

## Türkiye'nin CO<sub>2</sub> Emisyonunun Anfis ile Tahmin Edilmesi

Oğuzhan Ahmet ARIK<sup>1\*</sup>, Eda HAMAMCIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye; ORCID: 0000-0002-7088-2104

<sup>2</sup>2nci Hava Bakım Fabrika Müdürlüğü, Kayseri, Türkiye; ORCID: 0000-0002-3317-4416

\* Corresponding Author: [oguzhanahmet@erciyes.edu.tr](mailto:oguzhanahmet@erciyes.edu.tr)

Received: 9 September 2024; Accepted: 19 December 2024

**Reference/Atf:** O. A. Arık and E. Hamamcıoğlu, “Türkiye'nin CO<sub>2</sub> Emisyonunun Anfis ile Tahmin Edilmesi”, Researcher, vol. 04, no. 02, pp. 141–156, 2024.

### Özet



CO<sub>2</sub> emisyonu, karbon dioksit gazının atmosfere salınması anlamına gelmekte ve fosil yakıtların yanması, endüstriyel süreçler, ormansızlaşma ve tarım gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Artan CO<sub>2</sub> seviyeleri, sera etkisi yaratarak dünya genelinde iklim değişikliğine neden olmaktadır. Türkiye hem ulusal hem de uluslararası düzeyde çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle mücadele konusunda kararlı bir tutum sergilemektedir. Bu bağlamda, Türkiye 2020-2030 dönemi için belirlediği Ulusal Belirlenmiş Katkı (NDC) ile 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 2005 seviyelerine göre %21 oranında azaltmayı hedeflemiştir. Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltma stratejileri arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin teşvik edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması, sanayi sektöründe temiz teknolojilere geçiş, ulaşımda elektrikli araçların ve toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması ve tarımda sürdürülebilir uygulamaların desteklenmesi bulunmaktadır. Paris Anlaşması çerçevesinde Türkiye, küresel sıcaklık artışını 2 derece altında tutmayı ve mümkünse 1.5 dereceyle sınırlamayı hedefleyen taahhütlerde bulunmuştur. Bu çalışma, Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarını tahmin etmeyi amaçlamakta ve bu konuda önemli bir boşluğu doldurmaktadır. ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) yöntemi kullanılarak yapılan bu araştırma, Türkiye'nin geçmiş CO<sub>2</sub> emisyon verilerini analiz ederek gelecekteki emisyon trendlerini tahmin etmeyi hedeflemektedir. Elde edilen sonuçlar, sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin oluşturulmasında, enerji politikalarının şekillendirilmesinde ve çevresel etki değerlendirmelerinde önemli bir rehberlik sağlayabilir. Ayrıca, ANFIS modelinin CO<sub>2</sub> emisyon tahminindeki başarısı, benzer çalışmalara ilham kaynağı olabilir ve bu alandaki gelecekteki araştırmalara önemli katkılar sunabilir. Bu çalışma, Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltma çabalarının ve ANFIS yöntemiyle yapılan tahmin çalışmalarının önemini vurgulamakta, aynı zamanda Paris Anlaşması'nın taahhütlerine uyum sağlamaya yönelik stratejilerini detaylandırmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** CO<sub>2</sub> emisyonu, ANFIS, Regresyon Analizi, Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Tahmin, Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji

