıralayan bir metodoloji olan ortalama etki değeri (MIV) kullanmaktadır. Çin'in orta büyüme yolu seçmesi ve 2031'de zirve yapması, GSYİH'ye oranla CO₂ emisyonlarını azaltma, az karbon yoğunluğuna sahip endüstrileşme ve karbon emisyonlarını azaltan teknolojilere odaklanma stratejilerini önermektedir.

Meng ve Noman [27] yaptıkları çalışmada, bitkiler için gerekli olan uygun CO₂ seviyesine vurgu yaparak, endüstriyel bacaların, kara, uzay ve deniz araçlarının aşırı CO₂ salınımına neden olduğunu ve bu durumun sera etkisi, küresel ısınma ve iklim değişikliğinden sorumlu olduğunu belirtmektedirler. COVID-19 nedeniyle 2020'deki CO₂ salınımının önceki on yıllara göre en düşük seviyede olduğunu ancak bu seviyeyi ne kadar sürede tolere edilebilir bir noktaya düşürebileceğimizi veya gelecekte ne kadar

artabileceğini bilmediğimizi vurgulamaktadır. Çalışma, COVID-19'un CO2 salınımı üzerindeki etkisini içermesi nedeniyle bu alandaki mevcut modellere kıyasla daha etkili olduğunu iddia etmekte ve dört farklı tahmin modeli kullanılarak, SARIMA (SARIMAX) tabanlı ARIMA yöntemi uygulanarak gelecekteki toplam CO2 salınımını tahmin etme etkinliğini karşılaştırmaktadır. Yapılan analizde, post-COVID modelinin diğerlerine göre daha düşük bir hata yüzdesine sahip olduğu ve gelecekteki toplam CO2 salınımını başarılı bir şekilde tahmin etmekte olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu tahmin sonuçlarının küresel CO2 salınımı azaltımı için uygun politikalar geliştirmek amacıyla karar destek sistemine bir katkı sağlayabileceği belirtilmektedir. Çalışma, COVID-19 etkilenmiş CO2 salınımını tahmin etmede yapay zekâ ve makine öğrenimi metodolojisinin kullanılmasıyla orijinal bir çalışma olarak öne çıkmaktadır.

Alam ve AlArjani [28] yaptıkları çalışmada Körfez ülkelerindeki CO2 emisyon tahminlerini karşılaştırmayı amaçlamaktadırlar. Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), Artificial Neural Network (ANN) ve Holt-Winters Exponential Smoothing (HWES) tahmin modelleri kullanılarak yıllık bazda Körfez ülkelerindeki CO2 emisyonlarını öngörmeyi hedeflemişlerdir. Çalışma, istatistiksel araçlar kullanarak Körfez ülkelerindeki CO2 emisyonlarına dair zaman serisi verilerini tahmin etmeye yönelik bir çaba içermektedir. Analiz, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bilgi İdaresi'nden toplanan ikincil verilere dayanmaktadır. Yapılan araştırma, ARIMA (1,1,1), Holt-Winters üstel düzeltme, ARIMA (1,1,2) ve ARIMA (2,1,2) modellerinin, Körfez ülkelerindeki CO2 emisyonlarını tahmin etmede yapay sinir ağı modeline üstünlük sağlayamadığını ortaya koymaktadır.

Palconit vd. [29] yaptıkları çalışmada karayolu taşıtlarının karbon dioksit (CO2) emisyonlarının stokastik doğasını ve bu sorunun hesaplama maliyeti nedeniyle sert hesaplama metodlarıyla çözülememesini ele almaktadırlar. Çalışmada, ANFIS kullanılarak bir paratransit taşıt CO2 emisyon tahmin modeli sunulmaktadır. Hız, eğim ve ivme gibi giriş parametreleri ile üç farklı ANFIS kümeleme tipi kullanılmıştır. Sonuçlar, Fuzzy-C means kümeleme yönteminin (FCM), hata oranları ve hesaplama basitliği açısından en iyi performansı elde ettiğini göstermektedir. Özellikle, beş üyelik fonksiyonu ve beş bulanık kural kullanarak %13,38 NRMSE değerini elde etmiştir. Ağ bölümlendirme (GP) en kötü tahmin çıktısını elde ederken, çıkarma kümeleme yöntemi

(SCM) FCM ile karşılaştırılabilir tahmin doğruluğuna sahip olmasına rağmen, daha yüksek bir hesaplama maliyetine sahiptir. Önerilen tahmin modeli, karayolu emisyon modellerinin uygun olmadığı durumlarda paratransit taşıtları için değerli bir araç olmaktadır.

Soroush vd. [30] yaptıkları çalışmada, amino asitlerin yeni bir çözücü sınıfı olarak kabul edilmesi ve bu çözücülerin CO₂ yakalama süreçlerinde kullanılabilmesi üzerine odaklanmışlardır. Bu süreçleri tasarlamak için termodinamik parametreleri öngörmek için basit ve hassas modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, geniş bir amino asit yelpazesi için CO₂ yükleme kapasitesini ilişkilendirmek için sıcaklık bağımlı zeki bir model geliştirmek için ANFIS kullanılmıştır. Önerilen modelin geçerliliği, hassasiyeti ve genellikleri hem grafiksel hem de istatistiksel ölçülerle doğrulanmıştır. Aykırı değer tespiti ile veri setinin istatistiksel geçerliliği ve geliştirilen modelin uygulanabilirliği onaylanmıştır. Son olarak, önerilen ANFIS modelinin deneysel verilere karşı giriş değişkenlerine duyarlılığını taklit ettiğinden emin olmak için bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar tatmin edici olup, geliştirilen ANFIS yapısının amino asit tuz çözeltilerinin CO₂ yükleme kapasitelerinin hassas tahmininde kullanılabileceğini kanıtlamıştır.

Abdlwahaab ve Balik [31] yaptıkları çalışmada, CO₂ emisyonları ile iklim değişikliği arasındaki ilişkilerin anlaşılması, ülkelerin CO₂ veya eşdeğer emisyon miktarını belirleyip buna uygun şekilde hareket etmelerine yardımcı olacağını bu, yenilikçi ve uzun vadeli çözümler geliştirmek için gerekli olan emisyon sorununun boyutunu anlamadan önce gerekli olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada, motor boyutu, silindir sayısı ve yakıt tüketimi gibi girdi verilerini içeren bir Kanada hükümeti veri seti kullanılarak ANFIS modeli oluşturulmuştur. En iyi sonuçları elde etmek için çeşitli üyelik fonksiyonları test edilmiş ve aynı veri seti üzerine Extra-Trees regresyon algoritması uygulanarak ANFIS modeli daha iyi sonuçlar elde etmek üzere tekrar eğitilmiştir. Elde edilen model, emisyon azaltma stratejilerine destek olabilecek güvenilir bir araç olarak hizmet edebileceği belirtilmiştir.

Cano ve Jurado [32], gelişmekte olan ülkelerde enerji sistemlerinin hidroelektrik enerjiye olan bağımlılığı ve gelecekteki kuraklık riski gibi zorluklarını ele alarak uzun vadeli enerji planlamasının önemini vurgulamaktadırlar. Ekvador'u örnek alarak, 2050

için optimize edilmiş bir elektrik sistemi önerir. Gerçek Zamanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile elektrik talebi tahmin edilir ve EnergyPlan yazılımı, üç farklı senaryo üzerinde çalışarak enerji tüketim modeli oluşturur. İlk senaryo mevcut eğilimi yansıtırken, ikinci senaryo daha geniş bir yenilenebilir enerji yelpazesini içerir. Üçüncü senaryo ise ikinci senaryoyu geliştirerek talep tepki sistemlerini içerir. Araştırma bulguları, yeni yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun elektrik ithalat maliyetlerini azaltırken fazla elektrik üretimini sağladığını gösterir. Bu doğrultuda, 2050 elektrik sisteminin hidroelektrik enerjiye olan bağımlılığını azaltarak fotovoltaik ve rüzgâr enerjisini benimsemesi öngörülür. Geçiş, pompa depolama sistemi ve komşu ülkelerle bağlantının artmasıyla kolaylaştırılacak, bu sayede elektrik ve hidrojen araçların entegrasyonu mümkün olacaktır. Yapılan literatür taraması sonucunda oluşturulan özet tablo aşağıda sunulmuştur.

Tablo 2.1. Literatür Taraması Özeti

Yazar	ÖZET	
Arı ve Zeren [1]	Çalışmanın Amacı	CO2 ve kişi başı gelir arasındaki ilişkiyi sorgulamak ve Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini test etmek.
	Analiz Yöntemi	Panel veri yöntemi
	İncelenen Bölge	Akdeniz ülkeleri (2000–2005)
	Değişkenler	Büyüme, nüfus yoğunluğu, enerji tüketimi
Sel ve Tekgün [2]	Çalışmanın Amacı	CO2 emisyonunu tahmin etmek
	Analiz Yöntemi	ANFIS
	İncelenen Bölge	Türkiye
	Değişkenler	GSYİH, nüfus, ihracat ve ithalat değerleri
Mardani vd. [3]	Çalışmanın Amacı	CO2 emisyonunu tahmin etmek
	Analiz Yöntemi	ANFIS
	İncelenen Bölge	G20 Ülkeleri

	Değişkenler	Enerji tüketimi ve Ekonomik büyüme verileri
Karaboğa ve Kaya [4]	Çalışmanın Amacı	Türkiye'ye gelen yabancı ziyaretçi sayısını tahmin etmek.
	Analiz Yöntemi	ANFIS ve ABC
	İncelenen Bölge	Türkiye
	Değişkenler	Türkiye'ye ABD, Almanya, Bulgaristan, Fransa, Gürcistan, Hollanda, İngiltere, İran ve Rusya'dan gelen yabancı ziyaretçi sayısı, Türkiye'ye gelen toplam ziyaretçi sayısı
Bayramoğlu vd. [5]	Çalışmanın Amacı	Türkiye'nin 2016-2030 yılları arasındaki enerji talebini belirlemek
	Analiz Yöntemi	ANFIS
	İncelenen Bölge	Türkiye
	Değişkenler	Ekonomik büyüme oranları, Nüfus ve Enerji fiyatları
Koçak [6]	Çalışmanın Amacı	Türkiye'de internet kullanımının CO2 emisyonları üzerindeki etkilerini incelemek
	Analiz Yöntemi	ARDL sınır testi yaklaşımı
	İncelenen Bölge	Türkiye
	Değişkenler	İnternet kullanımı, ekonomik büyüme, finansal gelişme ve dış ticaret açıklığı değişkenleri
Sarıtaş ve Akar [7]	Çalışmanın Amacı	1995-2018 dönemi boyunca dünyada en fazla turist çeken 10 ülkede turizmin karbon emisyonlarına etkisini incelemek
	Analiz Yöntemi	Panel Veri Analizi
	İncelenen Bölge	Dünyada en fazla turist çeken 10 ülke
	Değişkenler	Turizm ve petrol tüketimi değişkenleri

Güler ve Kandemir [8]	Çalışmanın Amacı	1965-2020 yılları arasındaki OECD ülkelerinin CO2 emisyon değerlerini kullanarak tahminleme
	Analiz Yöntemi	Lineer ve kübik regresyon analizleri
	İncelenen Bölge	OECD ülkeleri
	Değişkenler	CO2 Emisyon Değerleri
Pabuççu ve Bayramoğlu [9]	Çalışmanın Amacı	Türkiye ve AB-28 ülkelerinin gelecekteki sera gazı salım değerlerini tahmin etmek
	Analiz Yöntemi	Yapay Sinir Ağları Modeli (YSA)
	İncelenen Bölge	Türkiye ve AB-28 ülkeleri
	Değişkenler	Nüfus, GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı
Bozkurt ve Okumuş [10]	Çalışmanın Amacı	Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini test etmek
	Analiz Yöntemi	Johansen eş bütünleşme ve hata düzeltme analizleri
	İncelenen Bölge	Türkiye
	Değişkenler	CO2 emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari açıklık oranı ve nüfus yoğunluğu değişkenleri
Jeong vd. [11]	Çalışmanın Amacı	İnşaat malzemeleri nedeniyle altı farklı büyüklükteki apartman ünitesinden yayılan CO2 emisyonlarını nicel olarak belirleme
	Analiz Yöntemi	Ölçüm
	İncelenen Bölge	Güney Kore
	Değişkenler	İnşaat malzemeleri

Sun vd. [12]	Çalışmanın Amacı	1996-2013 yılları arasında, pirinç, buğday ve mısır anızlarının yakılmasından kaynaklanan CO2 emisyonlarını hesaplamak
	Analiz Yöntemi	Uzaysal Dağılım ve Değişkenlik Analizi
	İncelenen Bölge	Çin
	Değişkenler	Yanma Süresi ve Şiddeti, GIS Verileri, Tarım Artığı Miktarı, Meteorolojik Değişkenler
Bengochea vd. [13]	Çalışmanın Amacı	Ekonomik büyüme ile CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi Avrupa Birliği'nde incelemek
	Analiz Yöntemi	Panel Veri Analizi
	İncelenen Bölge	10 Avrupa Ülkesi
	Değişkenler	GSYİH
Thanh vd. [21]	Çalışmanın Amacı	1996-2019 dönemini kapsayan bir incelemede, İnternet kullanıcıları ve mobil hücresel aboneliklerin dijitalleşme, yeşil teknoloji, CO2 emisyonları ve enerji verimliliği arasındaki bağlantıları araştırmak
	Analiz Yöntemi	Genişletilmiş ortak bağlantı tekniği ve zamanla değişen parametre vektörü otoregresyon (ETVP-VAR)
	İncelenen Bölge	Vietnam
	Değişkenler	İnternet kullanıcıları ve mobil abonelik verileri
Nassef vd.[22]	Çalışmanın Amacı	Suudi Arabistan'ın 2030'a kadar olan yıllık CO2 emisyonlarını tahmin etmek
	Analiz Yöntemi	İleri beslemeli sinir ağı (FFNN), ANFIS ve uzun kısa vadeli bellek (LSTM)

	İncelenen Bölge	Suudi Arabistan
	Değişkenler	Elektrik üretimi, tuzdan arındırma, petrol rafinerisi, çimento, petrokimya ve demir-çelik gibi altı sanayi kuruluşundan kaynaklanan CO2 emisyon verileri
Acheampong ve Boateng [23]	Çalışmanın Amacı	Avustralya, Brezilya, Çin, Hindistan ve ABD için karbon emisyon yoğunluğunu öngörmek
	Analiz Yöntemi	Yapay sinir ağları (YSA)
	İncelenen Bölge	Avustralya, Brezilya, Çin, Hindistan ve ABD
	Değişkenler	Ekonomik büyüme, enerji tüketimi, Ar-Ge, finansal gelişme, doğrudan yabancı yatırım, ticaret açıklığı, endüstrileşme ve kentselleşme
Yeasmin vd. [24]	Çalışmanın Amacı	Kargo kamyonları için YZ kullanarak CO2 emisyonlarını öngörmek
	Analiz Yöntemi	Yapay Zekâ
	İncelenen Bölge	-
	Değişkenler	Toplam mesafe ve yakıt tüketimi
Palconit vd. [29]	Çalışmanın Amacı	Karayolu taşıtlarının karbon dioksit (CO2) emisyonlarının stokastik doğasını ve bu sorunun hesaplama maliyeti nedeniyle sert hesaplama metodlarıyla çözilememesini ele almak
	Analiz Yöntemi	ANFIS
	Değişkenler	Hız, eğim ve ivme değerleri

Literatür taraması sonucunda CO2 Emisyonu için hangi parametrelerin kullanılması gerektiği sorusu üzerine yoğunlaşmış; ekonomi verileri, ulaşım verileri ve enerji verileri kullanılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı

olarak özellikle Türkiye'nin verileri üzerine uygulama yapılacak olup ANFIS için ilk defa bu veri seti üzerinden tahminleme yapılacaktır.



3. BÖLÜM: YÖNTEM

Bu bölümde, Türkiye'nin 2022-2030 yılları arasındaki CO2 emisyonlarını tahmin etmek amacıyla kullanılan ANFIS yöntemi ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır. ANFIS, bulanık mantık sistemleri ile yapay sinir ağlarını birleştirerek, karmaşık sistemlerdeki belirsizlikleri ve doğrusal olmayan ilişkileri modellemede üstünlük sağlar. Bu yöntem, çeşitli çevresel, ekonomik ve demografik verileri kullanarak gelecekteki CO2 emisyonlarını tahmin etmek için son derece uygundur.

3.1. Uygulama Özeti

Bu çalışma, Türkiye'nin CO2 emisyonunu 2022-2030 yılları arasında tahmin etmek için ANFIS yöntemini kullanmayı amaçlamaktadır. CO2 emisyonu, sera gazı emisyonlarının önemli bir bileşenidir ve iklim değişikliğine önemli katkıda bulunur. Bu çalışmanın temel araştırma sorusu, ANFIS yönteminin Türkiye'nin gelecekteki CO2 emisyonlarını doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılıp kullanılamayacağıdır.

ANFIS yöntemi, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının bir kombinasyonudur. Bu yöntem, karmaşık ilişkilere sahip karmaşık sistemleri modellemek için kullanılabilir ve CO2 emisyonu tahmini gibi çeşitli alanlarda başarıyla uygulanmıştır. Bu çalışmada ANFIS yöntemini tercih edilmesinin nedenleri şunlardır:

- **Karmaşık ilişkileri modelleme yeteneği:** CO2 emisyonu, ekonomik faaliyet, enerji tüketimi, demografik faktörler ve teknoloji gelişmeleri gibi birçok faktörden etkilenir. ANFIS yöntemi, bu karmaşık ilişkileri modellemek ve CO2 emisyonlarını etkileyen en önemli faktörleri belirlemek için kullanılabilir.
- **Yüksek doğruluk:** ANFIS yöntemi, diğer tahmin yöntemlerine kıyasla yüksek doğruluk seviyelerine ulaşabilir.
- **Esneklik:** ANFIS yöntemi, farklı veri kümelerine ve problemlere kolayca uyarlanabilir.

3.1.1. Parametre Seçimi

CO2 emisyonunu etkileyebilecek birçok faktör vardır. Bu çalışmada, literatür araştırmasına ve uzman görüşlerine dayalı olarak 22 parametre seçilmiştir. Bu parametreler şunlardır:

- **Enerji:** Toplam Elektrik Üretimi, Doğalgaz, Hidroelektrik, Kömür ve Kömür Türevleri, Sıvı Yakıt, Yenilenebilir Enerji.
- **Ekonomi:** İhracat, İthalat.
- **Teknoloji:** İnternet Kullanım Verileri.
- **Ulaşım:** Akaryakıt, Otomobil, Minibüs, Otobüs, Kamyonet, Kamyon, Motosiklet, Özel Amaçlı Taşıtlar, Traktör.
- **Nüfus:** Nüfus.
- **Diğer:** Yapı İzinleri.

Bu parametreler için 2000-2021 yılları arasındaki veriler titizlikle toplanmıştır. Veriler, güvenilir istatistiksel kaynaklardan ve kamu kurumlarından elde edilmiştir. Verilerin doğruluğu ve tutarlılığı kontrol edilmiştir. Eksik veya hatalı veriler, uygun yöntemler kullanılarak işlenmiştir.

3.1.2. Veri Analizi

Veri analiz sürecinde, öncelikle regresyon analizi ve korelasyon katsayılarının hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, CO2 emisyonu ile belirlenen parametreler arasındaki ilişkilerin gücünü ve yönünü tespit etmek için kullanılmıştır. Analizler sonucunda, en güçlü ilişkiye sahip olan beş parametre belirlenmiştir: toplam elektrik üretimi, ihracat, akaryakıt tüketimi, nüfus ve kara taşıtları sayısı. Bu parametreler, CO2 emisyonlarının tahmininde kritik rol oynayacak veriler olarak seçilmiştir.

Veri seti, modelin performansını ve genelleme yeteneğini test etmek amacıyla farklı oranlarda eğitim ve test verilerine bölünmüştür. Bölme oranları, literatürdeki öneriler ve deneysel çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Çeşitli bölme oranları kullanılarak modelin performansı değerlendirilmiştir. Kullanılan bölme oranları şunlardır: %70 eğitim- %30 test, %80 eğitim - %20 test, %85 eğitim - %15 test, %90

eđitim - %10 test ve %95 eđitim - %5 test. Bu bölme oranları, modelin genelleme yeteneđini ve tahmin dođruluđunu optimize etmek amacıyla sečilmiřtir.

3.1.3. ANFIS Tahmini

ANFIS tahminlemesi için, farklı üyelik fonksiyonlarının model performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yedi farklı üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan yelik fonksiyonları şunlardır: Trimf (triangular membership function), Trapmf (trapezoidal membership function), Gbellmf (generalized bell membership function), Gaussmf (Gaussian membership function), Gauss2mf (double Gaussian membership function), Pimf (pi-shaped membership function) ve Dsigmf (difference between two sigmoidal membership functions).