### Abstract

CO<sub>2</sub> emissions refer to the release of carbon dioxide gas into the atmosphere, primarily resulting from human activities such as the burning of fossil fuels (coal, oil, natural gas), industrial processes, deforestation, and agriculture. Increasing CO<sub>2</sub> levels create a greenhouse effect, leading to global climate change. Turkey is committed to environmental sustainability and combating climate change on both national and international levels. In this context, Turkey has set a Nationally Determined Contribution (NDC) for the 2020-2030 period, aiming to reduce greenhouse gas emissions by 21% compared to 2005 levels by 2030. Turkey's strategies to reduce CO<sub>2</sub> emissions include promoting the transition to renewable energy sources, enhancing energy efficiency, adopting clean technologies in the industrial sector, expanding the use of electric vehicles and public transportation, and supporting sustainable agricultural practices. Under the Paris Agreement, Turkey has committed to limiting global temperature rise to well below 2 degrees Celsius above pre-industrial levels, and to pursue efforts to limit the increase to 1.5 degrees Celsius. This study aims to fill a significant gap by forecasting Turkey's CO<sub>2</sub> emissions using the ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) method. By analyzing Turkey's historical CO<sub>2</sub> emission data, this research seeks to predict future emission trends. The results can provide crucial guidance for forming sustainable development strategies, shaping energy policies, and conducting environmental impact assessments. Additionally, the success of the ANFIS model in CO<sub>2</sub> emission forecasting can inspire similar studies and contribute significantly to future research in this field. This study emphasizes Turkey's efforts to reduce CO<sub>2</sub> emissions and the importance of forecasting studies using the ANFIS method, while detailing strategies to comply with the commitments of the Paris Agreement.

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

## 1. Giriş

CO2 emisyonu, karbon dioksit gazının atmosfere salınması anlamına gelmekte ve fosil yakıtların yanması, endüstriyel süreçler, ormansızlaşma ve tarım gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Artan CO2 seviyeleri, sera etkisi yaratarak iklim değişikliğine yol açmakta ve ekstrem hava olayları, deniz seviyesinde yükselme ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi sorunlara neden olmaktadır. Türkiye, ulusal ve uluslararası düzeyde çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle mücadele konusunda kararlıdır. 2020-2030 dönemi için belirlenen Ulusal Belirlenmiş Katkı (NDC) kapsamında, Türkiye 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 2005 seviyelerine göre %21 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu hedeflere ulaşmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, enerji verimliliği, temiz teknolojiler, elektrikli araçlar ve sürdürülebilir tarım uygulamaları gibi stratejiler benimsenmektedir.

Bu çalışma, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) yöntemiyle tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Geçmiş CO2 emisyon verilerini analiz ederek gelecekteki trendleri öngörmek, sürdürülebilir kalkınma stratejileri ve enerji politikalarının şekillendirilmesinde önemli bir rehber sağlayacaktır. ANFIS modelinin başarısı, benzer araştırmalar için ilham kaynağı olabilir ve bu alanda gelecekteki çalışmalara önemli katkılar sunabilir. Analiz bu kapsamda, Türkiye'nin geçmiş CO2 emisyonlarını azaltma çabalarını ve ANFIS yöntemiyle yapılan tahmin çalışmalarının önemini vurgulamaktadır.

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, bulguların odak noktası, bulanık mantık teorisi temelli bir yapay zekâ yöntemi olan Adaptif Sinirsel Bulanık İnfirans 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 [1] karbon emisyonları ile kişi başına gelir arasındaki bağlantıyı inceleyerek Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) teorisini sınamışlardır. Çalışmada, karbon emisyonları ile kişi başına gelir arasında ters-U şeklinde bir ilişki olduğu ortaya koyulmuştur. Ayrıca, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketiminin CO2 emisyonlarını pozitif yönde etkilediği bulunmuştur. Sel ve Tekgün [2] küresel ölçekte yaşanan yoğun sanayileşme, hızlı nüfus artışı, bilinçsiz enerji tüketimi ve yüksek enerji talebinin CO2 emisyonlarını artırdığı belirtmiştir. Çalışmada, CO2 salınımı tahmininde ANFIS yöntemi kullanılmış ve Kyoto Protokolü ile Paris İklim Anlaşması çerçevesinde değerlendirilmiştir. Mardani vd. [3] Dünya Kalkınma Göstergeleri veri setleri üzerinde yapılan deneysel analizler ile, ANFIS modelinin enerji tüketimi ve ekonomik büyüme temelinde CO2 emisyonlarını başarılı bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir. ANFIS modeli, G20 ülkelerinde enerji tüketimi, CO2 ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Karaboğa ve Kaya [4], ANFIS'in eğitimi için ABC algoritması kullanmıştır ve bulgularında, Türkiye'ye gelen yabancı ziyaretçi sayısını tahmin etmede başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bayramoğlu vd. [5] Türkiye'nin 2016-2030 dönemindeki enerji talebini belirlemek amacıyla ANFIS yöntemi kullanılmıştır. Türkiye'nin gelecekteki enerji talebinde önemli bir artış olabileceği öngörülmüştür. Koçak [6] Türkiye örneğinde internet kullanımının CO2 emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. İnternet kullanımının hem kısa hem de uzun vadede CO2 emisyonlarını olumlu yönde etkilediği bulunmuştur. Sarıtaş ve Akar [7] turizmin karbon emisyonlarına etkisini panel veri analizi ile incelemiştir. Çalışmalarında turizmin karbon salınımını pozitif yönde etkilediği bulunmuştur. Güler ve Kandemir [8] OECD ülkelerinin CO2 emisyon değerlerini kullanarak tahmin analizi gerçekleştirmişlerdir ve Kübik regresyon analizi kullanılarak daha güvenilir sonuçlar elde etmişlerdir. Pabuççu ve Bayramoğlu [9], Türkiye ve AB-28 ülkelerinin sera gazı salım değerlerini