Her bir üyelik fonksiyonu için modelin performansı, R^2 (determinasyon katsayısı), MSE (mean squared error) ve RMSE (root mean squared error) metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu metrikler, modelin tahmin doğruluğunu ve hata oranını belirlemek için kritik öneme sahiptir. En yüksek R^2 değerine ve en düşük MSE ile RMSE değerlerine sahip olan üyelik fonksiyonu, Türkiye'nin 2022-2030 yılları arasındaki CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için en uygun model olarak sečilmiřtir.

3.1.4. Senaryo Oluşturma

Gelecekteki CO₂ emisyonlarını tahmin etmek amacıyla dört farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar, belirlenen beş parametrenin 2022-2030 yılları arasındaki değişimlerini tahmin etmek için ANFIS modeli kullanılarak hazırlanmıştır. Her senaryo, farklı çevresel, ekonomik ve politik değişkenler göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Senaryoların her birinde, parametrelerin değişim eğilimleri ve olası etkileri analiz edilmiştir. Bu analizler, her senaryodaki CO₂ emisyonlarının belirlenmesine yardımcı olmuştur.

3.1.5. Sonuç Karşılaştırması

Her senaryodaki ANFIS tahmin sonuçları, regresyon analizinin tahmin değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, ANFIS yönteminin Türkiye'nin CO₂ emisyonlarını doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edebileceğini göstermiştir. ANFIS

tahminleri ile regresyon tahminleri arasında gözlemlenen küçük farklılıklar, veri setinin karmaşıklığından ve kullanılan modellerin farklı varsayımlarından kaynaklanabilir.

ANFIS modelinin, parametrelerin etkilerini daha dinamik ve esnek bir şekilde yakalayabildiği, dolayısıyla çevresel politikaların ve teknolojik gelişmelerin etkilerini daha doğru bir şekilde yansıtma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Regresyon analizi ise, daha basit ve doğrudan ilişkileri modellemekte başarılı olmasına rağmen, karmaşık ve dinamik sistemlerdeki belirsizlikleri ve değişimleri yeterince yansıtmakta yetersiz kalabilir.

Sonuç olarak, ANFIS yöntemi, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını tahmin etmek için güçlü bir araç olarak değerlendirilmiş ve çevresel politikaların, ekonomik ve demografik değişimlerin etkilerini daha kapsamlı bir şekilde analiz edebilme yeteneği ile öne çıkmıştır. Bu bulgular, çevresel yönetim ve politika geliştirme süreçlerinde ANFIS modellerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır.

3.2. Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları

Modern teknoloji ve yapay zekâ alanındaki hızlı ilerlemeler, karmaşık ve belirsiz problemlerin çözümünde yeni yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu bağlamda, bulanık mantık ve yapay sinir ağları, belirsiz ve dinamik sistemleri modelleme ve optimize etme konusunda öne çıkan iki önemli tekniktir.

3.2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, belirsizlik içeren problemleri modellemek ve çözmek için kullanılan bir yapay zekâ teknolojisidir. Bu yöntem, kesin sınırlar yerine belirsizlik derecelerini kullanarak verileri işlemektedir. Bulanık mantık, geleneksel mantık kurallarını esneterek gerçek dünyadaki karmaşıklıkları daha iyi temsil etmektedir. Üyelik fonksiyonları ve bulanık kurallar, bulanık kümelerin tanımlanmasını sağlar ve bu kümeler üzerinde işlemler yapılır. Bu işlemler sonucunda belirsiz giriş verileri, belirsiz çıktılar elde edilir. Bulanık mantık, kontrol sistemlerinden tıbbi teşhise, yapay zekâ uygulamalarından endüstriyel süreçlere kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bu teknoloji, gerçek dünya problemlerine uygun çözümler sunarak daha esnek ve etkili kararlar almayı sağlamaktadır.

3.2.1.1. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık kümeler, klasik kümelerden farklı olarak, elemanlarının aitlik derecelerine sahip olduğu kümelerdir. Bir eleman, bir bulanık kümeye tam olarak ait olmak zorunda değildir; bunun yerine, aitlik derecesi 0 ile 1 arasında bir değer alabilir. Örneğin, bir sıcaklık değeri (20°C), "soğuk" ve "ılık" kümelerine aynı anda farklı derecelerde ait olabilir.

- **Üyelik Fonksiyonu:** Üyelik fonksiyonu, bir elemanın bir bulanık kümeye aitlik derecesini belirleyen fonksiyondur. Genellikle $\mu(x)$ ile gösterilir ve 0 ile 1 arasında değerler alır. Üyelik fonksiyonları genellikle üçgen, trapez ve gauss şekillerinde tanımlanır.
- **Bulanıklaştırma:** Bulanıklaştırma, kesin bir değeri bulanık bir değere dönüştürme işlemidir. Bu süreçte, kesin değerler üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanık kümelere dönüştürülmektedir.

3.2.1.2. Bulanık Kurallar ve Mantık

Bulanık mantık sistemleri, "Eğer ... ise ..." yapısındaki bulanık kurallar kullanılarak oluşturulur. Bu kurallar, belirsiz veya kesin olmayan durumların tanımlanması ve yönetilmesinde kullanılır.

- **Kuralların Yapısı:** Bir bulanık kural, genellikle iki kısımdan oluşmaktadır: Önceki (antecedent) ve sonraki (consequent). Örneğin, "Eğer sıcaklık yüksekse ve nem düşükse, o zaman fan hızını artır" şeklindeki bir kural, iki girdi ve bir çıktıyı kapsamaktadır.
- **Çıkarım Mekanizması:** Bulanık kuralların uygulanması, bir çıkarım mekanizması ile gerçekleştirilmektedir. Bu mekanizma, bulanık mantık operatörleri (ve, veya, değil) kullanarak girdi üyelik fonksiyonlarını birleştirmekte ve çıktı üyelik fonksiyonlarını belirlemektedir.

3.2.1.3. Bulanık Çıkarım Sistemleri

Bulanık çıkarım sistemleri, bir dizi bulanık kural ve üyelik fonksiyonu kullanarak girdi verilerini işleyen sistemlerdir. Bu sistemler, belirsizlik ve kesin olmayan bilgileri yönetmede oldukça etkilidir.

- **Mamdani Tipi Bulanık Sistemler:** Mamdani tipi bulanık sistemler, bulanık mantık kullanarak belirsizlik ve karmaşıklıkları yönetmede etkili olan bir kontrol yöntemi sunmaktadır. Bu sistemler, giriş değişkenlerini bulanıklaştırarak kesin değerleri üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanık değerlere dönüştürür. "Eğer ... ise ..." yapısındaki bulanık kurallar, kural tabanında tanımlanmakta ve bu kurallar çıkarım motoru tarafından uygulanmaktadır. Çıkarım motoru, mantıksal operatörler kullanarak giriş verilerini işleyip bulanık çıkış değerlerini belirlemektedir. Bu bulanık çıkışlar, durulaştırma işlemi ile kesin değerlere dönüştürülerek sistemin son çıktısı elde edilmektedir. Mamdani tipi bulanık sistemler, özellikle kontrol sistemlerinde ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.
- **Sugeno Tipi Bulanık Sistemler:** Sugeno tipi bulanık sistemler, Mamdani sistemlerinden farklı olarak, bulanık kuralların sonuç kısmında doğrusal veya sabit fonksiyonlar kullanarak çıkarım yapmaktadır. Bu sistemler, giriş değişkenlerini bulanıklaştırarak kesin değerleri üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanık değerlere dönüştürmektedir. Sugeno tipi sistemlerde, "Eğer ... ise ..." yapısındaki bulanık kuralların sonucunda genellikle doğrusal bir fonksiyon veya sabit bir değer bulunmaktadır. Çıkarım motoru, giriş değerlerine dayalı olarak bu fonksiyonları veya sabit değerleri hesaplamaktadır. Sugeno sistemi, her kuralın katkısını bir ağırlıkla çarparak toplamda daha kesin bir çıktı elde etmektedir. Durulaştırma işlemi genellikle ağırlıklı ortalama yöntemiyle yapılmaktadır. Sugeno tipi bulanık sistemler, hesaplama açısından daha verimli ve matematiksel olarak daha basit olduğu için kontrol ve tahmin uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, özellikle adaptif kontrol ve dinamik sistem modellemesinde etkilidir.

Bulanık mantık, belirsizlik ve kesin olmayan bilgilerin yönetiminde güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Mühendislikten tıba, veri analizinden karar destek sistemlerine kadar geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır.

3.2.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek geliştirilen ve karmaşık veri örüntülerini öğrenme kapasitesine sahip hesaplama modelleridir. Temel yapı taşları olan yapay nöronlar, katmanlar halinde düzenlenir ve bu nöronlar arasındaki bağlantılar, öğrenme süreci boyunca optimize edilen ağırlıklarla temsil edilir. YSA'lar, genellikle bir giriş katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Bu ağlar, geri yayılım gibi algoritmalar kullanarak, hataları minimize etmek için ağırlıklarını iteratif olarak günceller. Aktivasyon fonksiyonları, nöronların çıktılarını belirleyerek ağırlıklı doğrusal olmayan ilişkileri öğrenmesini sağlar. Derin öğrenme, birden fazla gizli katmana sahip derin sinir ağlarını kullanarak daha karmaşık veri ilişkilerini öğrenme yeteneği sunar. YSA'lar, görüntü tanıma, doğal dil işleme ve tahmin modelleri gibi çeşitli alanlarda önemli başarılar elde etmiştir. Bu sistemler, büyük veri setlerinden anlamlı desenler çıkarma ve karmaşık problemleri çözme kapasitesiyle öne çıkmaktadır.

3.2.3. Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağlarının Birleştirilmesi

Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birleştirilmesi, belirsizlik içeren problemleri çözmek ve karmaşık sistemleri modellemek için etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu entegrasyon, her iki teknolojinin avantajlarını birleştirerek daha etkili ve esnek çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. Bulanık mantık, verileri işlerken kesin sınırlar yerine belirsizlik derecelerini kullanarak karmaşık ilişkileri modelleme yeteneğiyle öne çıkar. Yapay sinir ağları ise veri örüntülerini öğrenme ve genelleme kabiliyetiyle bilinir, ancak belirsizlikleri doğrudan ele almakta zayıf kalabilirler. Bu nedenle, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birleştirilmesi, belirsizlikleri yönetme ve karmaşık sistemleri daha etkili bir şekilde modelleme potansiyelini artırmaktadır.

Entegrasyon süreci genellikle iki temel yaklaşımı içerir: bulanık sistemlerin yapay sinir ağlarıyla eğitilmesi veya yapay sinir ağlarının çıktılarının bulanık kurallarla işlenmesidir. İlk yaklaşımda, yapay sinir ağı, belirsizliği temsil etmek ve öğrenmek için

kullanılan bir araç olarak kullanılırken, ikinci yaklaşımda yapay sinir ağının çıktıları, bulanık kurallarla çıkarım yapmak için giriş olarak kullanılır. Bu entegrasyon sayesinde, belirsizlik içeren gerçek dünya problemlerine daha iyi uyum sağlayabilen ve daha hassas sonuçlar üretebilen sistemler oluşturulabilir. Özellikle, tahmin, karar verme, kontrol ve modelleme gibi çeşitli uygulama alanlarında bu entegrasyondan faydalanılabilir. Ancak, bu yaklaşımın dezavantajları arasında model karmaşıklığı, eğitim gereklilikleri ve hesaplama maliyetleri gibi zorluklar bulunabilir. Bu nedenle, entegrasyon süreci dikkatlice planlanmalı ve uygulanmalıdır. Aşağıda, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birleşimi olan dört farklı yaklaşımı ele alınmaktadır. Bu yöntemler, karmaşık ve belirsiz problemleri çözmek için etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

3.2.3.1. Bulanık Sinir Ağları (FNN)

FNN, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birleşimi olan bir türdür. Bu sistemler, genellikle bir yapay sinir ağı modeli üzerine eklenmiş bir bulanık çıkarım sistemi içermektedir. FNN'ler, veri sınıflandırma, regresyon, kontrol ve optimizasyon gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

3.2.3.2. Nöro-Bulanık Genetik Sistemler

Bu sistemler, genetik algoritmaların bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla entegre edilmesini içerir. Genetik algoritmalar, popülasyon tabanlı arama ve optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılırken, bulanık mantık ve yapay sinir ağları problem alanının modellenmesi ve çözümü için kullanılır. Bu tür sistemler, karmaşık ve çok boyutlu optimizasyon problemlerinde etkili olabilir.

3.2.3.3. Hibrit Nöro-Bulanık Sistemler

Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının entegrasyonunu içeren bir yapay zekâ yöntemidir. Bu sistemler, karmaşık ve belirsiz problem alanlarında çözümler üretmek için kullanılmaktadır. Hibrit Nöro-Bulanık Sistemler, bulanık mantık tarafından belirsizlikleri yönetirken, yapay sinir ağları veri örüntülerini öğrenme ve genelleme yetenekleriyle öne çıkmaktadır. Genellikle tahmin, modelleme, kontrol ve karar destek sistemleri gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

3.2.3.4. ANFIS

ANFIS, Yapay Sinir Ağları (YSN) ve Bulanık Mantık (BM) sistemlerini birleştiren bir yaklaşımdır. Temel hedefi, giriş verileri ile çıkış verileri arasındaki karmaşık ilişkileri öğrenme yeteneğine sahip, esnek bir model oluşturmaktır.

ANFIS'in öne çıkan özelliği, veriler arasındaki belirsizlikleri ele almak için Bulanık Mantık prensiplerini benimserken, öğrenme ve adaptasyon yeteneklerini Yapay Sinir Ağları temelinde sağlamasıdır. Yapay Sinir Ağları, büyük veri setlerindeki desenleri öğrenme konusunda güçlüdür, ancak belirli durumlarda belirsizlikle başa çıkmakta zorlanabilir. ANFIS, bu bağlamda Bulanık Mantık prensiplerini entegre ederek, belirsizlik yönetimi ve öğrenme yeteneklerini birleştirir.

ANFIS genellikle giriş, bulanık kural, belirleme, çıkış ve öğrenme katmanlarından oluşur. Bu katmanlar, giriş verileri ile çıkış arasındaki ilişkiyi modeller. Bulanık kurallar ve üyelik fonksiyonları, belirli durumları ifade etmek için kullanılırken, öğrenme katmanı modelin parametrelerini verilere uyarlamak için görev yapar. Bu metod, karmaşık sistemlerde desenleri tanıma, tahmin etme ve kontrol etme gibi birçok uygulamada kullanılır. ANFIS'in esnek yapısı, belirgin ve belirsiz durumları ele alabilme kabiliyetini içerir, bu da onu çeşitli endüstrilerde etkili bir şekilde kullanılan bir araç haline getirir.

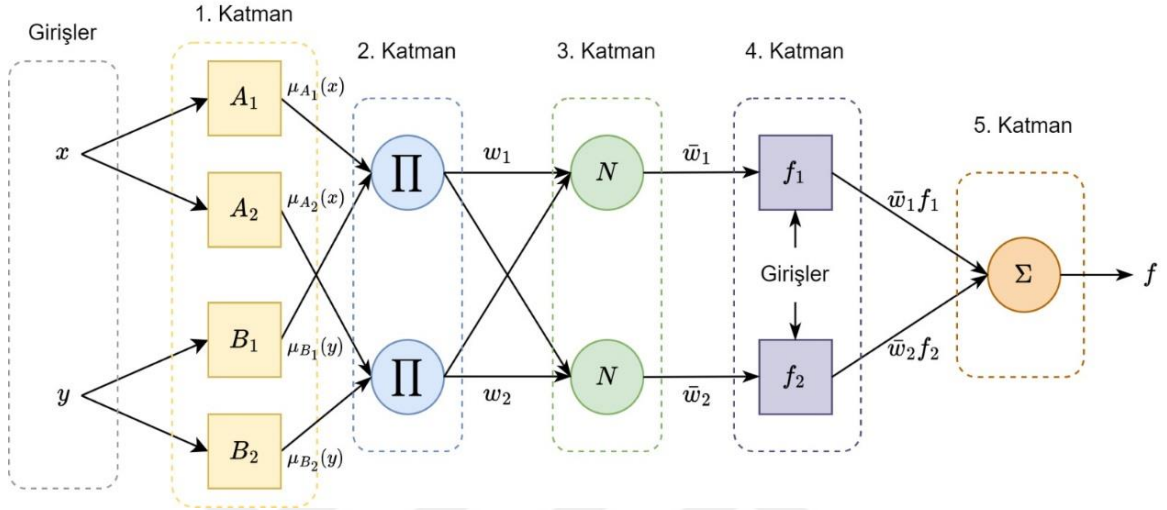
ANFIS, Eğer-İse kuralları ve giriş çıkış bilgi çiftlerinden oluşan bir bulanık çıkarım sistemi içerir. Ancak sistem eğitimi ve kontrolünde Yapay Sinir Ağı (YSA) öğrenme algoritmaları kullanılır. Eğer x ve y girişleri ile z çıkışını ele alırsak temel kural yapısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\text{Eğer } x \in C_i \text{ ve } y \in D_i \text{ ise } z_i = e_i x + f_i y + g_i$$

C_i ve D_i , bulanık mantık sistemlerinde kullanılan girdi değişkenlerinin bulanık alt kümelerini ifade eder. Bu alt kümeler, girdilerin belirli bir kategoride olma derecesini tanımlar. p_i , q_i ve r_i ise bulanık mantık kurallarının belirlenmesinde rol oynayan tasarım parametreleridir. Her bir kuralın çıkış değeri (z_i), girdi değişkenlerinin belirli bir kuralla ilişkili çıkış değerlerinin birleşimiyle elde edilir. Bu çıkış değeri, sistemin sonuçlarını ve davranışlarını belirlemek için kullanılır. Bu bağlamda, formül (Eşitlik 3.1) girdi

değişkenlerinin sistem çıkışına olan katkısını belirlemek için temel bir araçtır ve sistemin nasıl çalıştığını anlamak için önemlidir.

$$Z = \frac{\sum_{m=1}^k w_m z_m}{\sum_{m=1}^k w_m} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. ANFIS Katman Yapısı

Verilen iki bulanık kurala dayalı olarak, birinci derece bulanık Sugeno modeli için önerilen ANFIS mimarisi Şekil 3.1.'de sunulmuştur. ANFIS modelinin katmanlarını genel olarak özetlersek:

1. Katman: Girişler, bulanıklaştırma işlemi için üyelik fonksiyonlarından geçirilerek bulanık hale getirilir.
2. Katman: Bulanık mantık sisteminin işleyişini belirleyen kurallar, bu katmanda inşa edilir.
3. Katman: Hesaplanan katkılar, normalizasyon işlemi ile tek bir değere dönüştürülür.
4. Katman: Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları kullanılarak, bulanık sonuçlar kesin değerlere indirgenir.
5. Katman: Bulanık mantık sistemi, tüm kural çıktılarınin toplamını kullanarak tek bir sonuca ulaşır.

Bu mimari, giriş verilerinden başlayarak bulanık mantık kurallarına göre çıkarımlar yapar ve sayısal değerlere dönüştürme ile toplama işlemlerini içerir. ANFIS modeli, karmaşık ilişkileri öğrenme yeteneğiyle dikkat çeken bir yapı sunmaktadır.

3.3. Tahmin Hataları İçin Kullanılan Ölçütler

Tahmin hatalarını değerlendirmek için çeşitli ölçütler kullanılır. Bu ölçütler, modelin tahmin performansını değerlendirmek ve hataları anlamak için kullanılmaktadır. Bu bölümde en çok kullanılan tahmin hata ölçütleri verilmektedir. Bu ölçütler, modelin tahmin performansını değerlendirmek için kullanılır ve hangi alanlarda iyileştirmeler yapılması gerektiğini belirlemeye yardımcı olur. Tahmin hataları ölçütleri, modelin gerçek dünya verilerine ne kadar iyi uyduğunu anlamak için önemlidir ve modelin güvenilirliğini değerlendirmede kritik bir rol oynamaktadır.

3.3.1. Ortalama Mutlak Hata (MAE)

Ortalama Mutlak Hata, bir tahmin modelinin performansını değerlendirmek için sıkça kullanılan bir ölçüttür. Gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını ifade eder. Bu ölçüt, her bir gözlemin hata miktarını eşit şekilde değerlendirir ve büyük hataların etkisini yumuşatır. MAE'nin düşük olması, modelin daha doğru tahminler yaptığını gösterir.

MAE aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i| \quad (3.2.1)$$

Bu formülde "X_i" gerçek değeri, "Y_i" ise tahmin değerini temsil etmektedir.