tahmin etmek için YSA modeli kullanılmıştır. Türkiye'nin 2030 yılı için Paris İklim Zirvesi'nde taahhüt ettiği salınım miktarını aşacağı bulunmuştur. Bozkurt ve Okumuş [10] Türkiye'de EKC hipotezini sınamak amacıyla CO2 emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticaret açıklığı oranı ve nüfus yoğunluğu arasındaki uzun vadeli ilişkiyi analiz etmişlerdir. Analiz sonucunda, ekonomik büyümenin CO2 emisyonunu artırdığı bulunmuştur. Jeong vd. [11] inşaat sırasında tüketilen malzemeler nedeniyle apartman ünitelerinden yayılan CO2 emisyonlarını incelemişlerdir. İnşaat malzemelerinin CO2 emisyonları üzerinde önemli etkileri olduğu bulunmuştur. Sun vd. [12] tarım atığı yakılmasından kaynaklanan CO2 emisyonlarını hesaplamışlardır. Anız yakmanın önemli bir CO2 emisyon kaynağı olduğu bulunmuştur. Bengochea vd. [13] Avrupa Birliği'nde ekonomik büyüme ile CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Emisyonları kontrol etmek için her AB üyesi devletin özel ekonomik durumu ve sanayi yapısı göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir. George ve Ioana [14] Yapay Sinir Ağları ve bulanık mantık tekniklerini kullanarak turizm talebini tahmin etmişlerdir. Modelin performansı klasik istatistiksel ölçülerle değerlendirilmiştir. Harandizadeh vd. [15] farklı toprak türlerinde derin temel taşıma kapasitesini tahmin etmek için iki geliştirilmiş ANFIS tekniği kullanmışlardır. ANFIS modelleri, çoklu regresyon denklemlerine kıyasla daha yüksek hassasiyet göstermiştir. Ho vd. [16] hibrit Taguchi-genetik algoritması (HTGA) ile donatılmış bir ANFIS modeli kullanarak tıbbi bir rejimin uygunluğunu tahmin etmişlerdir. HTGA tabanlı ANFIS modelinin tahmin doğruluğu yüksektir. Roy vd. [17] CRDI destekli dizel motorun CNG çift yakıtlı operasyon altındaki performans ve emisyon parametrelerini tahmin etmek için ANFIS tabanlı model geliştirmişlerdir. Model, yüksek doğrulukla deneysel verilerle eşleşmiştir. Yazar vd. [18] askeri uçak motorları için egzoz gazı emisyonlarını tahmin etmek için ANFIS yapısını kullanmışlardır. ANFIS'in tahmin hata değerleri düşüktür ve eğitim süresi kısadır. Suleymani ve Bemani [19] biyokütlelerin yüksek ısı değerini tahmin etmek için ANFIS yöntemini kullanmışlardır. ANFIS-parçacık sürü optimizasyonunun, HHV'nin tahmin edilmesinde yüksek performans gösterdiği bulunmuştur. Pusat vd. [20] kurutma işlemi sırasında kömür nem içeriğini tahmin etmek için ANFIS yöntemi kullanmışlardır. ANFIS ağı, kömür kurutma işleminde oldukça tatmin edici sonuçlar elde etmiştir. Thanh vd. [21] İnternet kullanıcıları ve mobil hücresel aboneliklerin dijitalleşme, yeşil teknoloji, CO2 emisyonları ve enerji verimliliği arasındaki bağlantıları araştırmışlardır. İnternet kullanıcılarının dijitalleşme üzerinde etkisi büyüktür. Nassef vd. [22] Suudi Arabistan'ın CO2 emisyonlarını tahmin etmek için yapay zekâ araçlarını kullanmışlardır. LSTM modeli en yüksek doğruluğu göstermiştir. Acheampong ve Boateng [23] Avustralya, Brezilya, Çin, Hindistan ve ABD için karbon emisyon yoğunluğunu tahmin etmek amacıyla YSA kullanmışlardır. YSA modelleri yüksek doğruluk göstermiştir. Yeasmin vd. [24] yapay zekanın akıllı şehirlerde CO2 emisyonlarını öngören bir analiz sunmuşlardır. Delanoë vd. [25] dijital teknolojilerin ve yapay zekâ modellerinin CO2 emisyonlarını azaltmaya yönelik çözümleri optimize etmedeki rolünü incelemişlerdir. Yapay zekâ modelleri, bazı durumlarda negatif etkilerin pozitif etkilerden yüksek olabileceğini göstermiştir. Xu vd. [26], Çin'in CO2 emisyonlarının zirve yapma zamanını tahmin etmek için NARX modelini kullanarak 2029, 2031 veya 2035'i öngörmüştür. Meng ve Noman [27], endüstriyel faaliyetlerin CO2 salınımına etkisini ele alarak COVID-19'un etkisiyle ilgili analiz yapmışlardır. Alam ve AlArjani [28], Körfez ülkelerinde CO2 emisyonlarını tahmin etmek için farklı modelleme tekniklerini karşılaştırmışlardır. Palconit vd. [29], karayolu taşıtlarının CO2 emisyonlarını ANFIS modeli ile tahmin etmeye çalışmıştır. Soroush vd. [30], amino asitlerin CO2 yakalama süreçlerindeki potansiyelini incelemiş ve ANFIS modeli geliştirmiştir. Abdlwahaab ve Balik [31], Kanada'da motor özelliklerine dayalı bir ANFIS modeli kullanarak CO2 emisyonlarını analiz etmiştir. Cano ve Jurado [32], Ekvador'un elektrik sistemini optimize ederek yenilenebilir enerji entegrasyonu üzerine çalışmışlardır.

Adaptif Sinirsel Bulanık İnfersans Sistemi (ANFIS), CO2 emisyonlarının tahmin edilmesi konusunda oldukça etkili bir araçtır. ANFIS, farklı veri setlerinde yüksek doğruluk oranları ile tahmin yapabileceğine sahip olup, özellikle enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve çevresel değişkenler gibi faktörler göz önüne alındığında başarılı sonuçlar elde etmektedir. Bu bağlamda, ANFIS'in CO2 emisyonlarının gelecekteki seviyelerini tahmin etmek için kullanılabilir bir güçlü yöntem olduğu söylenebilir.

## 2. 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.

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

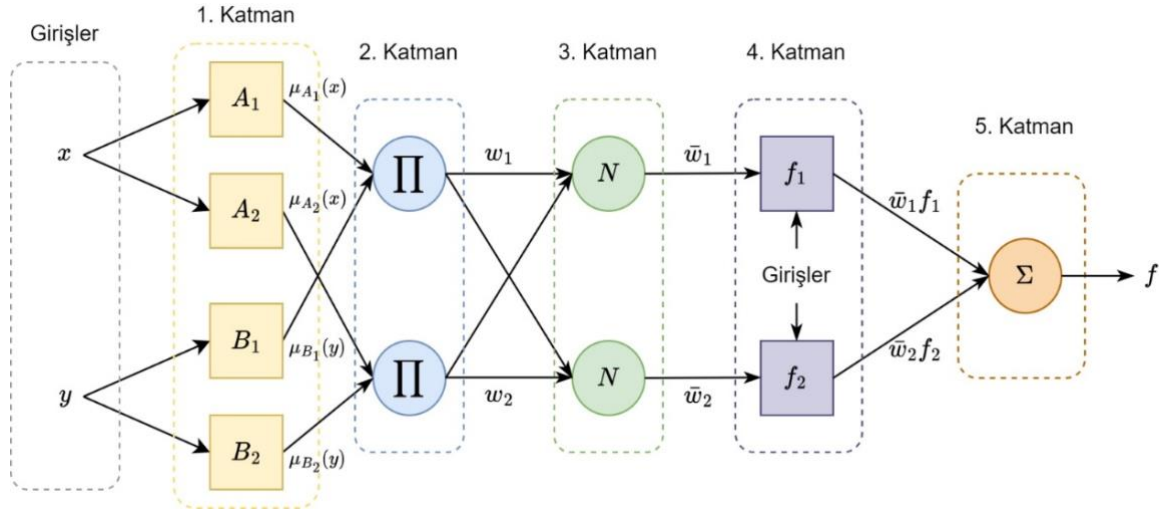
$C_i$  ve  $D_i$ , bulanık mantık sistemlerinde kullanılan girdi değişkenlerinin bulanık alt kümelerini ifade eder. Bu alt kümeler, girdilerin belirli bir kategoride olma derecesini tanımlar.  $p_i$ ,  $q_i$  ve  $r_i$  ise bulanık mantık kurallarının belirlenmesinde rol oynayan tasarım parametreleridir. 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, Eşitlik (1) girdi değişkenlerinin sistem çıkışına olan katkısını belirlemek için temel bir araçtır ve sistemin nasıl çalıştığını anlamak için önemlidir.

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

Verilen iki bulanık kurala dayalı olarak, birinci derece bulanık Sugeno modeli için önerilen ANFIS mimarisi Şekil 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 çıktılarının 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.



Şekil 1: ANFIS Katman Yapısı (ANFIS Layer Structure)

### 3. Tahmin Parametrelerinin Seçimi

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 Dağıtım:** 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 Tablo 1'de verildiği gibi sıralanmıştır. Tablo 1'de sunulan CO2 emisyonunu etkileyen kriterler için Türkiye'nin 2000 ile 2021 arasındaki verileri kullanılarak, Spearman korelasyon katsayıları ve regresyon analizi katsayıları hesaplanmış ve bu sonuçlar yine Tablo 1'de

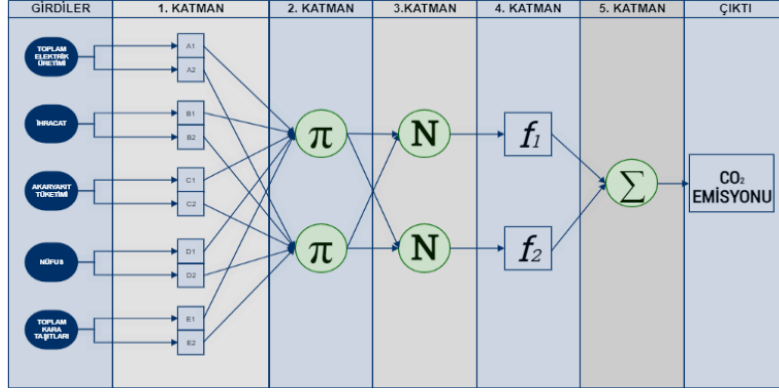
sunulmuştur. Bu analiz, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını etkileyen faktörlerin arasındaki ilişkileri anlamak için yapılmıştır.