3.3.2. Ortalama Kare Hata (MSE)

Ortalama Kare Hata, gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki kare farkların ortalamasını ifade eder. MAE'ye benzer bir ölçüdür ancak hataların karesini alarak büyük hataların daha fazla vurgulanmasına neden olur. MSE'nin düşük olması, daha küçük hatalara sahip bir modeli işaret eder.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \quad (3.3.2)$$

Bu formülde "Xi" gerçek değeri, "Yi" ise tahmin değerini temsil etmektedir

3.3.3. Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)

Kök Ortalama Kare Hata, MSE'nin karekökü alınarak elde edilir. Bu ölçüt, hataların orijinal ölçü biriminde bir değeri temsil eder. Bu, tahminlerin gerçek değerlere olan uzaklığını daha anlaşılır bir şekilde gösterir. RMSE'nin düşük olması, modelin daha kesin tahminler yaptığını gösterir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (3.3.3)$$

Bu formülde "Xi" gerçek değeri, "Yi" ise tahmin değerini temsil etmektedir

3.3.4. Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)

Ortalama Mutlak Yüzde Hata, tahmin hatalarının yüzde cinsinden ortalamasını ifade eder. Gerçek değerlere göre yüzde cinsinden hataların ortalaması alınır. Bu ölçüt, hataların oranlarını değerlendirmek için kullanılır ve özellikle yüzdelik hataların kritik olduğu durumlarda tercih edilir.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - Y_i}{X_i} \right| \times 100 \quad (3.3.4)$$

Bu formülde "Xi" gerçek değeri, "Yi" ise tahmin değerini temsil etmektedir

Bu ölçütler, bir tahmin modelinin başarısını farklı açılardan değerlendirmek için kullanılan yaygın istatistiksel metriklerdir

3.4. CO2 tahmini için ANFIS ve Eğitim

ANFIS ve CO2 tahmini için eğitim, iklim değişikliği ile mücadelede etkili stratejiler geliştirmek ve sürdürülebilir bir gelecek için adımlar atmak açısından hayati öneme sahiptir. ANFIS, karmaşık ilişkileri modellemek için bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birleşimini kullanarak tahminler yapabilen güçlü bir araçtır. Bu yöntem, CO2 emisyonlarını etkileyen faktörlerin karmaşıklığını ele almak ve gelecekteki emisyon eğilimlerini tahmin etmek için son derece etkilidir.

Ancak, ANFIS modellerinin doğruluğu ve güvenilirliği, uygun eğitim ve doğrulama süreçleriyle yakından ilişkilidir. Eğitim süreci, doğru girdi verilerinin seçilmesi, modelin mimarisinin belirlenmesi ve optimize edilmesi gibi adımları içerir. Ayrıca modelin performansını değerlendirmek için doğrulama ve test verileri kullanılarak doğruluk ve hata metrikleri belirlenmelidir.

Eğitim süreci, ANFIS modelinin CO2 tahmini için güvenilir ve doğru sonuçlar üretmesini sağlamak için özenle yürütülmelidir. Bu süreçte, geçmiş verilerin analizi, uygun üyelik fonksiyonlarının seçimi ve eğitim algoritmasının optimize edilmesi gibi adımlar önemlidir. Ayrıca, modelin aşırı uyum (overfitting) veya eksik uyum (underfitting) gibi problemlerle karşılaşmaması için dengeli bir eğitim ve doğrulama süreci izlenmelidir.

Sonuç olarak, ANFIS ve CO2 tahmini için eğitim süreci, iklim değişikliği ile mücadelede ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Doğru veri seçimi, model optimizasyonu ve doğrulama sürecinin dikkatlice yönetilmesi, güvenilir ve etkili tahminler yapabilmek için gereklidir. Bu yöntemlerin başarılı bir şekilde uygulanması, iklim değişikliği ile mücadelede karar alıcıları ve politika yapıcılarını için değerli bir araç oluşturacaktır.

3.4.1. Verilerin Bulunması

CO2 emisyonlarının tahmin edilmesi, iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için önemli bir adımdır. Bu tahminler, çevresel politikaların belirlenmesi, enerji stratejilerinin oluşturulması ve kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi açısından kritik bir rol oynar. CO2 emisyonlarının tahmin edilmesi için gerekli verilerin tespiti de bu sürecin temelini oluşturur ve şu nedenlerle önemlidir:

- **Politika Geliştirme:** CO2 emisyonlarının tahmin edilmesi, çevresel politikaların etkin bir şekilde oluşturulmasına yardımcı olur. Hükümetler ve kuruluşlar, bu tahminlerle gelecekteki emisyon trendlerini belirleyerek uygun politika önlemleri alabilirler. Örneğin, enerji verimliliğini artırmaya yönelik teşvikler veya yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden politikalar, bu tahminlere dayanarak geliştirilebilir.

- **Kaynak Yönetimi:** CO2 emisyonlarının tahmini, enerji kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Bu tahminler, enerji talebinin gelecekteki artışını öngörerek enerji arzını planlamayı ve kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar. Böylece, enerji güvenliği ve ekonomik istikrar sağlanabilir.
- **Yatırım Kararları:** CO2 emisyonlarının tahmin edilmesi, endüstriyel ve ticari faaliyetler için stratejik yatırım kararlarının alınmasına yardımcı olur. Şirketler, gelecekteki emisyon trendlerini göz önünde bulundurarak çevre dostu teknolojilere yatırım yapabilir veya karbon azaltma önlemleri uygulayabilirler.
- **Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi:** CO2 emisyonlarının tahmini, çevresel etkilerin değerlendirilmesine ve iklim değişikliğinin olası sonuçlarının anlaşılmasına katkıda bulunur. Bu tahminler, çevresel duyarlılık ve sürdürülebilirlik stratejilerinin oluşturulmasında önemli bir rol oynar.
- **Uygun Kaynak Dağıtımı:** CO2 emisyonlarının tahmin edilmesi, kaynakların uygun bir şekilde dağıtılmasını sağlar. Örneğin, enerji tüketimini azaltmaya yönelik projeler veya sera gazı emisyonlarını izleme ve raporlama sistemleri için gereken kaynaklar, bu tahminler doğrultusunda yönlendirilebilir.

Bu nedenlerle, CO2 emisyonlarının tahmini için gerekli verilerin tespiti, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadele çabalarının temelini oluşturur. Bu verilerin doğru ve güvenilir olması, alınacak önlemlerin etkinliği ve başarısı açısından hayati öneme sahiptir.

CO2 Emisyonunun tahmini için gerekli verilerin tespiti amacıyla literatür detaylı bir şekilde taranmış ve CO2 Emisyonunu etkileyen en önemli faktörler aşağıdaki tabloda verildiği gibi sıralanmıştır.

Tablo 3.1. CO2 Emisyonunu Etkileyen Faktörler

CO2 EMİSYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER	
Toplam Elektrik Üretimi	
Doğalgaz	

Hidroelektrik
Kömür ve Kömür Türevleri
Sıvı Yakıt
Yenilenebilir Enerji
İhracat
İthalat
İnternet Kullanım Verileri
Akaryakıt
Gayri Safi Milli Hasıla
Nüfus
Otomobil Sayısı
Minibüs Sayısı
Otobüs Sayısı
Kamyonet Sayısı
Kamyon Sayısı
Motosiklet Sayısı
Özel Amaçlı Araç Sayısı
Traktör Sayısı
Kara Taşıtları Toplam Sayısı
Yapı İzinleri

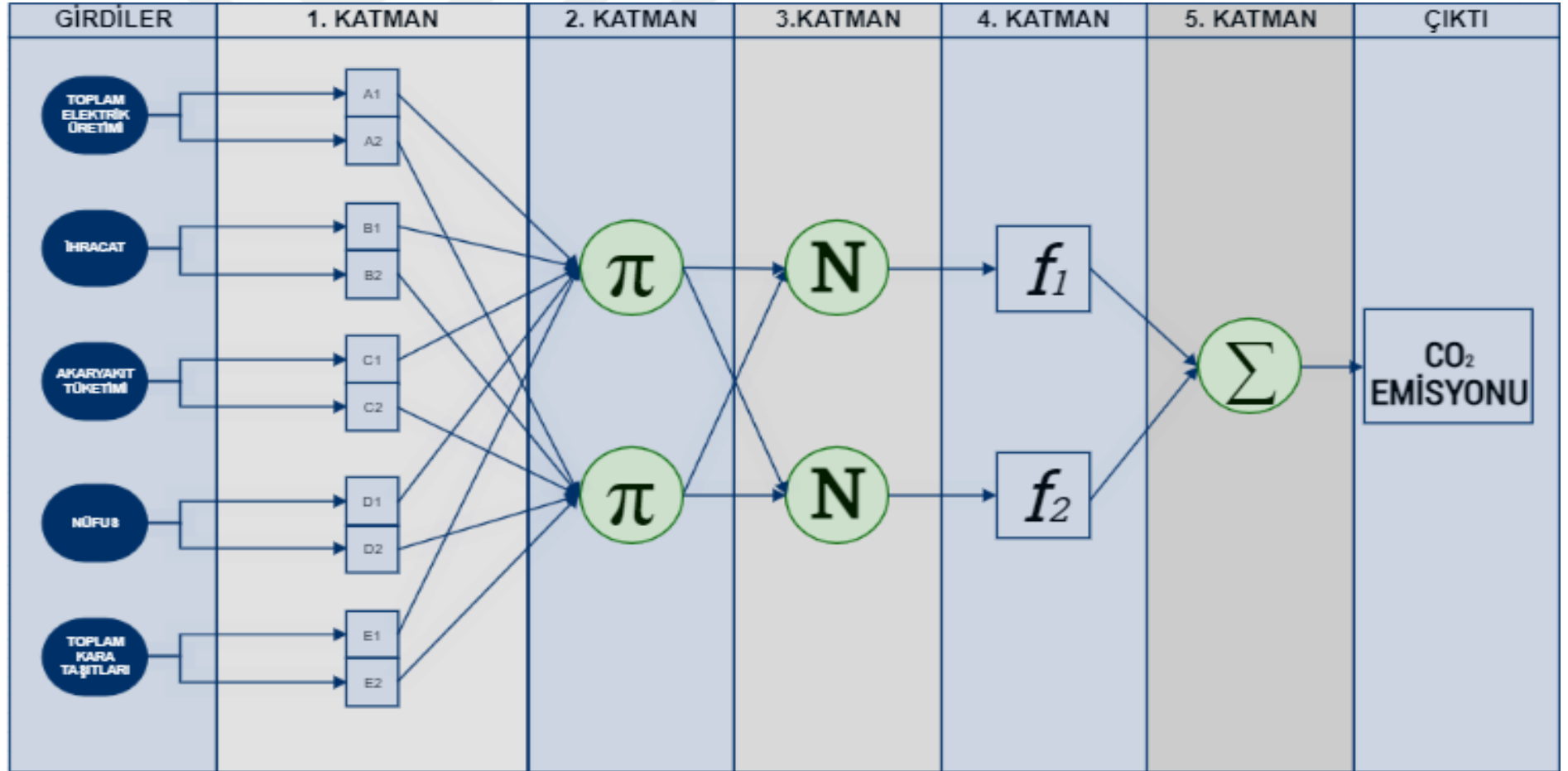
Tablo 3.1’de sunulan CO2 emisyonunu etkileyen kriterler için Türkiye'nin 2000 ile 2021 arasındaki verileri kullanılarak, korelasyon katsayıları ve regresyon analizi katsayıları hesaplanmış ve bu sonuçlar Tablo 3.2’de sunulmuştur. Bu analiz, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını etkileyen faktörlerin arasındaki ilişkileri anlamak için yapılmıştır. Tablo 3.2., zaman içindeki değişimleri ve bu değişimlerin korelasyon düzeylerini net bir şekilde göstermektedir.

Tablo 3.2. CO2 Emisyonunu Etkileyen Faktörlerin Korelasyon ve Regresyon Katsayıları

SIRA NUMARASI	CO2 EMİSYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER	KORELASYON KATSAYILARI	REGRESYON ANALİZİ P DEĞERLERİ
1	Toplam Elektrik Üretimi	0.988	0
2	Doğalgaz	-0.449	0.01
3	Hidroelektrik	-0.172	0.285
4	Kömür ve Kömür Türevleri	0.66	0
5	Sıvı Yakıt	-0.941	0
6	Yenilenebilir Enerji	0.936	0
7	İhracat	0.953	0
8	İthalat	0.839	0
9	İnternet Kullanım Verileri	0.986	0
10	Akaryakıt	0.982	0
11	Gsyh	0.709	0
12	Nüfus	0.986	0
13	Otomobil	0.685	0.001
14	Minibüs	-0.949	0
15	Otobüs	-0.918	0
16	Kamyonet	0.902	0

17	Kamyon	-0.986	0
18	Motosiklet	0.290	0.026
19	Özel Amaçlı	0.252	0.319
20	Traktör	-0.986	0
21	Kara Taşıtları	0.986	0
22	Yapı İzinleri	0.671	0.001

Bu sonuçlara göre, yüksek bir korelasyon katsayısı ilişkisi olan ve düşük regresyon p katsayısı sonucuna varılan 5 ana kriter, Türkiye'nin CO2 emisyonunu tahmin etmek için girdi olarak belirlenmiştir. Korelasyon katsayısı hesaplanırken Spearman korelasyonu tercih edilmiştir. Bu tercihin temel nedeni, bu yöntemin veriler arasındaki ilişkiyi değerlendirirken sıralama düzeyindeki ilişkilere odaklanmasıdır. Spearman korelasyonu, veri setindeki herhangi bir aykırı değer etkisini azaltarak analizin daha güvenilir olmasını sağlar. Özellikle, veriler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı durumlarda bu yöntem tercih edilir. Bu nedenle analizde Spearman korelasyonu kullanılması, verilerin doğru şekilde değerlendirilmesine ve sonuçların güvenilirliğine katkıda bulunmuştur. Bu seçilen kriterler Şekil 3.2. de ana kriterler ve elde edilen sayısal veriler ise Tablo 3.3.'te gösterilmektedir. Bu kriterler, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını etkileyen temel faktörleri temsil etmektedir ve tahmin modellerinin doğruluğunu artırmak için önemli bir rol oynamaktadır.

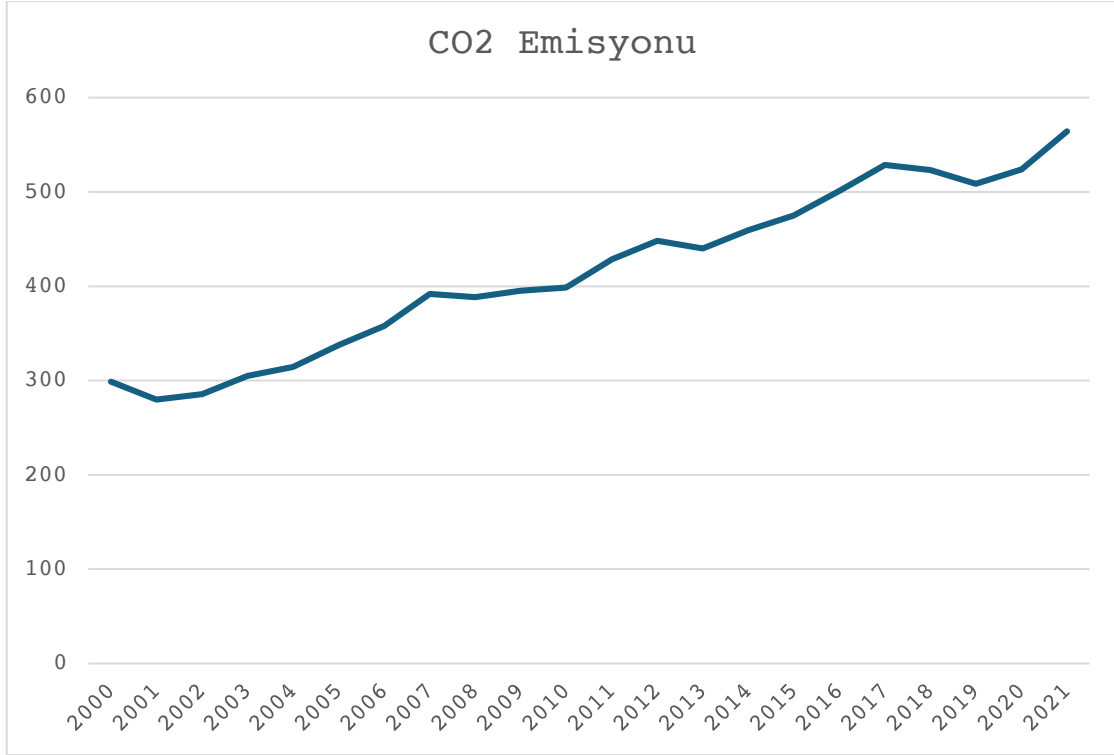


Şekil 3.2. CO₂ Emisyonunu Etkileyen Ana Parametreler ve ANFIS Katmanları

Tablo 3.3. CO2 Emisyonunu Etkileyen Ana Faktörler ve Türkiye Verileri

Elektrik Üretimi (Mwh) [33] p1	İhracat (BİN USD \$) [34] p7	Akaryakıt (Ton) [35] p10	Nüfus [36] p15	Toplam Kara Taşıtları [37] p24
124921600	27774906	12677438.47	64113547	6302172
122724700	31334216	13440518.93	65072018	7181601
129399500	36059089	14203599.39	65988663	8655170
140580500	47252836	15393666.00	66867327	8903843
150698300	63167153	16449909.00	67785075	10236357
161956200	73476408	18075998.00	68704715	11145826
176299800	85534676	18100225.00	69601333	12227393
191558129.4	107271750	18103787.00	70158112	13022945
198418000	132027196	19131192.00	71051678	13765395
194812926	102142613	18206872.00	72039206	14316700
211207700	113883219	18461624.00	73142150	15095603
229395100	134906869	19439057.00	74223629	16089528
239496800	152461737	20144101.00	75175827	17033413
240153953	151802637	21128076.00	76147624	17939447
251962817	157610158	21892670.00	77181884	18828721
261783303.5	143838871	24824703.00	78218479	19994472
274407749	142529584	26717671.00	79277962	21090424
297277522.9	156992940	28460979.00	80312698	22218945
304801885	177168756	27807222.69	81407204	22865921
303897559.6	180832722	26737750.00	82579440	23156975
306703092.4	169637755	26372288.00	83384680	24144857
331491935	225214458	29349759.00	84147318	25249119

Şekil 3.3'te Türkiye'de ölçülen CO2 emisyonlarına ilişkin veriler sunulmaktadır [38]



Şekil 3.3. Türkiye'de Ölçülen CO2 Emisyonlarına İlişkin Veriler

3.4.2. ANFIS ile Modelin Eğitilmesi

Tablo 3.3.' te yer alan veriler eşliğinde ANFIS'te yapılan tahmin sonuçlarının gerçek değerler ile karşılaştırmalı sonuçları tüm fonksiyonlarla birlikte aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu tabloda kullanılan üyelik fonksiyonları aşağıda belirtildiği gibidir. Her bir fonksiyonun özellikleri ve kullanım alanları incelenmiştir. Bu fonksiyonlar, ANFIS modelinde giriş değişkenlerine ait bulanık mantık kurallarını ifade etmek için kullanılmıştır. Ayrıca, her bir fonksiyonun ANFIS modelindeki etkisi ve performansı da detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve aşağıda bu fonksiyonlara ait açıklamalara yer verilmiştir.

- **Trimf:** Üçgen şeklinde, üç parametre ile tanımlanır: başlangıç, orta nokta ve bitiş değerleri. Belirli bir değere ait olma derecesini belirler.
- **Trapmf:** Trapezoid şeklinde, dört parametre ile tanımlanır: başlangıç, sol eğim, sağ eğim ve bitiş değerleri. Belirli bir değere ait olma derecesini belirler.

- **Gbellmf:** Genelleştirilmiş çan şeklinde, üç parametre ile tanımlanır: merkez, yayılma ve eğrilik parametreleri. Belirsizlikli ve değişken durumların modellenmesinde kullanışlıdır.
- **Gaussmf:** Gauss eğrisi şeklinde, iki parametre ile tanımlanır: merkez ve yayılma. İstatistiksel analizlerde ve yumuşak hesaplama sistemlerinde kullanılır.
- **Gauss2mf:** İki Gauss eğrisi şeklinde, iki çift parametre ile tanımlanır: her bir Gauss eğrisinin merkezi ve yayılma değerleri. Çift modellenli verilerin analizinde kullanılır.
- **Pimf:** Üçgen şeklinde, üç parametre ile tanımlanır: başlangıç, orta nokta ve bitiş değerleri. Trimf fonksiyonuna benzer şekilde üçgen bir üyelik fonksiyonudur.

ANFIS modelinin eğitimi, çeşitli üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilir. Tablo 3.3'te sunulan ANFIS tahmin sonuçlarının gerçek değerlerle karşılaştırmalı sonuçları, bu eğitim sürecinin bir parçası olarak incelenir. Bu fonksiyonlar, ANFIS modelinde giriş değişkenlerine ait bulanık mantık kurallarını ifade etmek için kullanılır ve karmaşık ilişkileri modellemede esneklik sağlar.