Tablo 1: CO2 Emisyonunu Etkileyen Faktörlerin Korelasyon ve Regresyon Katsayıları

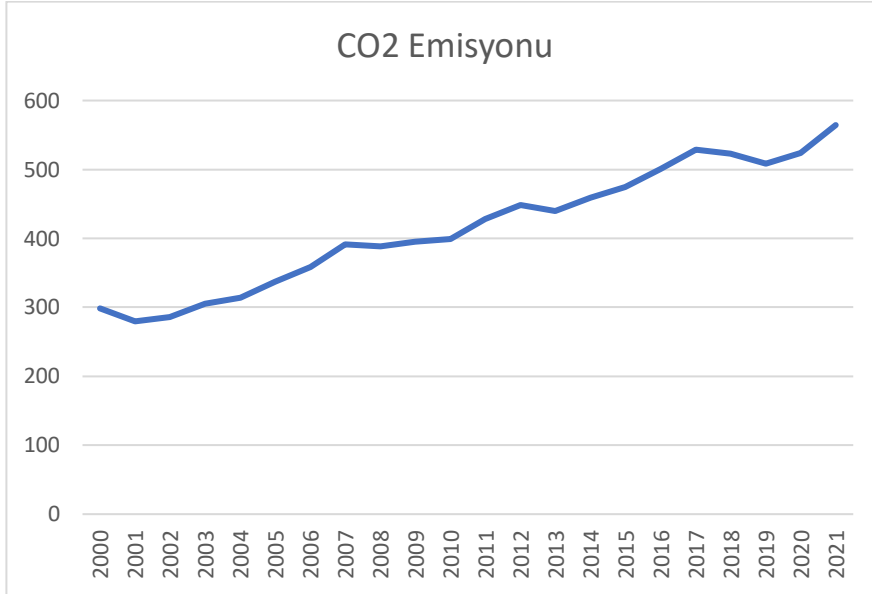
SIRA NUMARASI	CO2 EMİSYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER	KORELASYON KATSAYILARI	REGRESYON ANALİZİ P DEĞERLERİ
1	Toplam Üretimi Elektrik	0.988	0
2	Doğalgaz	-0.449	0.01
3	Hidroelektrik	-0.172	0.285
4	Kömür ve Kömür Türevleri	0.66	0
5	Sıvı Yakıt	-0.941	0
6	Yenilenebilir Enerji	0.936	0
7	İhracat	0.953	0
8	İthalat	0.839	0
9	İnternet Verileri Kullanım	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

Tablo 1'de belirtilen sonuçlara göre, yüksek 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 değerlerin 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. Söz konusu faktörler Şekil 2'de ana kriterler ve elde edilen sayısal veriler ise Tablo 2'de gösterilmektedir. Bu

kriterler, Türkiye'nin CO2 emisyonlarını etkileyen temel faktörleri temsil etmek ve tahmin modellerinin doğruluğunu artırmak için önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 3'te Türkiye'de ölçülen CO2 emisyonlarına ilişkin veriler sunulmaktadır [38]



Şekil 2: CO2 Emisyonunu Etkileyen Ana Parametreler ve ANFIS Katmanları



Şekil 3: Türkiye'de ölçülen CO2 emisyonları

Tablo 2: CO2 Emisyonunu Etkileyen Ana Faktörler ve Türkiye Verileri

Elektrik Üretimi (Mwh) [33]	İhracat (BİN USD \$) [34]	Akaryakıt (Ton) [35]	Nüfus [36]	Toplam Kara Taşıtları [37]
p1	p7	p10	p15	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

#### 4. ANFIS'in Eğitilmesi

Algorithms, codes, and pseudocodes should be given in a table structure centered on the page as shown. Farklı üyelik fonksiyonları ile Tablo 2 ve Şekil 3'de sunulan verileri kullanarak farklı ANFIS modelleri eğitilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen tahmin hataları aşağıdaki Tablo 4'de sunulmuştur. Kullanılan üyelik fonksiyonları aşağıda sıralanmıştır. Tablo 4'de yer alan MFs değerleri her bir girdi için tanımlanan üyelik fonksiyonu adetini göstermektedir. Tablo 4'deki tüm eğitimler 150 tekrar ile yapılmıştır.

- Trimf: Üçgen şeklinde, üç parametre ile tanımlanır: Başlangıç, orta nokta ve bitiş değerleri. Belirli bir değere ait olma derecesini belirler.



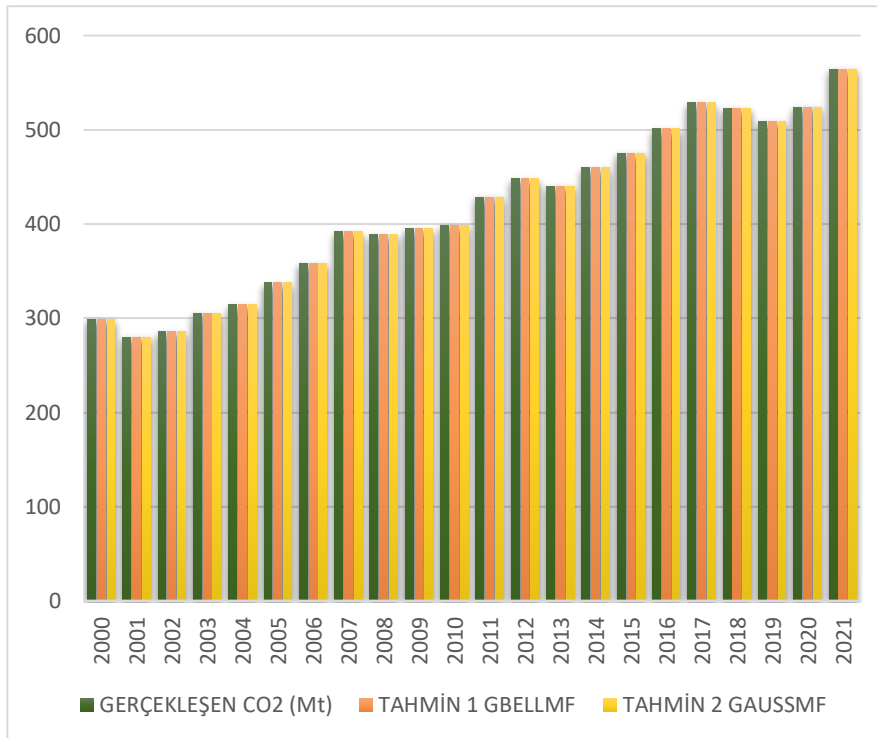
- Trapmf: Trapezoid şeklinde, dört parametre ile tanımlanır: başlangıç, sol eğim, sağ eğim ve bitiş değerleri. Belirli bir değere ait olma derecesini belirler.
- Gbellmf: Genelleştirilmiş çan şeklinde, üç parametre ile tanımlanır: merkez, yayılma ve eğrilik parametreleri. Belirsizlikli ve değişken durumların 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 modellenen verilerin analizinde kullanılır.
- Pimf: Üçgen şeklinde, üç parametre ile tanımlanır: başlangıç, orta nokta ve bitiş değerleri. Trimf fonksiyonuna benzer şekilde üçgen bir üyelik fonksiyonudur.

Tablo 4: Farklı Eğitim-Test Oranları ve Üyelik Fonksiyonları İçin ANFIS Sonuçları

EĞİTİM- TEST VERİ ORANI	ÜYELİK FONKSİYONU	MFs	R2	MSE	RMSE
70-30	Trimf	3 3 3 3 3	0.4228	5799.832	76.157
70-30	Trapmf	3 3 3 3 3	0.3324	6778.082	82.329
70-30	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.8576	1526.408	39.069
70-30	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9336	735.154	27.114
70-30	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.8939	1332.606	36.505
70-30	Pimf	3 3 3 3 3	0.3324	6778.095	82.329
70-30	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.8975	1287.422	35.881
80-20	Trimf	3 3 3 3 3	0.809	1627.750	40.345
80-20	Trapmf	3 3 3 3 3	0.8428	271.015	16.463
80-20	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9725	265.681	16.300
80-20	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9513	602.687	24.550
80-20	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.9855	110.355	10.505
80-20	Pimf	3 3 3 3 3	0.8426	1236.808	35.168
80-20	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9867	100.109	10.005
85-15	Trimf	3 3 3 3 3	0.9755	2022.885	44.976
85-15	Trapmf	3 3 3 3 3	0.9843	1310.100	36.195
85-15	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9805	1701.855	41.254
85-15	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9747	2137.759	46.236
85-15	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.9832	1381.121	37.163
85-15	Pimf	3 3 3 3 3	0.9845	1298.335	36.032
85-15	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9961	1036.510	32.195
90-10	Trimf	3 3 3 3 3	0.9599	330.405	18.177
90-10	Trapmf	3 3 3 3 3	0.9823	149.172	12.214