Trimf fonksiyonu, üçgen şeklinde tanımlanır ve belirli bir değere ait olma derecesini belirler. Trapmf fonksiyonu ise trapezoid şeklinde ve dört parametreyle tanımlanır, belirli bir değere ait olma derecesini belirlerken sol ve sağ eğimler de dikkate alınır. Gbellmf fonksiyonu, genelleştirilmiş çan şeklinde tanımlanır ve belirsizlikli ve değişken durumların modellenmesinde kullanılırken, Gaussmf fonksiyonu Gauss eğrisi şeklinde ve iki parametreyle tanımlanır ve istatistiksel analizlerde tercih edilir. Gauss2mf fonksiyonu ise iki Gauss eğrisi şeklinde tanımlanır ve çift modellenli verilerin analizinde kullanılır. Pimf fonksiyonu ise üçgen şeklinde ve üç parametreyle tanımlanır, Trimf fonksiyonuna benzer şekilde üçgen bir üyelik fonksiyonudur.

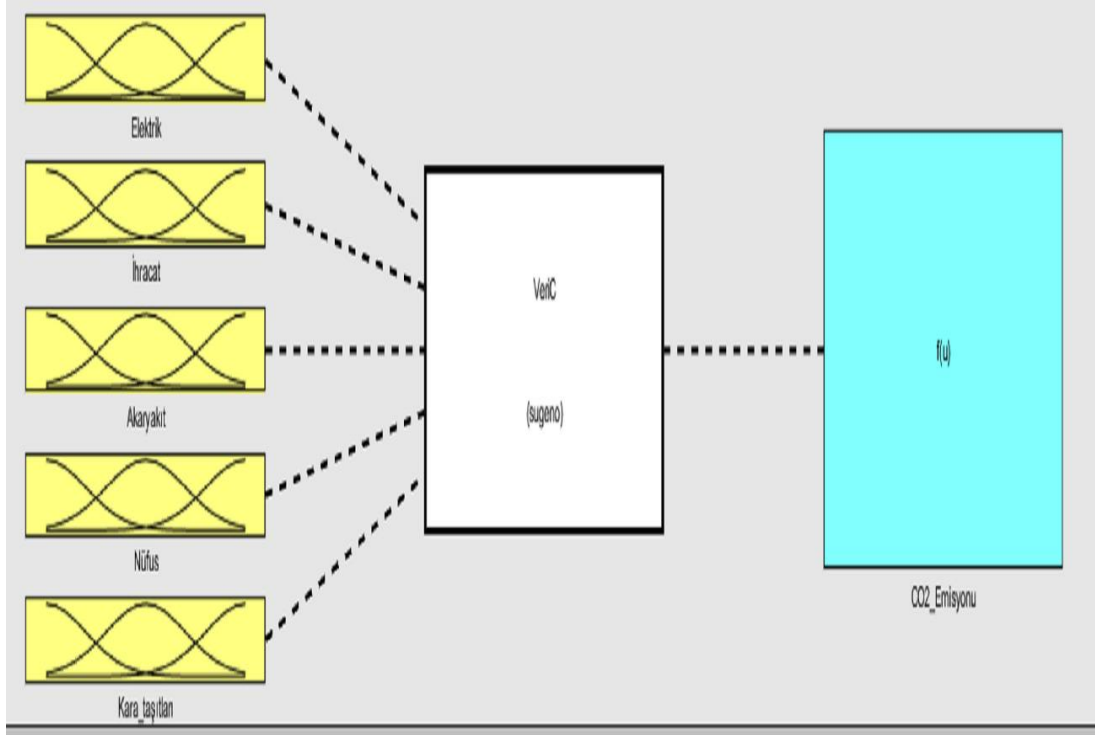
Bu fonksiyonların her biri, ANFIS modelinin eğitimi sırasında kullanılarak CO2 tahminlerinde farklı sonuçlar elde edilmesini sağlar. Model eğitimi sürecinde, her bir fonksiyonun ANFIS modelindeki etkisi ve performansı dikkatlice değerlendirilir ve elde edilen sonuçlar, çeşitli üyelik fonksiyonlarının CO2 tahminleri üzerindeki etkilerini gösterir.

Tablo 3.4. Farklı Eğitim-Test Oranları ve Üyelik Fonksiyonları İçin ANFIS Sonuçları

PARAMETRELER	EĞİTİM-TEST	ÜYELİK FONKSİYONU	MFs	R ²	MSE	RMSE	EPOCHS
p1,p7,p10,p15,p24	70-30	Trimf	3 3 3 3 3	0.4228	5799.832	76.157	150
p1,p7,p10,p15,p24	70-30	Trapmf	3 3 3 3 3	0.3324	6778.082	82.329	150
p1,p7,p10,p15,p24	70-30	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.8576	1526.408	39.069	150
p1,p7,p10,p15,p24	70-30	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9336	735.154	27.114	150
p1,p7,p10,p15,p24	70-30	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.8939	1332.606	36.505	150
p1,p7,p10,p15,p24	70-30	Pimf	3 3 3 3 3	0.3324	6778.095	82.329	150
p1,p7,p10,p15,p24	70-30	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.8975	1287.422	35.881	150
p1,p7,p10,p15,p24	80-20	Trimf	3 3 3 3 3	0.809	1627.750	40.345	150
p1,p7,p10,p15,p24	80-20	Trapmf	3 3 3 3 3	0.8428	271.015	16.463	150
p1,p7,p10,p15,p24	80-20	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9725	265.681	16.300	150
p1,p7,p10,p15,p24	80-20	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9513	602.687	24.550	150
p1,p7,p10,p15,p24	80-20	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.9855	110.355	10.505	150
p1,p7,p10,p15,p24	80-20	Pimf	3 3 3 3 3	0.8426	1236.808	35.168	150
p1,p7,p10,p15,p24	80-20	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9867	100.109	10.005	150
p1,p7,p10,p15,p24	85-15	Trimf	3 3 3 3 3	0.9755	2022.885	44.976	150
p1,p7,p10,p15,p24	85-15	Trapmf	3 3 3 3 3	0.9843	1310.100	36.195	150
p1,p7,p10,p15,p24	85-15	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9805	1701.855	41.254	150
p1,p7,p10,p15,p24	85-15	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9747	2137.759	46.236	150
p1,p7,p10,p15,p24	85-15	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.9832	1381.121	37.163	150
p1,p7,p10,p15,p24	85-15	Pimf	3 3 3 3 3	0.9845	1298.335	36.032	150
p1,p7,p10,p15,p24	85-15	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9961	1036.510	32.195	150

p1,p7,p10,p15,p24	90-10	Trimf	3 3 3 3 3	0.9599	330.405	18.177	150
p1,p7,p10,p15,p24	90-10	Trapmf	3 3 3 3 3	0.9823	149.172	12.214	150
p1,p7,p10,p15,p24	90-10	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9881	110.791	10.526	150
p1,p7,p10,p15,p24	90-10	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9825	158.237	12.579	150
p1,p7,p10,p15,p24	90-10	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.987	123.117	11.096	150
p1,p7,p10,p15,p24	90-10	Pimf	3 3 3 3 3	0.9829	140.333	11.846	150
p1,p7,p10,p15,p24	90-10	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9874	119.213	10.918	150
p1,p7,p10,p15,p24	95-5	Trimf	3 3 3 3 3	0.9784	178.557	13.363	150
p1,p7,p10,p15,p24	95-5	Trapmf	3 3 3 3 3	0.9831	137.570	11.729	150
p1,p7,p10,p15,p24	95-5	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9999	0.271	0.520	150
p1,p7,p10,p15,p24	95-5	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9995	4.644	2.155	150
p1,p7,p10,p15,p24	95-5	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.9804	162.777	12.758	150
p1,p7,p10,p15,p24	95-5	Pimf	3 3 3 3 3	0.9822	144.223	12.009	150
p1,p7,p10,p15,p24	95-5	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9888	94.246	9.708	150

Yapılan ANFIS tahminlemesi sonuçları, R^2 değerleri en yüksek ve MSE ile RMSE değerleri en düşük olan modellerin belirlenmesi amacıyla dikkatle incelenmiştir. Bu değerlendirme neticesinde, eğitim ve test verilerinin 95-5 oranında ayrıldığı göz önünde bulundurularak en iyi performansı gösteren üyelik fonksiyonları olarak Gbellmf ve Gaussmf tespit edilmiştir. Bu fonksiyonlar, 2000 ve 2021 dönemi için yapılan tahminlemelerde kullanılmış ve en iyi sonucu verdiği tespit edilen Gbellmf için adım ANFIS yapısı aşağıda anlatılmıştır. Öncelikle girdilerimiz ve çıktılarımız ANFIS edit kısmında düzenlenmiştir. Beş girdi değeri ve bir çıktı değeri olacak şekilde ANFIS yapısı Şekil 3.4'teki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.4. ANFIS model yapısının oluşturulması

Oluşan model yapısından sonra Gbellmf üyelik fonksiyonu seçilir. Gbellmf, bulanık mantık sistemlerinde kullanılan bir üyelik fonksiyonudur. Bu fonksiyonun şekli bir çan eğrisine benzer ve belirli bir değerin üyelik derecesini hesaplamak için kullanılır. GbellMF'nin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$\mu(x;a,b,c)=\frac{1}{1+|\frac{x-c}{a}|^{2b}} \quad (3.4.2)$$

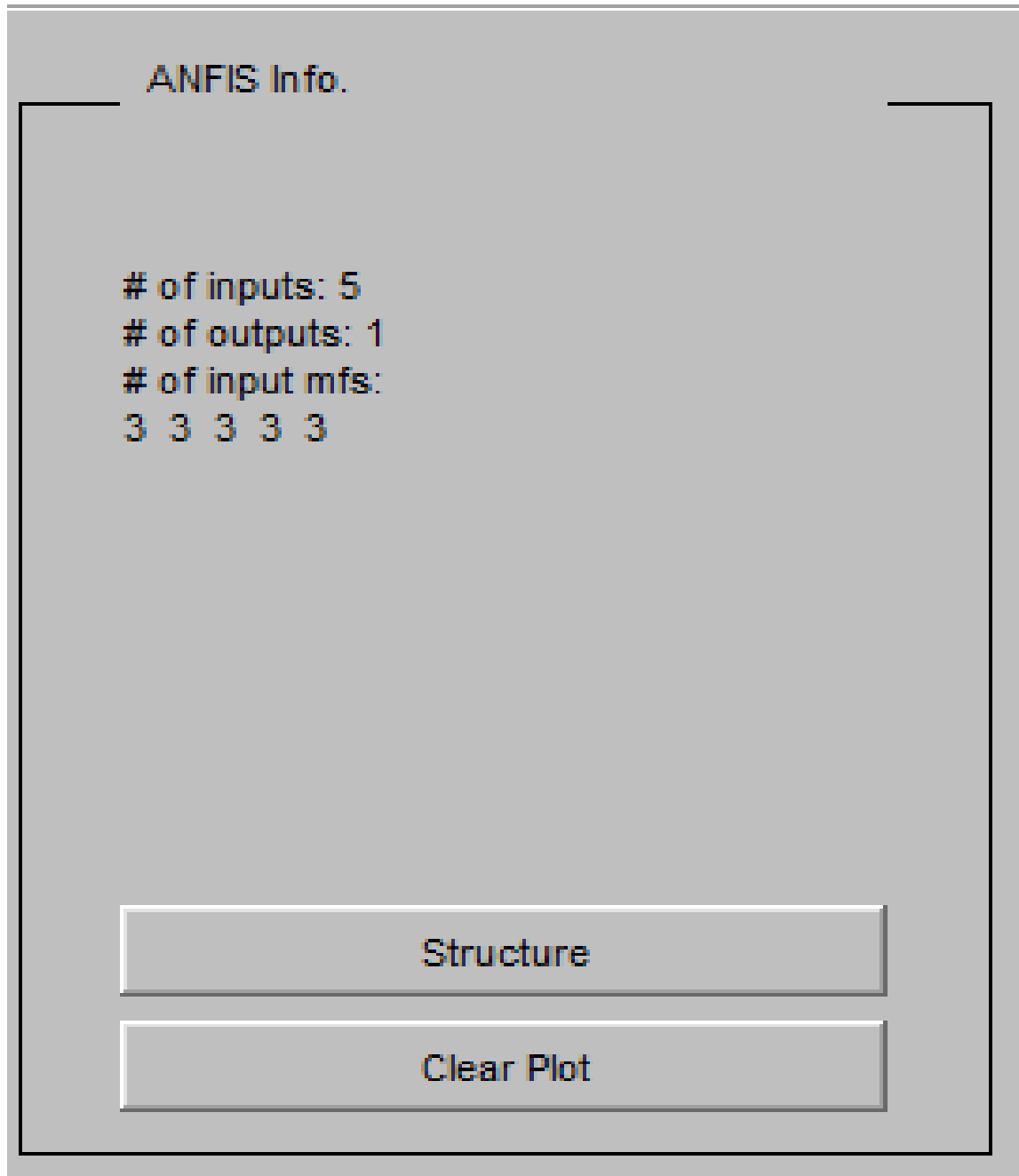
x: Giriş değeri

a: fonksiyonun genişliği

b: fonksiyonun eğimi (eğim parametresi)

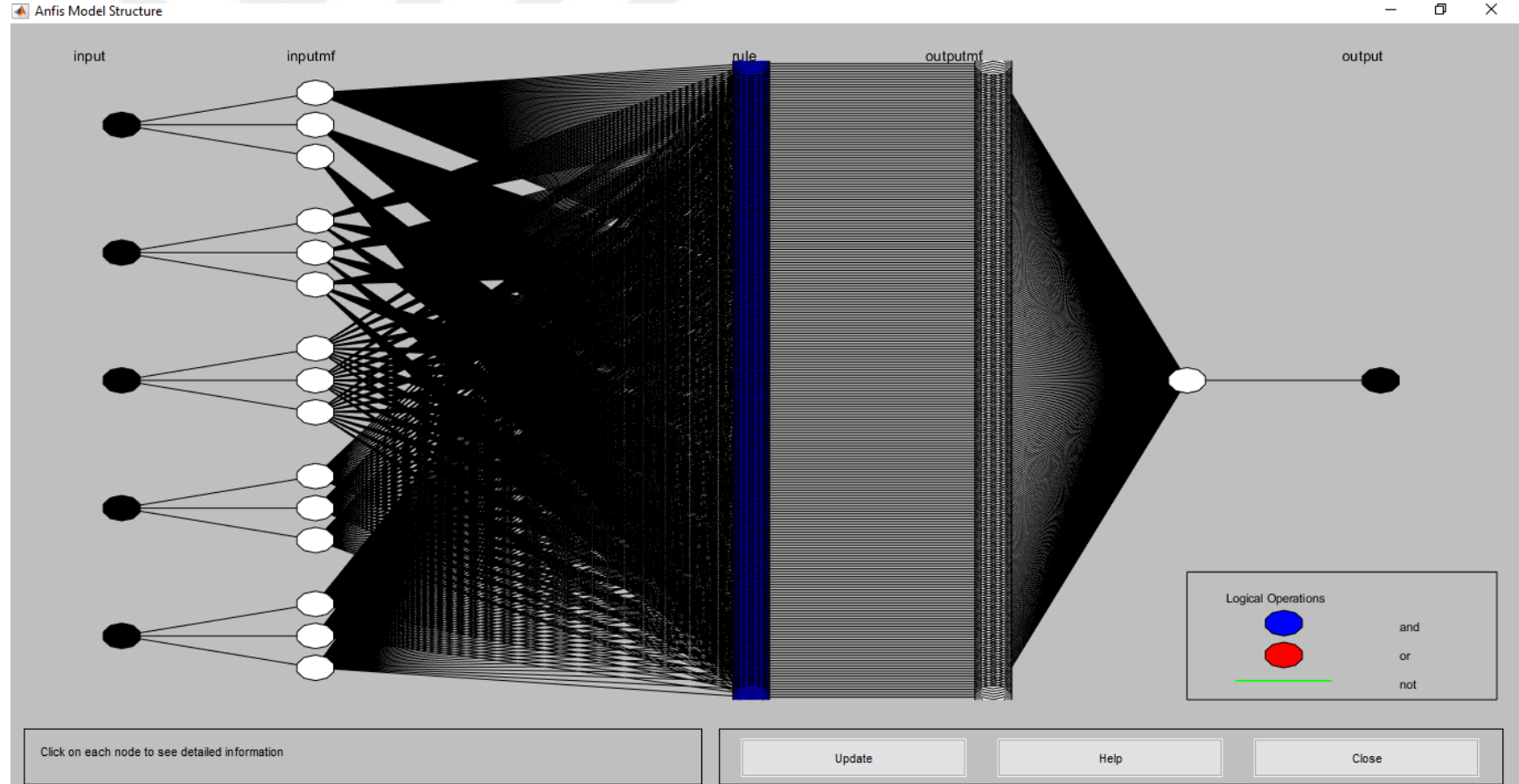
c: fonksiyonun merkezi (merkez parametresi)

Şekil 3.5.'te ANFIS model yapısı gösterilmiştir. MFs 3 3 3 3 3 ifadesi, ANFIS modelinde her bir giriş değişkeni için üç adet Generalized Bell üyelik fonksiyonu kullanıldığını belirtir. Bu, beş giriş değişkeni olduğu ve her birinin üçer adet Gbell üyelik fonksiyonu ile modellenmiş olduğu anlamına gelir. Her giriş değişkeni için üç adet GbellMF kullanılması, giriş aralığını üç farklı bölgeye (düşük, orta, yüksek) ayırarak daha hassas bir modelleme sağlar.



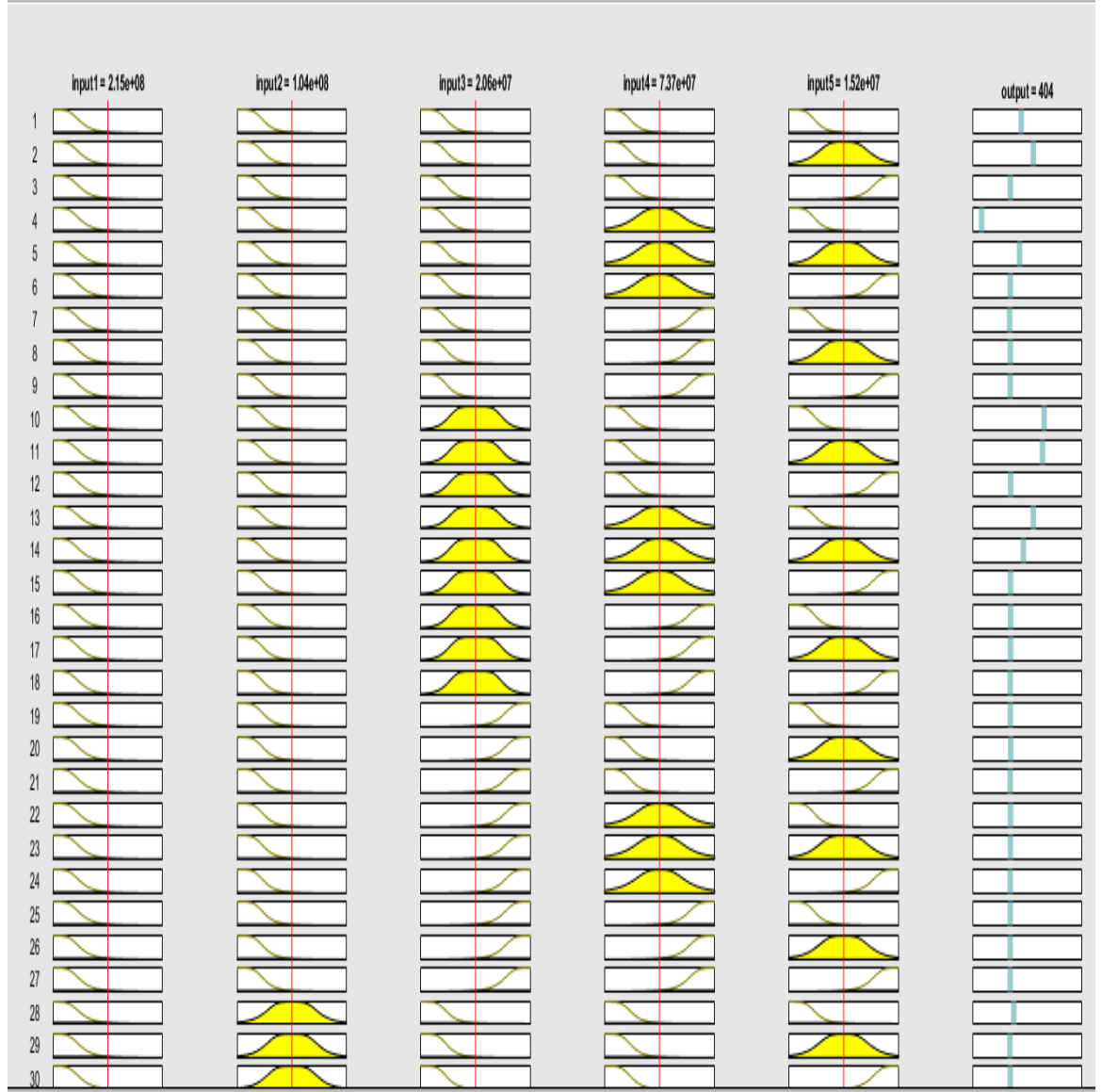
Şekil 3.5. ANFIS yapısı

Şekil 3.5.' te gösterilen kurallar sonucunda Gbellmf üyelik fonksiyonuna göre oluşturulan ANFIS model yapısı Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



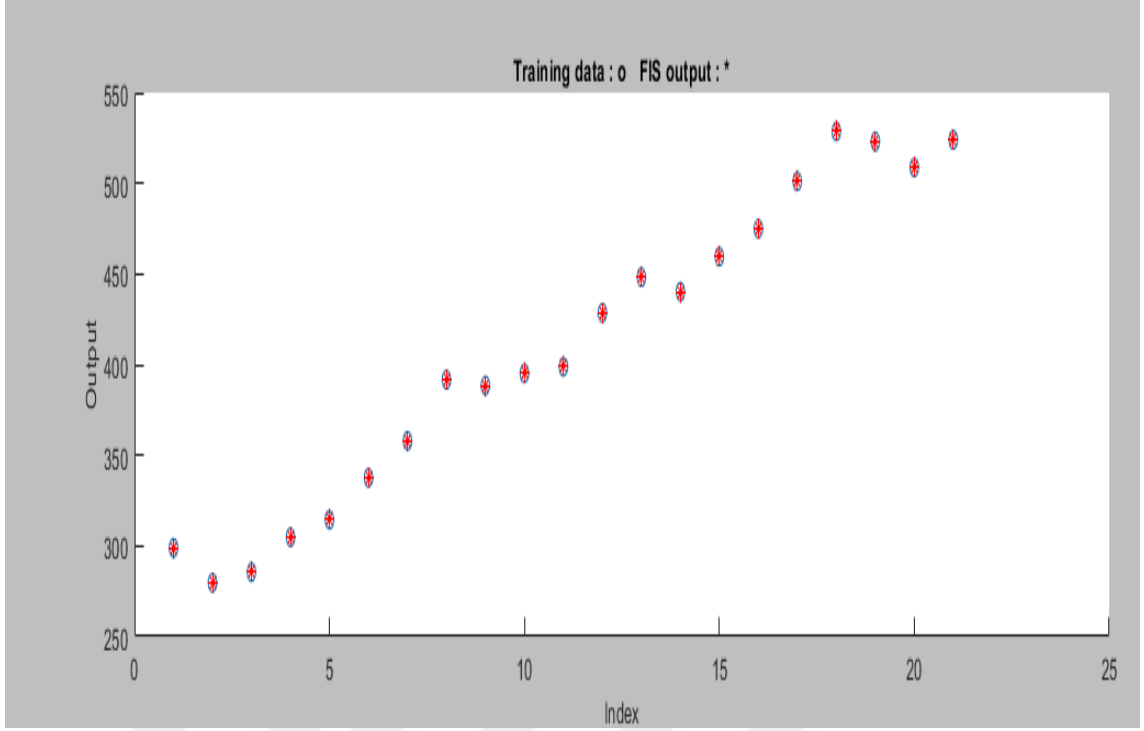
Şekil 3.6. Gbellmf üyelik fonksiyonuna göre ANFIS Model Yapısı

Model oluşturulduktan sonra bulanık kurallar oluşturulur. Gbellmf üyelik fonksiyonuna göre oluşturulan bulanık mantık modeli Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Gbellmf üyelik fonksiyonuna göre bulanık mantık kuralları

Öncelikle elde edilen sonuçlar Tablo 3.4.'te sunulmuştur. Söz konusu tahminlemeler, belirtilen üyelik fonksiyonlarının eğitim ve test verileri üzerindeki etkinliğini göstermektedir. Gbellmf üyelik fonksiyonu verileri ve gerçek CO2 emisyonu verilerinin karşılaştırılması Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Gerçek CO2 emisyonu verileri ve Gbellmf üyelik fonksiyonu ile eğitilen ANFIS modelinin test sonuçları

Gbellmf üyelik fonksiyonunun sonuçlarının ardından ikinci en iyi model olan Gaussmf üyelik fonksiyonu ile oluşturulan tahmin modeli ile ANFIS eğitilmiştir. Gauss üyelik fonksiyonu (Gaussian Membership Function – GaussMF), bulanık mantık sistemlerinde kullanılan ve bir giriş değerinin belirli bir bulanık kümeye üyelik derecesini hesaplayan bir fonksiyondur. Gauss üyelik fonksiyonu, adını ünlü matematikçi Carl Friedrich Gauss’tan alır ve normal dağılım eğrisine benzer bir yapıya sahiptir. Gauss üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$\mu(x;c,\sigma)=\exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.5.3)$$

x: Giriş değeri

c: Fonksiyonun merkezini belirler

σ : Fonksiyonun standart sapmasını belirler, yani genişliğini kontrol eder

$\mu(x;c,\sigma)$: x değerinin üyelik derecesini ifade eder

Merkez (c): Gauss fonksiyonunun en yüksek olduğu noktayı belirler. Bu nokta, $x=c$ olduğunda üyelik derecesinin 1 olduğu yerdir. Bu, x değerinin tamamen bu kümeye ait olduğunu gösterir.

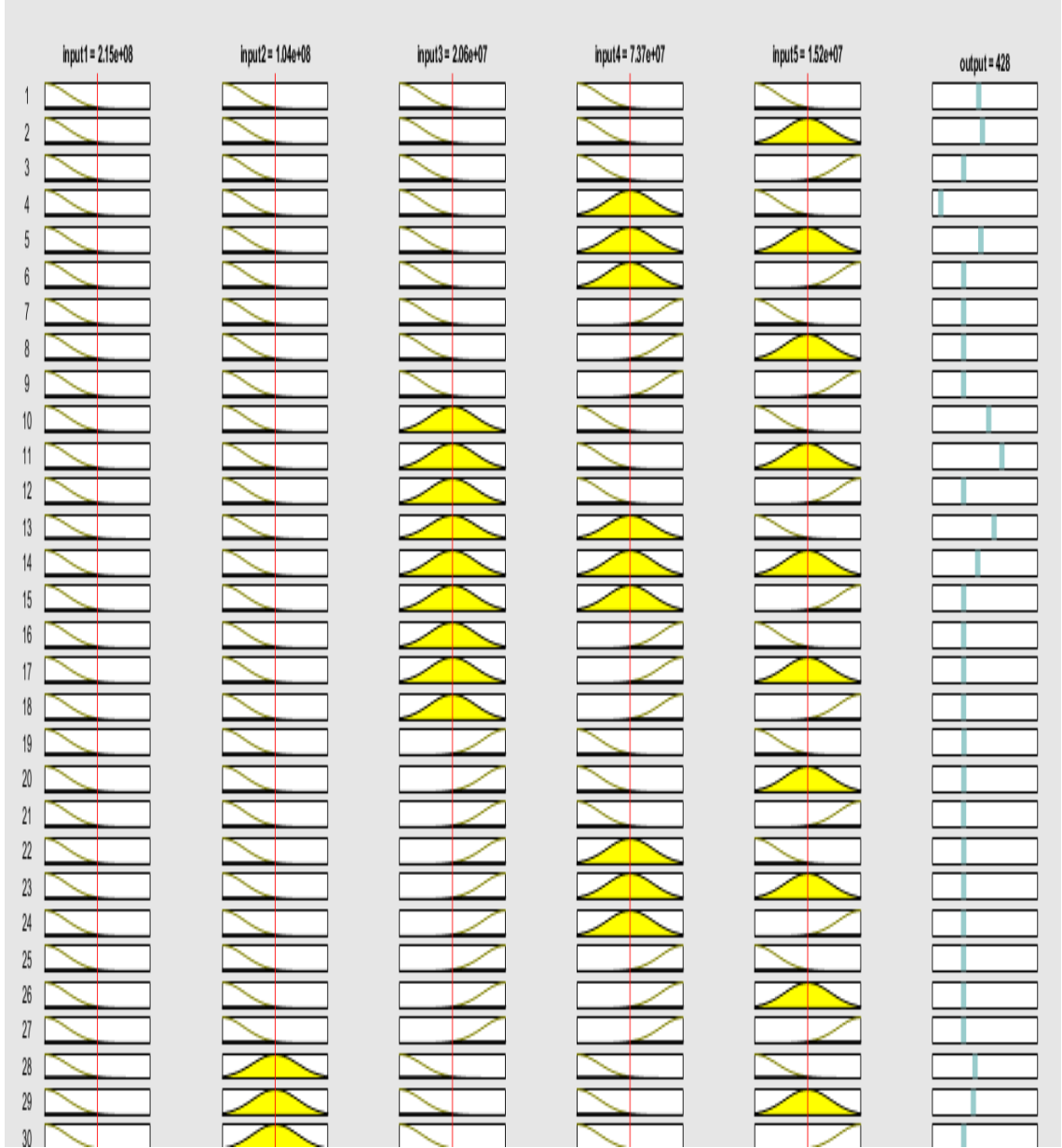
Standart Sapma (σ): Fonksiyonun genişliğini kontrol eder. Σ arttıkça fonksiyon genişler ve daha yayvan bir hal alır. Küçüldükçe fonksiyon daralır ve daha sivri bir hale gelir. Bu parametre, fonksiyonun yayılımını kontrol ederek üyelik derecesinin ne kadar hızlı azaldığını belirler.

Gauss tipi üyelik fonksiyonu, bir değişkenin üyelik derecesini belirlemek için genellikle simetrik ve zirve noktası olan bir Gauss eğrisi kullanır. Fonksiyonun simetrik olması, giriş değişkeninin orta değeri etrafında yoğunlaştığını gösterir. Gaussmf fonksiyonunun zirve noktası, üyelik derecesinin en yüksek olduğu ve en güçlü olduğu noktadır. Bu, veri noktalarının en yoğun olduğu bölgeyi belirtir. Fonksiyonun genişliği, Gauss eğrisinin ne kadar geniş veya dar olduğunu belirler. Geniş bir Gaussmf fonksiyonu, üyelik derecesinin daha yaygın olduğu bir alanı ifade ederken, dar bir Gaussmf fonksiyonu daha keskin bir sınırla birleşir. Gaussmf fonksiyonunun genellikle iki parametresi vardır: merkez ve genişlik. Merkez, eğrisinin zirve noktasını belirlerken, genişlik, eğrisinin ne kadar yayıldığını kontrol eder. Gaussmf fonksiyonu, veri setinin dağılımını modellerken ve bulanık mantık sistemlerindeki kural tabanlarını oluştururken yaygın olarak kullanılır. Bu fonksiyon, veri setinin belirli bir bölgesindeki yoğunluğu ifade ederek, sistemin girişlerine ne kadar uygun olduğunu belirler. Gaussmf fonksiyonu, özellikle bulanık çıkarım sistemlerindeki üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasında ve belirsiz veri kümelerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılır.

GaussMF'nin özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Sürekli ve Düzgün: GaussMF sürekli ve türevlenebilir bir fonksiyondur. Bu, bulanık mantık sistemlerinde daha pürüzsüz geçişler sağlar.
- Tek Modalite: Tek bir tepe noktası vardır, yani her giriş değeri için sadece bir üyelik derecesi bulunur.
- Parametre Duyarlılığı: Merkez ve genişlik parametreleri, fonksiyonun şeklini ve yerini doğrudan etkiler. Bu parametrelerin dikkatli seçilmesi, modelin performansını artırır.

Gauss üyelik fonksiyonuyla eğitilen ANFIS modeli ve bu model ile belirlenen bulanık mantık kuralları Şekil 3.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Gaussmf bulanık mantık kuralları

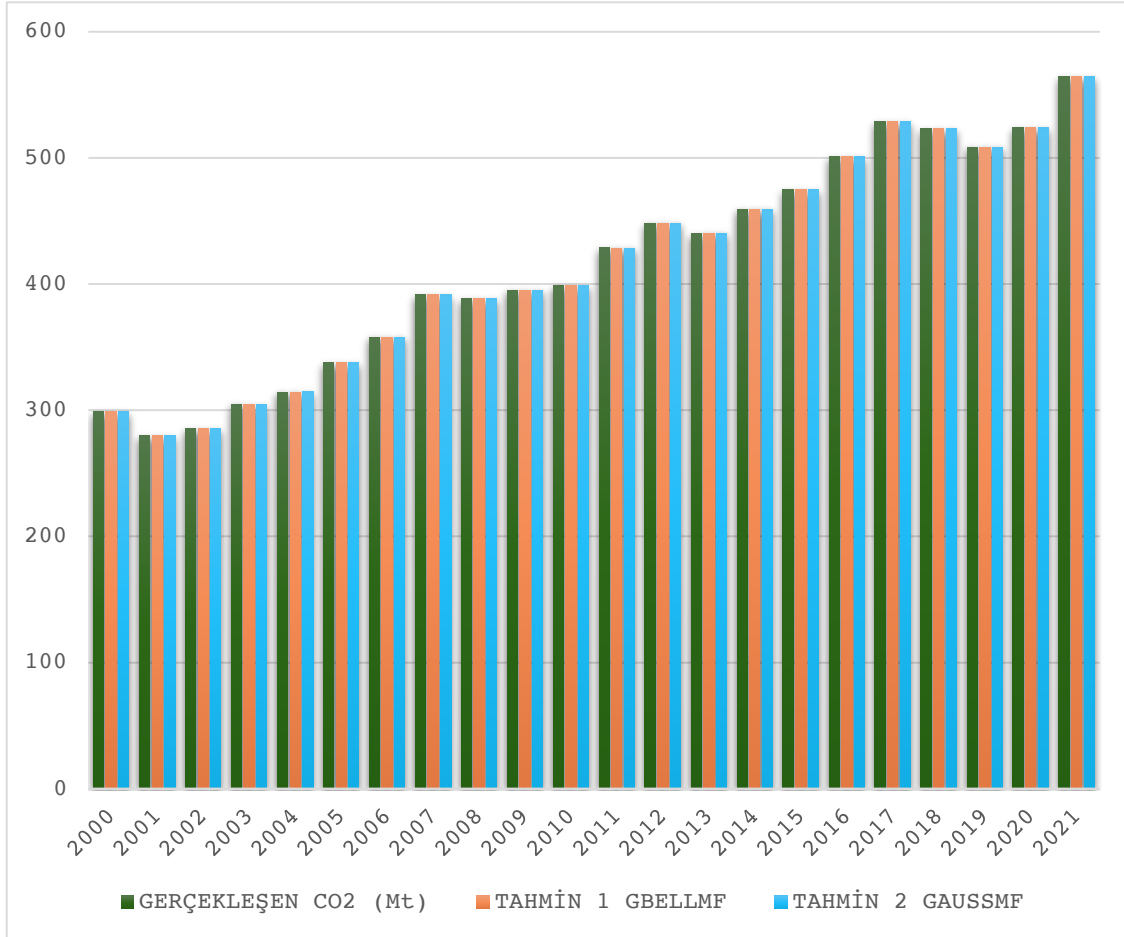
Gaussmf üyelik fonksiyonları kullanılarak eğitilen ANFIS modelleri karşılaştırılmıştır. Bu modellerin her biri, giriş değişkenlerinin farklı üyelik fonksiyonları ile nasıl temsil edileceğini belirlemiş ve bu doğrultuda CO2 emisyon tahminleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tahmin çıktıları, Tablo 3.5'te detaylı bir şekilde

sunulmaktadır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, Gbellmf ve Gaussmf üyelik fonksiyonları ile eğitilen ANFIS modellerinin CO2 emisyon tahminindeki etkinlikleri ise Şekil 3.10.'da net bir biçimde ortaya konmuştur.

Tablo 3.5. ANFIS'te kullanılan parametreler ve tahmin sonuçları

YILLAR/ PARAMETRELER	CO2	Gbellmf	Gaussmf
2000	298.9	298.7899	298.82
2001	279.7	279.8615	279.826
2002	285.6	285.5677	285.57
2003	304.8	304.7692	304.761
2004	314.4	314.4113	314.429
2005	337.6	337.591	337.573
2006	358	358.0133	358.048
2007	391.7	391.666	391.645
2008	388.5	388.539	388.54
2009	395.2	395.1568	395.126
2010	398.8	398.8798	398.908
2011	428.6	428.5237	428.518
2012	448.2	448.1618	448.178
2013	440.2	440.2848	440.28
2014	459.5	459.4723	459.46
2015	475	474.994	474.999
2016	501.1	501.0964	501.094
2017	528.6	528.6044	528.606
2018	523.1	523.0927	523.09
2019	508.7	508.6944	508.697

2020	524	524.0033	524.004
2021	564.4	564.403	564.402



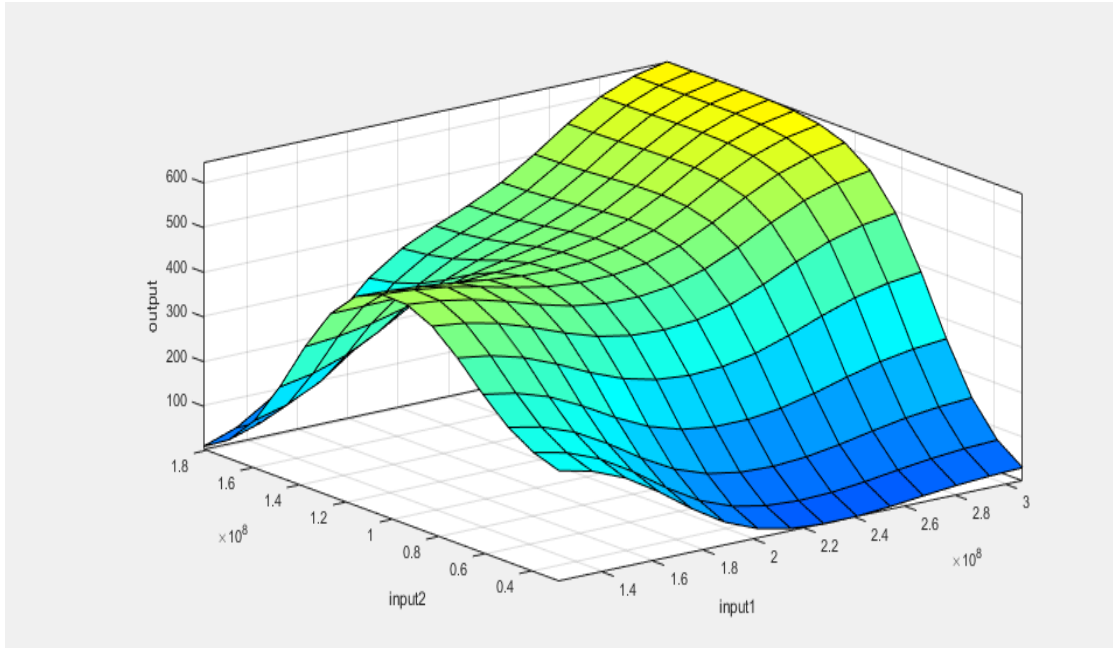
Şekil 3.10. Gerçekleşen ve tahminlenen CO2 emisyonları

Aşağıda sunulan şekiller, ANFIS modeli kullanılarak elde edilen CO2 emisyonu tahminlerinin, beş farklı parametre arasındaki ikili ilişkiler üzerinden görselleştirilmesini sağlamaktadır. Şekiller, her bir parametre çiftinin sabit koşullar altında diğer parametreler üzerindeki etkilerini inceleyerek, CO2 emisyonlarına olan katkılarını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, toplam on adet şekil sunulmuş olup, her biri aşağıdaki hususları kapsamaktadır.

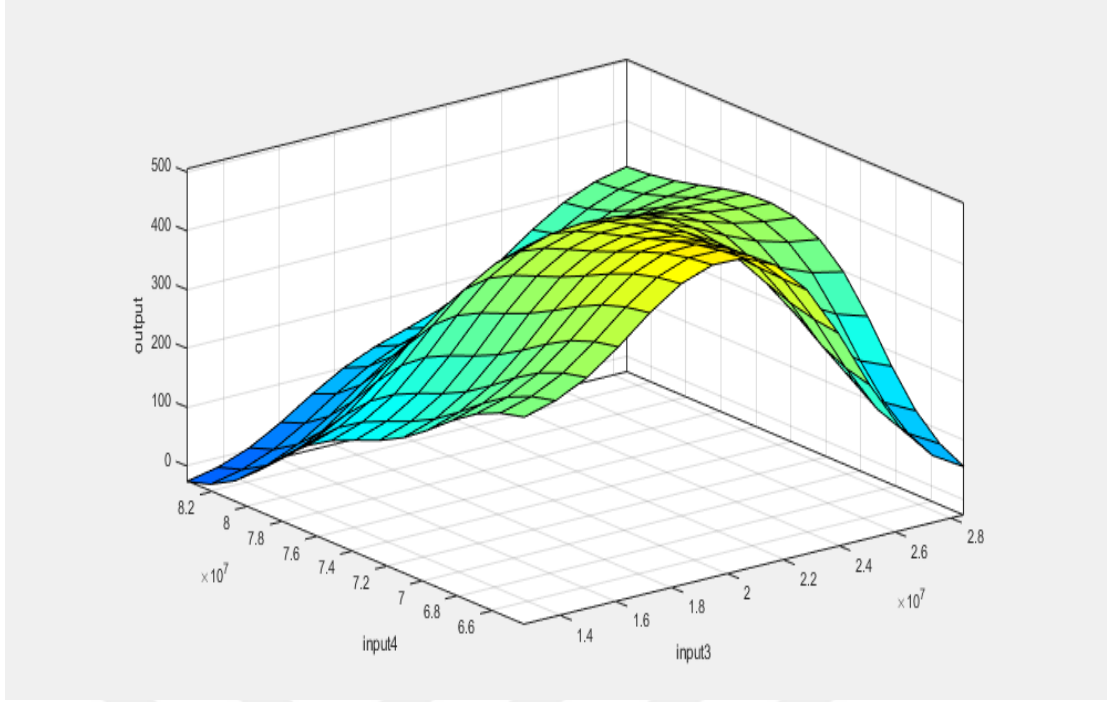
- İkili Parametre Karşılaştırmaları: Her şekil, iki parametre arasındaki ilişkiyi üç boyutlu bir yüzey grafiği şeklinde sunmaktadır. Bu grafikler, belirli iki parametre

değişkeninin farklı değerleri altında modelin çıktısı olan CO2 emisyonunu göstermektedir.

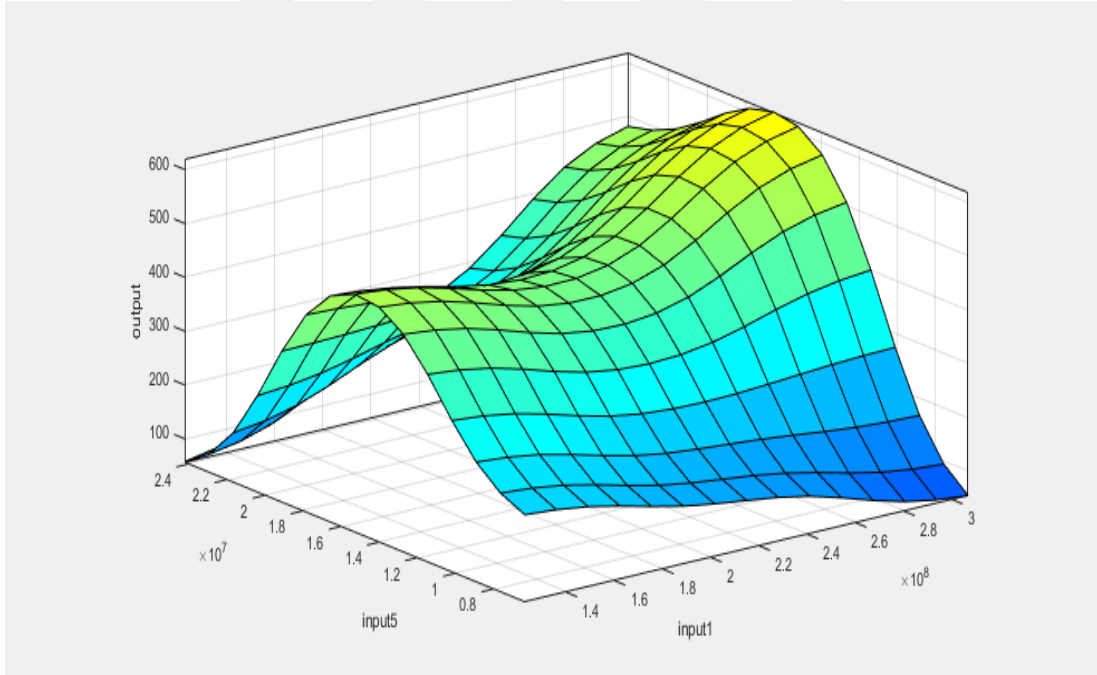
- Parametrelerin Etkileşimi: Şekiller, ikili parametre kombinasyonlarının, diğer parametreler sabit tutulduğunda CO2 emisyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Bu sayede, her bir parametre çiftinin toplam emisyon üzerindeki katkısı ve etkileşimi detaylı bir şekilde analiz edilmektedir.
- ANFIS Modelinin Görselleştirilmesi: Bu grafikler, ANFIS modelinin karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri nasıl başarılı bir şekilde yakaladığını görselleştirerek, modelin doğruluk ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır.



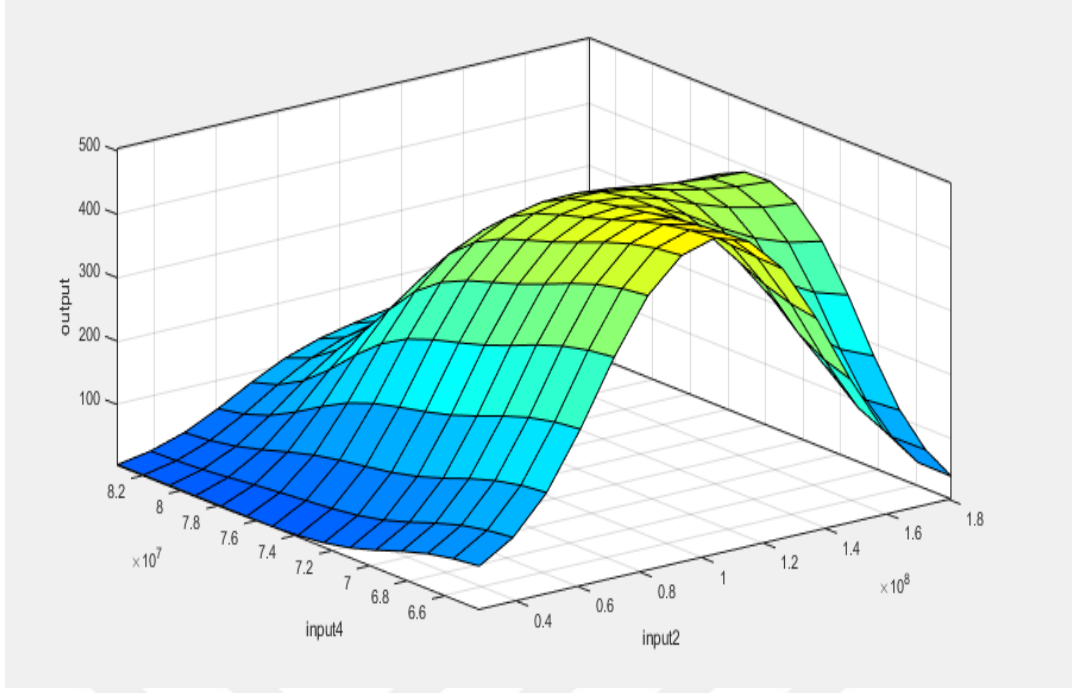
Şekil 3.11. CO2 Emisyonu ve Elektrik, İhracat İlişkisi



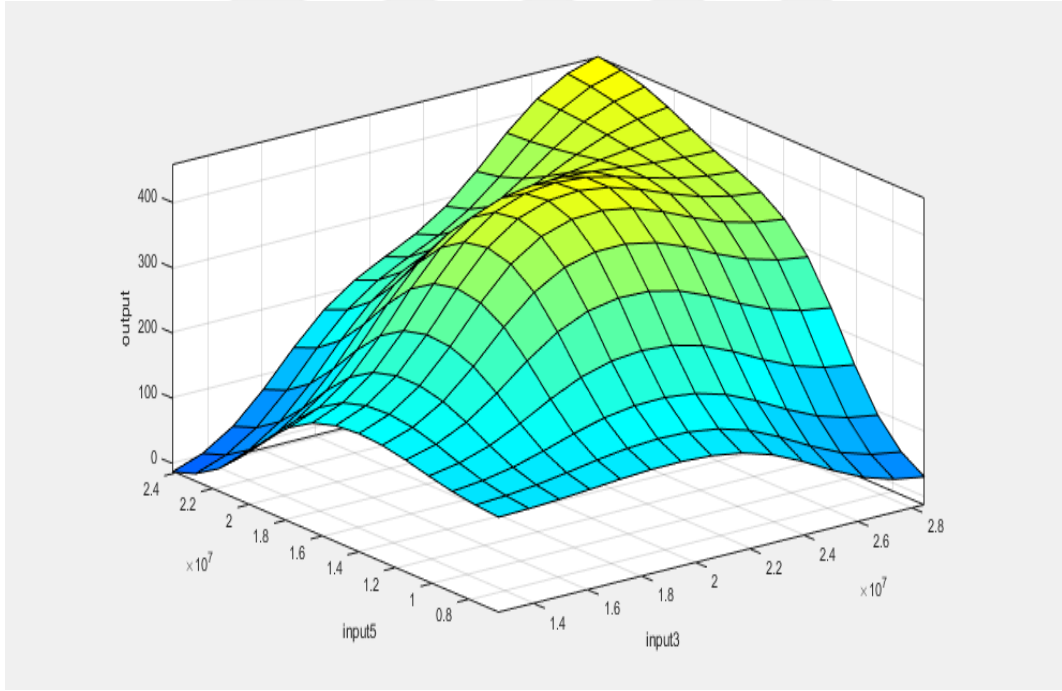
Şekil 3.12. CO2 Emisyonu ve Akaryakıt, Nüfus İlişkisi



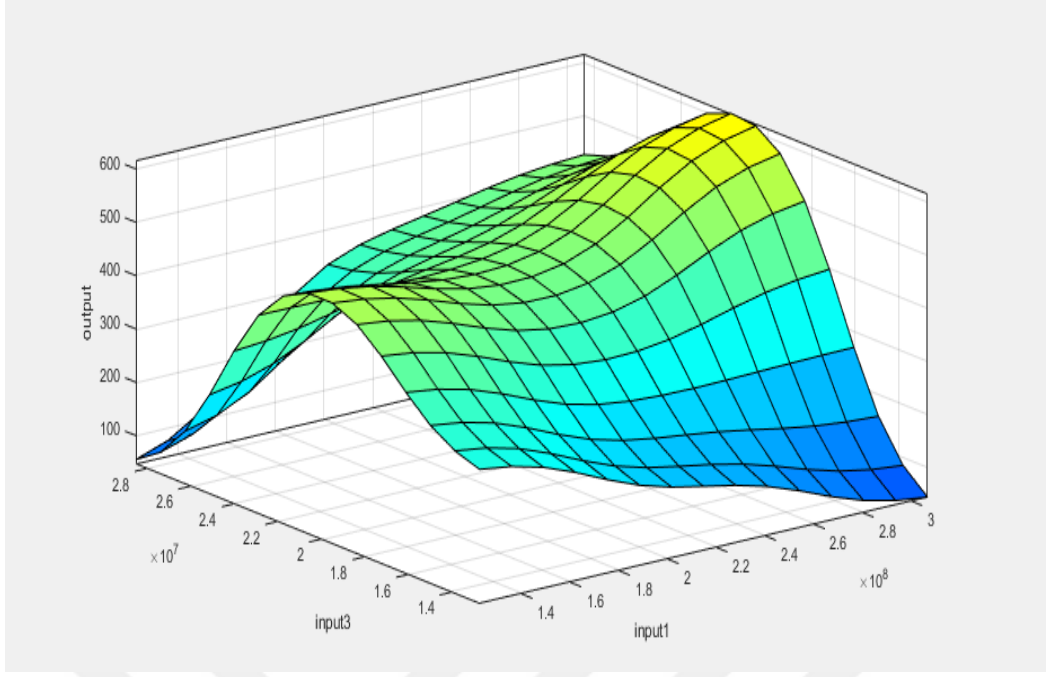
Şekil 3.13. CO2 Emisyonu ve Elektrik, Kara Taşıtları İlişkisi



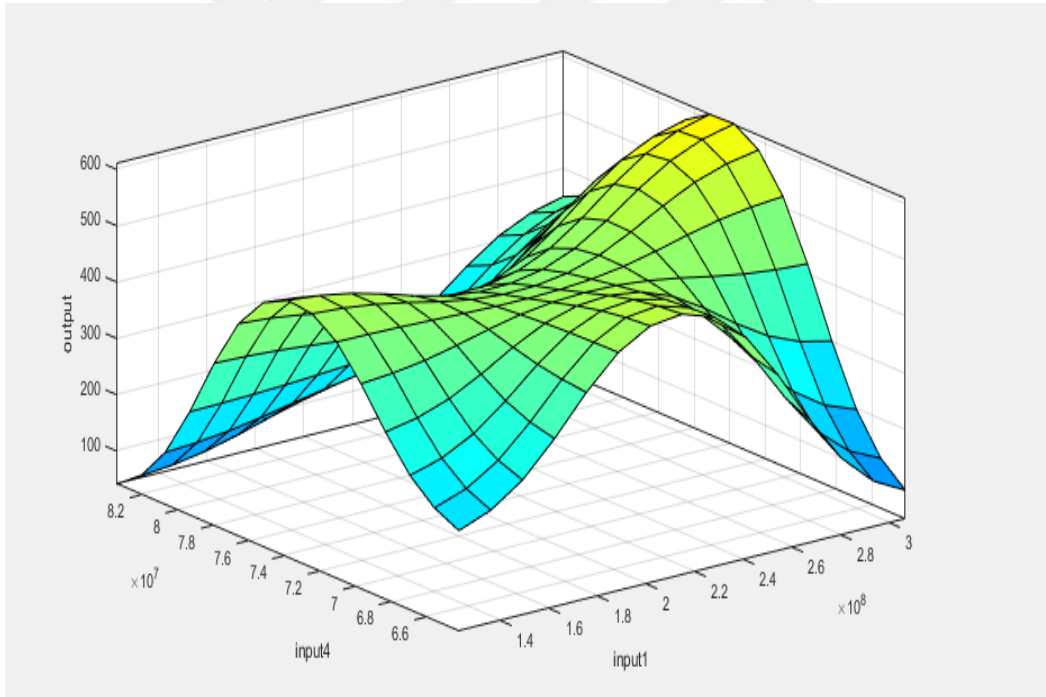
Şekil 3.14. CO2 Emisyonu ve İhracat, Nüfus İlişkisi



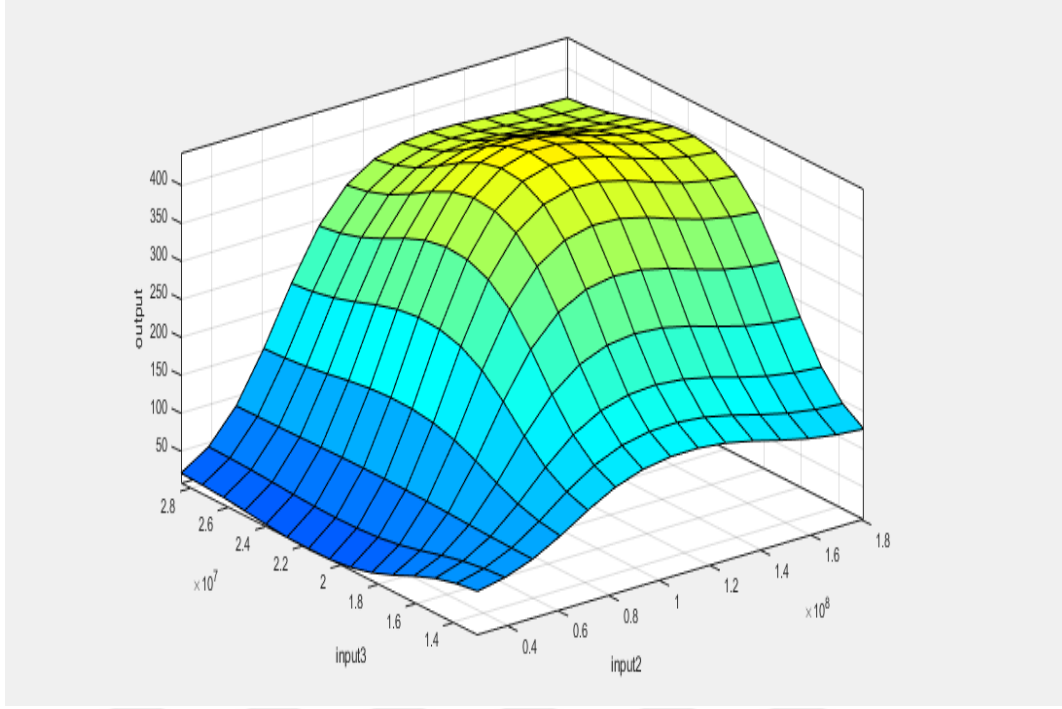
Şekil 3.15. CO2 Emisyonu ve Akaryakıt, Kara Taşıtları İlişkisi



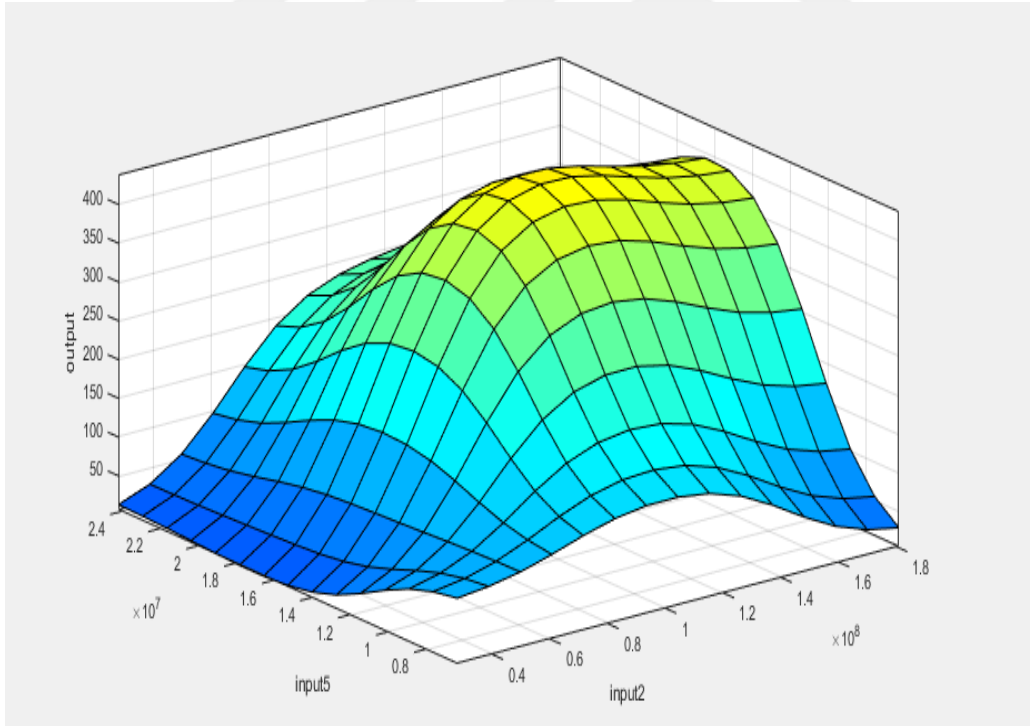
Şekil 3.16. CO2 Emisyonu ve Elektrik, Akaryakıt İlişkisi



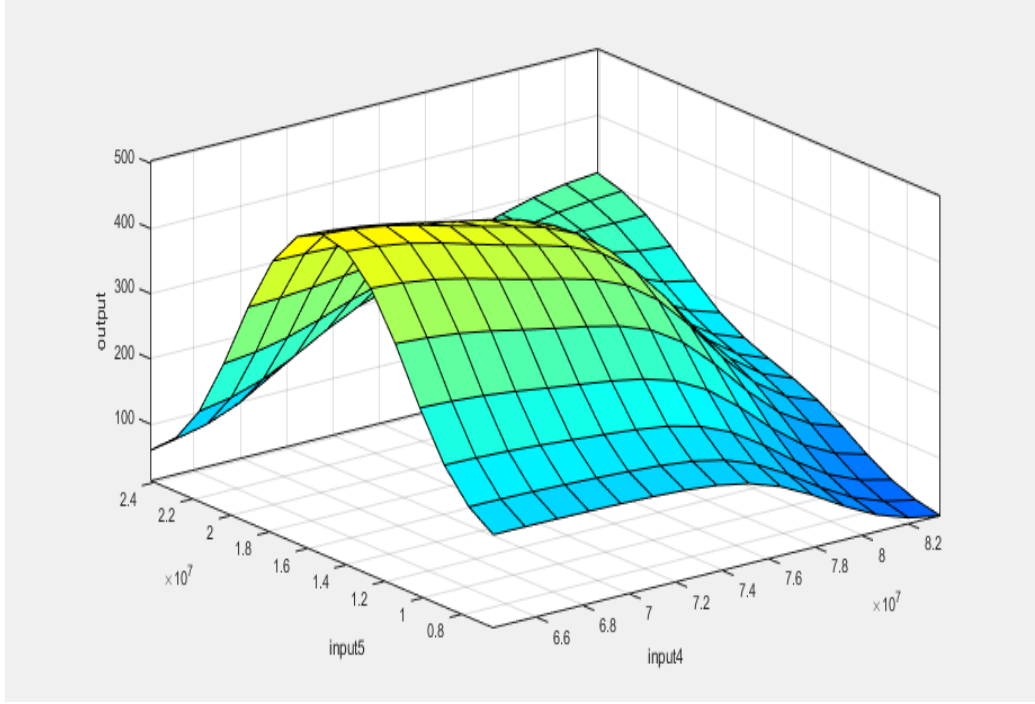
Şekil 3.17. CO2 Emisyonu ve Elektrik, Nüfus İlişkisi



Şekil 3.18. CO2 Emisyonu İhracat, Akaryakıt İlişkisi



Şekil 3.19. CO2 Emisyonu İhracat, Kara Taşıtları İlişkisi



Şekil 3.20. CO2 Emisyonu Nüfus, Kara Taşıtları İlişkisi

Tablo 3.6, bu farklı tahmin modellerinin sonuçlarını ve performans ölçümlerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Parametreler (p1, p7, p10, p15, p24) kullanılarak yapılan analizlerde, Gbellmf ve Gaussmf üyelik fonksiyonları ile eğitilen ANFIS modellerinin, regresyon modeline göre daha düşük hata değerlerine ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 3.6. ANFIS tahmin modeli ve Regresyon Tahmin analizlerinin karşılaştırılması

PARAMETRELER	TAHMİN MODELİ	R^2	MSE	RMSE
p1,p7,p10,p15,p24	Gbellmf	0.9999	0.271	0.520
p1,p7,p10,p15,p24	Gaussmf	0.9995	4.644	2.155
p1,p7,p10,p15,p24	Regresyon	0.9969	22.932	4.7887

Tablodaki verilere dayanarak, Gbellmf ve Gaussmf modellerinin regresyon modelinden daha iyi tahminler yaptığı sonucuna varılmıştır. R^2 , MSE ve RMSE metriklerine göre, Gbellmf ve Gaussmf modellerinin daha düşük hata değerlerine ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, Gbellmf ve Gaussmf

modellerinin regresyon modeline kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini göstermektedir.

3.4.3. Senaryoların Oluşturulması ve Gelecek Yıllara Ait tahminlerin Yapılması

ANFIS ile eğitilen parametreler eşliğinde 2022 ve 2030 yılları arasındaki CO2 emisyonu tahmini için ANFIS modelleri kullanılmıştır. Tahminleme yaparken senaryolar geliştirilmiş ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Senaryo 1’de elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında artış oranları belirlenmiştir. Elektrik ve ihracat alanlarında %3.82 ve %4.00 artış öngörülürken, akaryakıt ve nüfus alanlarında sırasıyla %1.50 ve %1.30 artış öngörülmüştür. Kara taşıtları için ise %1.00 artış öngörülmüştür. Senaryo 1’e ait tahminler Tablo.. da sunulmuştur.

Tablo 3.7. Senaryo 1’e ait parametre tahminleri

PARAMETRELER		SENARYO 1
p1	ELEKTRİK	3.82%
p7	İHRACAT	4.00%
p10	AKARYAKIT	1.50%
p15	NÜFUS	1.30%
p24	KARA TAŞITLARI	1.00%

Senaryo 2: Bu senaryo, elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında daha yüksek artış oranlarını içermektedir. Elektrik ve ihracat alanlarında %5.50 ve %6.50 artış öngörülürken, nüfus alanında %2.50’lik bir artış öngörülmüştür. Diğer yandan, akaryakıt ve karataşıtı alanlarında ise %1.50 ve %1.00’lik sabit artış oranları kullanılmıştır.

Tablo 3.8. Senaryo 2’ye ait parametre tahminleri

PARAMETRELER		SENARYO 2
p1	ELEKTRİK	5.50%

p7	İHRACAT	6.50%
p10	AKARYAKIT	1.50%
p15	NÜFUS	2.50%
p24	KARA TAŞITLARI	1.00%

Senaryo 3: Bu senaryoda, elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında farklı artış oranları belirlenmiştir. Elektrik ve ihracat alanlarında %3.82 ve %3.50 artış öngörülürken, akaryakıt ve kara taşıtı alanlarında ise %2.50 ve %3.50 artış öngörülmüştür. Nüfus alanında ise %1.30 artış öngörülmüştür.

Tablo 3.9. Senaryo 3'e ait parametre tahminleri

PARAMETRELER		SENARYO 3
p1	ELEKTRİK	3.82%
p7	İHRACAT	3.50%
p10	AKARYAKIT	2.50%
p15	NÜFUS	1.30%
p24	KARA TAŞITLARI	1.00%

Senaryo 4: Bu son senaryo, diğerlerine benzer şekilde, elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında artış oranlarını içermektedir. Elektrik ve ihracat alanlarında %5.50 ve %6.50 artış öngörülürken, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında ise sırasıyla %2.50, %2.50 ve %3.50 artış öngörülmüştür.

Tablo 3.10. Senaryolar 4'e ait parametre tahminleri

PARAMETRELER		SENARYO 4
p1	ELEKTRİK	5.50%
p7	İHRACAT	6.50%
p10	AKARYAKIT	2.50%
p15	NÜFUS	2.50%
p24	KARA TAŞITLARI	3.50%

3.4.4. Senaryoların Karşılaştırılması

Tablo 3.10’da verilen senaryolar ANFIS’te iki tahmin modeli ile eğitilmiş ve 2022-2030 yılları arası tahminlenen değerler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 1’e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 1
2022	573.9353
2023	580.5596
2024	584.3574
2025	585.2593
2026	583.1846
2027	578.151
2028	570.339
2029	560.1019
2030	547.9296

Tablo 3.12. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 2’ye göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 2
2022	577.2735
2023	581.8291
2024	576.9678
2025	562.8393
2026	541.7255
2027	516.9926
2028	491.7267
2029	468.0208

2030	446.9437
------	----------

Tablo 3.13. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 3'e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 3
2022	577.6779
2023	586.1408
2024	590.3719
2025	590.5215
2026	586.6226
2027	578.7957
2028	567.3536
2029	552.8184
2030	535.8724

Tablo 3.14. Gbellmf tahmin modeline ve Senaryo 4'e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 4
2022	577.7154
2023	585.84
2024	589.4781
2025	588.9308
2026	584.2446
2027	575.5018
2028	563.0305
2029	547.4535
2030	529.6063

Tablo 3.15. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 1’e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 1
2022	575.48
2023	582.987
2024	588.133
2025	591.75
2026	594.366
2027	596.309
2028	597.782
2029	598.916
2030	599.8

Tablo 3.16. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 2’ye göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 2
2022	577.809
2023	584.936
2024	589.315
2025	592.373
2026	594.669
2027	596.449
2028	597.845
2029	598.944
2030	599.813

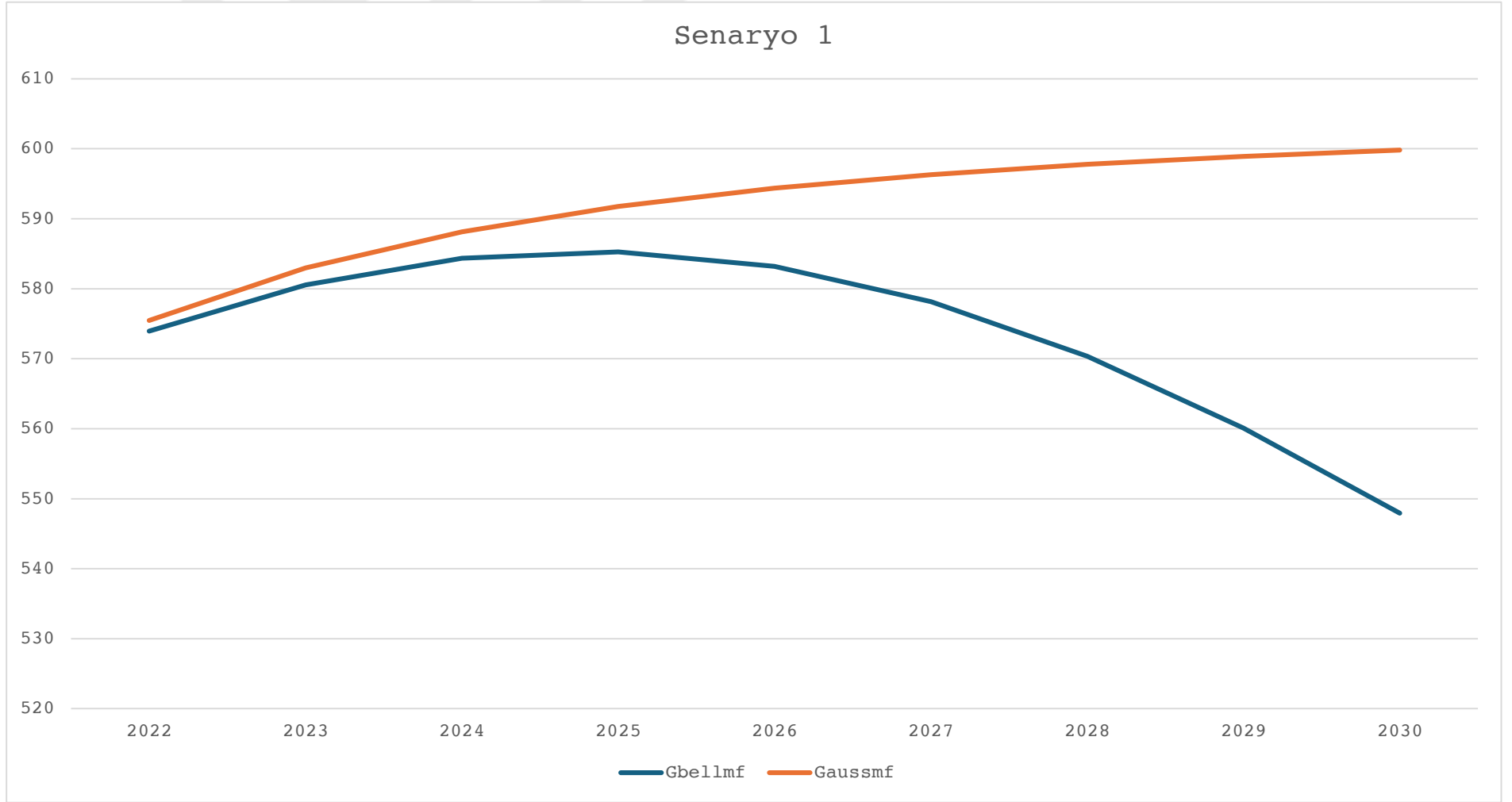
Tablo 3.17. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 3'e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 3
2022	580.343
2023	590.107
2024	595.872
2025	599.191
2026	601.068
2027	602.113
2028	602.687
2029	602.999
2030	603.167

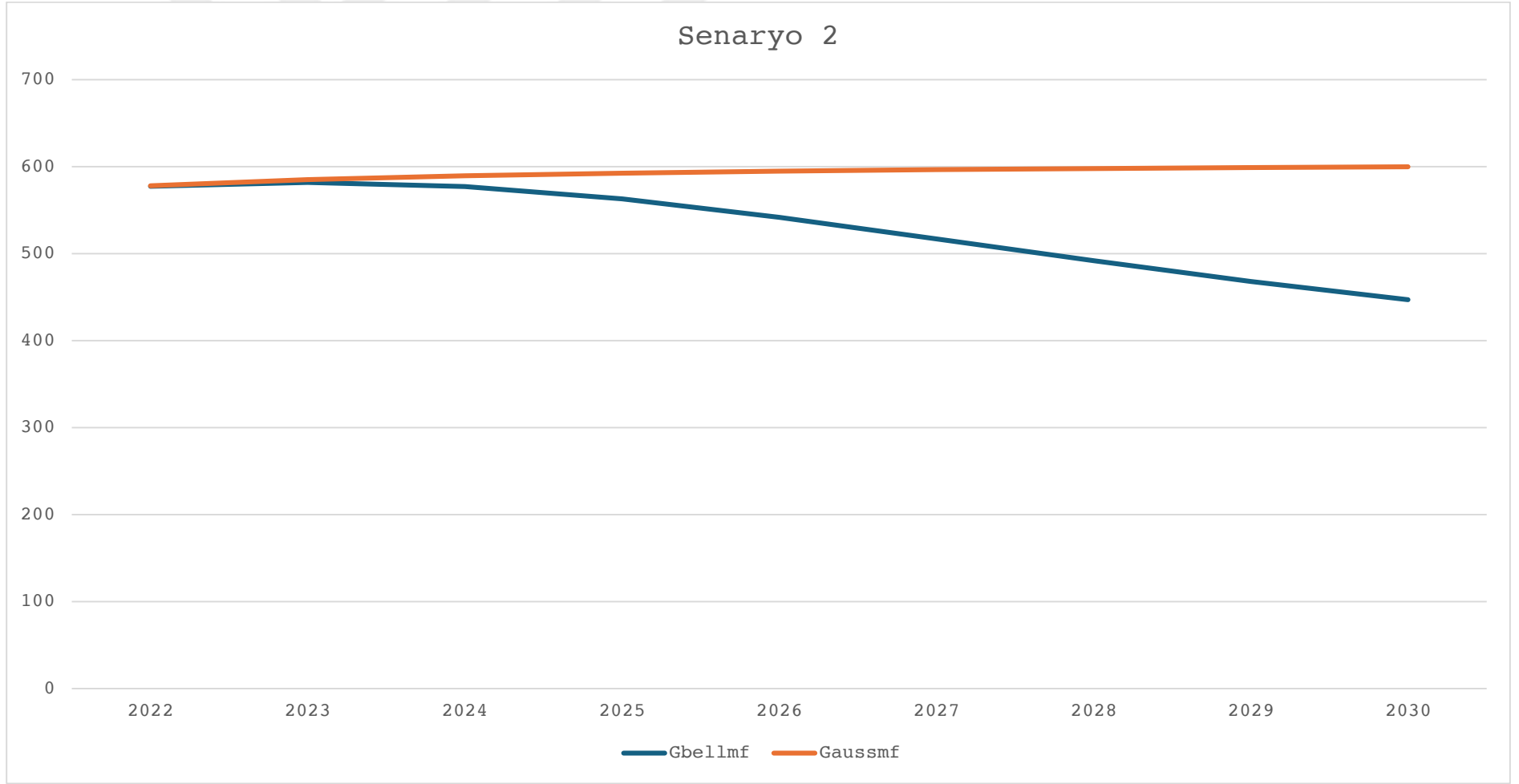
Tablo 3.18. Gaussmf tahmin modeline ve Senaryo 4'e göre 2022-2030 arasında tahminlenen CO2 emisyonları

Yıllar	Senaryo 4
2022	580.326
2023	589.894
2024	595.544
2025	598.862
2026	600.799
2027	601.919
2028	602.559
2029	602.919
2030	603.119

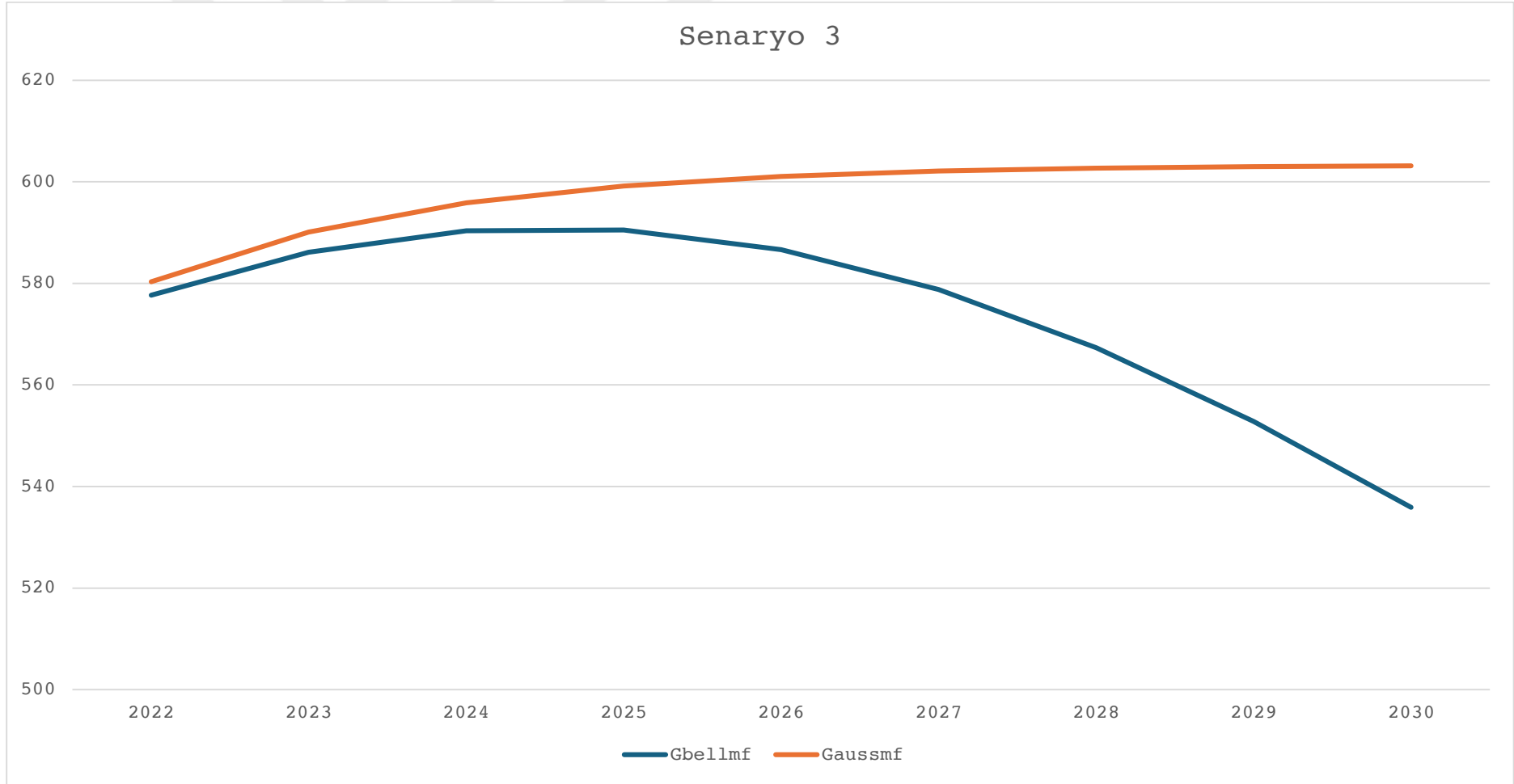
Yukarıdaki tablolarda ANFIS'te iki farklı üyelik fonksiyone ve 4 farklı senaryoya göre 2022 ve 2030 yılları arasındaki Türkiye'deki CO2 Emisyonu miktarları gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerde Senaryolara göre bu modellerin kıyaslanması verilmektedir.



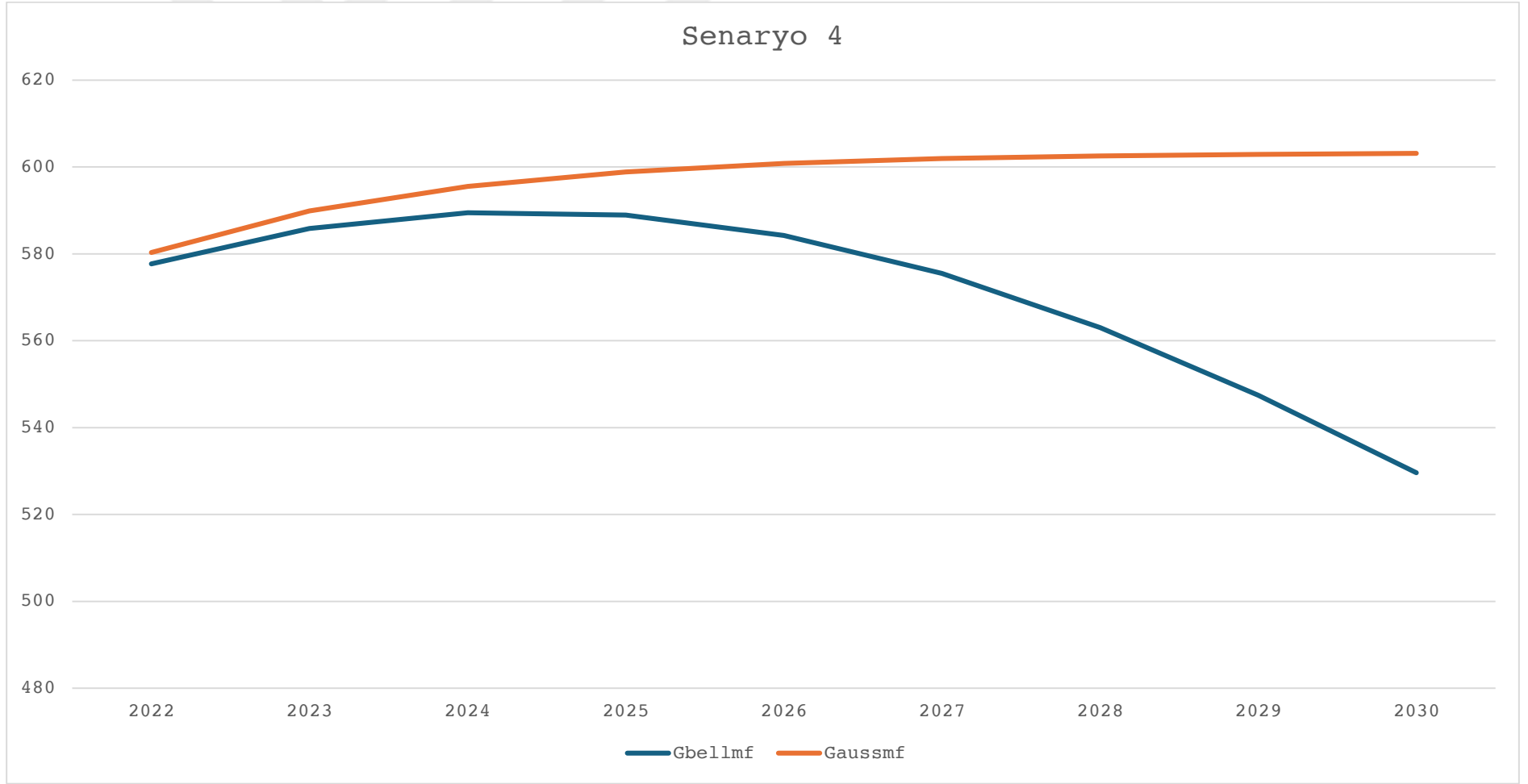
Şekil 3.21. Senaryo 1'e göre modellerin karşılaştırılması



Şekil 3.22. Senaryo 2'ye göre modellerin karşılaştırılması



Şekil 3.23. Senaryo 3'e göre modellerin karşılaştırılması



Şekil 3.24. Senaryo 4'e göre modellerin karşılaştırılması

- 1. Senaryo'ya göre;

GBELLMF: 2022'den 2025'e kadar olan dönemde, GBELLMF modeline göre CO2 emisyonlarında sürekli bir artış trendi gözlemlenmiştir. Ancak, 2026 yılından itibaren emisyonlarda belirgin bir düşüş eğilimi başlamaktadır. Bu düşüş, belirli parametrelerin etkilerinin zamanla azalmasıyla ilişkilendirilebilir.

GaussMF: GaussMF modelinde ise, CO2 emisyonları sürekli bir artış göstermektedir. Bu model, daha istikrarlı ve sürekli bir büyüme eğilimi ortaya koymaktadır.

- 2. Senaryo'ya göre;

GBELLMF: CO2 emisyonlarında 2022'den 2025'e kadar artış, 2026'dan itibaren ise düşüş yaşanıyor. Bu senaryoda daha belirgin bir azalma gözlemlenmiştir.

GaussMF: CO2 emisyonlarında sürekli bir artış gözlenmekte. Bu, daha istikrarlı ve pürüzsüz bir büyüme eğilimi göstermektedir.

- 3. Senaryo'ya göre;

GBELLMF: CO2 emisyonlarında 2022'den 2025'e kadar artış, 2026'dan itibaren azalma yaşanmıştır. Ancak bu azalma daha hafif ve kademeli olarak gözlemlenmiştir.

GaussMF: CO2 emisyonlarında sürekli bir artış gözlenmektedir. Bu, daha istikrarlı ve sürekli bir büyüme eğilimi gösterdiğini işaret etmektedir

3. Senaryo'ya göre;

GBELLMF: CO2 emisyonlarında 2022'den 2025'e kadar artış, 2026'dan itibaren düşüş yaşanmaktadır. Bu düşüş, parametrelerin yüksek artış oranlarına rağmen gözlemlenmiştir.

GaussMF: CO2 emisyonlarında sürekli bir artış gözlenmektedir. Bu, daha istikrarlı ve pürüzsüz bir büyüme eğilimi göstermektedir.

- Model Esnekliği: GBELLMF modeli, parametrelerin etkilerini daha dinamik ve değişken bir şekilde yakalayabiliyor. Bu, özellikle çevresel politikaların etkisini daha hızlı ve belirgin bir şekilde yansıtabilmesi açısından önemlidir.
- Süreklilik ve Denge: GaussMF modeli, daha dengeli ve sürekli bir büyüme eğilimi gösteriyor. Bu, ekonomik ve demografik faktörlerin daha istikrarlı bir şekilde arttığını gösteriyor olabilir.
- Uzun Vadeli Etkiler: GBELLMF modeli, özellikle uzun vadede CO2 emisyonlarında dalgalanmaları daha iyi yansıtabiliyor. Bu, çevresel önlemler ve

teknolojik gelişmelerin etkilerinin zamanla nasıl değişebileceğini daha iyi gösterebilir.

- Kısa Vadeli Tepkiler: GaussMF modeli, kısa vadede daha az dalgalanma gösteriyor, bu da ekonomik ve demografik parametrelerin etkisinin daha pürüzsüz ve istikrarlı olduğunu gösteriyor olabilir.

GBELLMF ve GaussMF modelleri, CO2 emisyonlarının gelecekte nasıl değişebileceğine dair farklı bakış açıları sunmaktadır. GBELLMF modeli, parametrelerin etkilerini daha esnek ve dinamik bir şekilde yansıtabilirken, GaussMF modeli daha istikrarlı ve sürekli bir büyüme eğilimi göstermektedir. Her iki modelin de sağladığı içgörüler, çevresel politikaların ve teknolojik yeniliklerin CO2 emisyonları üzerindeki etkilerini anlamak için değerlidir. GBELLMF modeli, uzun vadede çevresel önlemler ve teknolojik gelişmelerin etkilerini daha iyi yansıtabilirken, GaussMF modeli kısa vadede ekonomik ve demografik değişimlerin daha stabil ve öngörülebilir etkilerini ortaya koymaktadır. Bu modellerin birlikte kullanılması, politika yapıcılar ve araştırmacılar için daha kapsamlı ve dengeli stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

4. BÖLÜM: SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'nin 2022-2030 yılları arasındaki CO₂ emisyonlarını tahmin etmek amacıyla ANFIS yöntemi kullanılmıştır. Literatür analizi sonucunda, CO₂ emisyonlarını etkileyen temel parametreler belirlenmiş ve Türkiye'ye özgü veriler toplanmıştır. Bu parametreler üzerinde yapılan regresyon ve korelasyon analizleri sonucunda, yüksek ilişkili ve anlamlı veriler tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında, farklı üyelik fonksiyonlarına sahip olan alternatif anfis modelleri üretilmiş ve farklı eğitim test oranlarıyla 40 tane alternatifin arasında en düşük hata oranına sahip iki ANFIS modeli seçilmiştir.

Seçilen iki ANFIS modeli üzerinde yapılan testlerde, her iki modelin de CO₂ emisyonlarını tahmin etmede yüksek doğruluk sağladığı görülmüştür. Modellerin performansı, düşük hata oranları ile doğrulanmış olup, her iki model de yüksek güvenilirlik seviyesine sahiptir. 1. model olan Gbellmf üyelik fonksiyonuna sahip modelin MSE değerinin 0.271 ve R² değerinin ise 0.9999 olduğu, 2. Model olan Gaussmf üyelik fonksiyonuna sahip olan modelin MSE değerinin 4.644 ve R² değerinin ise 0.9995 olduğu tespit edilmiştir.

Her iki modelde de dört farklı senaryo çerçevesinde 2022-2030 yılları arasındaki CO₂ emisyonları tahmin edilmiştir. Senaryolar, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ihracat, akaryakıt kullanımı, nüfus artışı ve Kara Taşıtları gibi parametrelerin farklı oranlardaki değişimleri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Senaryo analizlerine göre, 2022-2030 yılları arasında CO₂ emisyonlarının en yüksek olduğu senaryo, ekonomik ve enerji tüketim artışlarının en fazla olduğu Senaryo 4'tür. En düşük CO₂ emisyon artışı ise, ekonomik ve enerji tüketim artışlarının daha sınırlı olduğu Senaryo 2'de görülmüştür. Her iki modelin tahmin sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

Model 1 Sonuçları:

Senaryo 1: CO2 emisyonları 2022’de **573.9353**, 2030’da **547.9296**

Senaryo 2: CO2 emisyonları 2022’de **577.2735**, 2030’da **446.9437**

Senaryo 3: CO2 emisyonları 2022’de **577.6779**, 2030’da **535.8724**

Senaryo 4: CO2 emisyonları 2022’de **577.7154**, 2030’da **529.6063**

Model 2 Sonuçları:

Senaryo 1: CO2 emisyonları 2022’de **575.4798**, 2030’da **599.7999**

Senaryo 2: CO2 emisyonları 2022’de **577.8087**, 2030’da **599.8129**

Senaryo 3: CO2 emisyonları 2022’de **580.3428**, 2030’da **603.1665**

Senaryo 4: CO2 emisyonları 2022’de **580.326**, 2030’da **603.119**

Model 1’in sonuçları, genel olarak CO2 emisyonlarında daha temkinli bir düşüş trendi öngörürken, Model 2’nin sonuçları daha stabil ve artış eğilimindedir. Bu durum, Model 1’in daha hassas parametre değişimleri ile çalıştığını ve belirli koşullarda daha iyimser sonuçlar verdiğini göstermektedir. Model 2 ise, uzun vadede daha gerçekçi ve durağan tahminler sunmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye’nin 2022-2030 yılları arasındaki CO2 emisyonlarını etkileyen faktörleri detaylı bir şekilde analiz ederek çeşitli senaryolar çerçevesinde öngörülerde bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, enerji ve çevre politikalarına yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır. İlk olarak, elektrik tüketimi ve akaryakıt kullanımının CO2 emisyonları üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artırılması gerekmektedir. İkinci olarak, enerji verimliliğinin artırılması hem ekonomik büyüme hem de CO2 emisyonlarını azaltma hedefleri açısından kritik bir rol oynamaktadır. Üçüncü olarak, nüfus artışının CO2 emisyonları üzerindeki etkisi dikkate alınarak, kentsel planlama ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi önemlidir. Son olarak, ihracatın CO2 emisyonları üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak, yeşil üretim teknolojilerinin teşvik edilmesi ve karbon ayak izinin azaltılması hedeflenmelidir. Bu kapsamlı analiz ve öneriler, Türkiye'nin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma çabalarına ve küresel iklim değişikliği ile mücadele stratejilerine katkı sağlayacak niteliktedir.

Bu çalışmanın bulguları, gelecekteki araştırmalar için önemli yönergeler sunmakta ve daha kapsamlı çalışmalar yapılmasını önermektedir. CO2 emisyonlarının yanı sıra diğer sera gazlarının etkilerinin benzer modelleme yöntemleri kullanılarak analiz

edilmesi, farklı ülkeler veya bölgeler için benzer senaryo analizlerinin gerçekleştirilmesi ve bu analizlerin karşılaştırmalı sonuçlarının incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, ekonomik, teknolojik ve politik değişkenlerin daha geniş veri setleri ile modellenmesi yoluyla tahmin sonuçlarının doğruluğunun artırılması önem arz etmektedir.

Bu bağlamda, çalışmanın sunduğu veriler, Türkiye'nin CO2 emisyonlarına ilişkin gelecekteki projeksiyonlar ve enerji politikaları için hayati bilgiler sağlamaktadır. Modellerin doğruluğu ve senaryo analizlerinin çeşitliliği, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma çabalarına ve küresel iklim değişikliği ile mücadele stratejilerine önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışma, özellikle Türkiye özelinde olmak üzere, küresel düzeyde de iklim politikalarının geliştirilmesine ve uygulanmasına yönelik bilimsel temelli stratejik planlamaların yapılmasına zemin hazırlamaktadır.

5. KAYNAKÇA

- [1] Arı, A., Zeren, F., 2011. CO2 emisyonu ve ekonomik büyüme: panel veri analizi. **Yönetim ve Ekonomi Dergisi**, 18 (2), s.37-47
- [2] Sel, A., Tekgün, B., 2022. ANFIS yöntemi ile türkiye karbondioksit salınım tahmini. **Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi**, 13 (34):486-504.
- [3] Mardani, A., Streimikiene, D., Nilashi, M., Arias Aranda, D., Loganathan, N., Jusoh, A., 2018. Energy consumption, economic growth, and CO2 emissions in G20 countries: application of adaptive neuro-fuzzy inference system. **Energies**, 11(10):2771.
- [4] Karaboga, D., Kaya, E., 2020. Estimation of number of foreign visitors with ANFIS by using ABC algorithm. **Soft Computing**, 24(10):7579-7591.
- [5] Bayramoğlu, T., Pabuçcu, H., Boz, F.Ç., 2017. Türkiye için ANFIS modeli ile birincil enerji talep tahmini. **Ege Akademik Bakış**, 17(3):431-445.
- [6] Koçak, S., The effect of internet use on CO2 emissions: The case of Turkey, pp 451-503 February 24-25, 2022 Ankara, Turkey **Baskent International Conference On Multidisciplinary Studies**.
- [7] Sarıtaş, T., Akar, G., 2022. Turizmin CO2 emisyonuna etkisi: Panel veri analizi. **Ekonomi Maliye İşletme Dergisi**, 5(1): 104-117.
- [8] Güler, E., Kandemir, S. Y., 2022. Lineer ve kübik regresyon analizleri kullanılarak OECD ülkelerinin CO2 emisyonlarının tahminlemesi. **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 34, 175-180.
- [9] Pabuçcu, H., Bayramoğlu, T., 2016. Yapay sinir ağları ile CO2 emisyonu tahmini: Türkiye örneği. **Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 18(3): 762-778.
- [10] Bozkurt, C., Okumuş, İ., 2015. Türkiye’de ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari serbestleşme ve nüfus yoğunluğunun CO2 emisyonu üzerindeki etkileri: Yapısal kırılmalı eşbütünleşme analizi. **Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 12(32): 23-35.

- [11] Jeong, Y. S., Lee, S. E., Huh, J. H., 2012. Estimation of CO₂ emission of apartment buildings due to major construction materials in the Republic of Korea. **Energy and Buildings**, **49**: 437-442.
- [12] Sun, J., Peng, H., Chen, J., Wang, X., Wei, M., Li, W., Mellouki, A., 2016. An estimation of CO₂ emission via agricultural crop residue open field burning in China from 1996 to 2013. **Journal of Cleaner Production**, **112**: 2625-2631.
- [13] Bengochea-Morancho, A., Higón-Tamarit, F., Martínez-Zarzoso, I., 2001. Economic growth and CO₂ emissions in the European Union. **Environmental and Resource Economics**, **19**: 165-172.
- [14] George, A., & Ioana, U. C., 2007. Forecasting tourism demand using ANFIS for assuaring successful strategies in the view of sustainable development in the tourism sector. **In Proceedings of the 2nd IASME/WSEAS International Conference on Energy & Environment (EE'07)**, Portoroz, Slovenia. pp. 212-217.
- [15] Harandizadeh, H., Toufigh, M. M., Toufigh, V., 2019. Application of improved ANFIS approaches to estimate bearing capacity of piles. **Soft Computing**, **23**: 9537-9549.
- [16] Ho, W. H., Chen, J. X., Lee, I. N., Su, H. C., 2011. An ANFIS-based model for predicting adequacy of vancomycin regimen using improved genetic algorithm. **Expert Systems with Applications**, **38**(10): 13050-13056.
- [17] Roy, S., Das, A. K., Bhadouria, V. S., Mallik, S. R., Banerjee, R., Bose, P. K., 2015. Adaptive-neuro fuzzy inference system (ANFIS) based prediction of performance and emission parameters of a CRDI assisted diesel engine under CNG dual-fuel operation. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, **27**: 274-283.
- [18] Yazar, I., Şöhret, Y., Karakoç, T. H., 2017. ANFIS-based comparative exhaust gases emissions prediction model of a military aircraft engine. **International Journal of Global Warming**, **12**(1): 116-128.

- [19] Suleymani, M., Bemani, A., 2018. Application of ANFIS-PSO algorithm as a novel method for estimation of higher heating value of biomass. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, **40**(3): 288-293.
- [20] Pusat, S., Akkoyunlu, M. T., Pekel, E., Akkoyunlu, M. C., Özkan, C., & Kara, S. S., Estimation of coal moisture content in convective drying process using ANFIS. *Fuel processing technology*, *147*, 12-17, 2016.
- [21] Hieu, N. T., Le Thanh, H., Anh, B. T. M., 2023. Scrutinizing time-varying interlinkages between digitalization, green technologies, CO2 emission, and energy productivity in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, **137581**.
- [22] Nassef, A. M., Olabi, A. G., Rezk, H., Abdelkareem, M. A. 2023. Application of Artificial Intelligence to Predict CO2 Emissions: Critical Step towards Sustainable Environment. **Sustainability**, **15**(9): 7648.
- [23] Acheampong, A. O., Boateng, E. B., 2019. Modelling carbon emission intensity: Application of artificial neural network. **Journal of Cleaner Production**, **225**: 833-856.
- [24] Yeasmin, S., Syed, S. N. J., Shmais, L. A., & Al Dubayyan, R., 2020, November. Artificial Intelligence-based CO2 Emission Predictive Analysis System. **In 2020 International Conference on Artificial Intelligence & Modern Assistive Technology (ICAEMAT): 1-6**.
- [25] Delanoë, P., Tchunte, D., Colin, G. 2023. Method and evaluations of the effective gain of artificial intelligence models for reducing CO2 emissions. **Journal of Environmental Management**, **331**, 117261.
- [26] Xu, G., Schwarz, P., Yang, H. 2019. Determining China's CO2 emissions peak with a dynamic nonlinear artificial neural network approach and scenario analysis. **Energy Policy**, **128**: 752-762.
- [27] Meng, Y., Noman, H. 2022. Predicting CO2 Emission Footprint Using AI through Machine Learning. **Atmosphere**, **13**(11): 1871

- [28] Alam, T., AlArjani, A. 2021. A comparative study of CO2 emission forecasting in the gulf countries using autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and holt-winters exponential smoothing models. **Advances in Meteorology**, 2021: 1-9.
- [29] Palconit, M. G. B., Conception II, R. S., Alejandrino, J. D., Nuñez, W. A., Bandala, A. A., Dadios, E. P., 2021, September. Comparative ANFIS Models for Stochastic On-road Vehicle CO 2 Emission using Grid Partitioning, Subtractive, and Fuzzy C-means Clustering. **In 2021 IEEE 9th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC) (pp. 1-6). IEEE.**
- [30] Soroush, E., Mesbah, M., Hajilary, N., Rezakazemi, M., 2019. ANFIS modeling for prediction of CO2 solubility in potassium and sodium based amino acid Salt solutions. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 7(1), 102925.
- [31] Agha, S. A., Balik, H. H., 2023, June. The application of ANFIS to prediction of the amount of emissions from an emitter activity to reduce climate change. **In 2023 International Conference on Engineering, Science and Advanced Technology (ICESAT) (pp. 187-192). IEEE.**
- [32] Arévalo, P., Cano, A., Jurado, F. 2024. Large-scale integration of renewable energies by 2050 through demand prediction with ANFIS, Ecuador case study. **Energy**, 286, 129446.
- [33] Enerji Atlası. (2023). Türkiye Elektrik Tüketimi. <https://www.enerjiatlasi.com/>. (Erişim tarihi: 2024-02-13).
- [34] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). Aralık 2023 Dış Ticaret İstatistikleri. <https://www.tuik.gov.tr/>. <https://ticaret.gov.tr/istatistikler/dis-ticaret-istatistikleri>. (Erişim tarihi: 2024-02-13).
- [35] Petrol İhracatçıları Birliği (PETDER). (2023). Aralık 2023 Akaryakıt Satış İstatistikleri. Petrolleri İhracatçıları Birliği. <https://www.petder.org.tr/>. (Erişim tarihi: 2024-02-13).

[36] Dünya Bankası. (2023). Türkiye Nüfus Sayıları. Dünya Bankası Veri Bankası. <https://data.worldbank.org/>. (Erişim tarihi: 2024-02-13).

[37] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). Ocak 2023 Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Ta%C5%9F%C4%B1tlar%C4%B1-Ocak-2023-49433&dil=1>. (Erişim tarihi: 2024-02-13).

[38] T.C. Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990-2021. [Web sitesi]. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>. (Erişim tarihi: 2024-02-13).