90-10	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9881	110.791	10.526
90-10	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9825	158.237	12.579
90-10	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.987	123.117	11.096
90-10	Pimf	3 3 3 3 3	0.9829	140.333	11.846
90-10	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9874	119.213	10.918
95-5	Trimf	3 3 3 3 3	0.9784	178.557	13.363
95-5	Trapmf	3 3 3 3 3	0.9831	137.570	11.729
95-5	Gbellmf	3 3 3 3 3	0.9999	0.271	0.520
95-5	Gaussmf	3 3 3 3 3	0.9995	4.644	2.155
95-5	Gauss2mf	3 3 3 3 3	0.9804	162.777	12.758
95-5	Pimf	3 3 3 3 3	0.9822	144.223	12.009
95-5	Dsigmf	3 3 3 3 3	0.9888	94.246	9.708

Yapılan ANFIS tahminlemesi sonuçları, R2 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. Gbellmf ve Gaussmf üyelik fonksiyonları ile eğitilen ANFIS modellerinin CO2 emisyon tahminindeki etkinlikleri ise Şekil 4.'te net bir biçimde ortaya konmuştur.



Şekil 4: Gerçekleşen ve tahminlenen CO2 emisyonları

Tablo 5 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, klasik regresyon modeline göre daha düşük hata değerlerine ve daha yüksek R2 değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

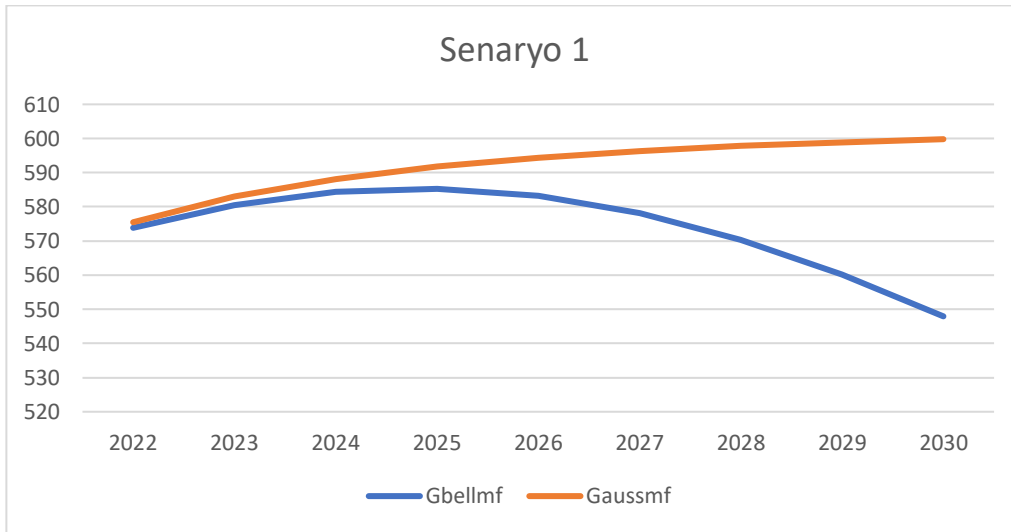
Tablo 5: ANFIS tahmin modeli ve Regresyon Tahmin analizlerinin karşılaştırılması

PARAMETRELER	TAHMİN MODELİ	R2	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

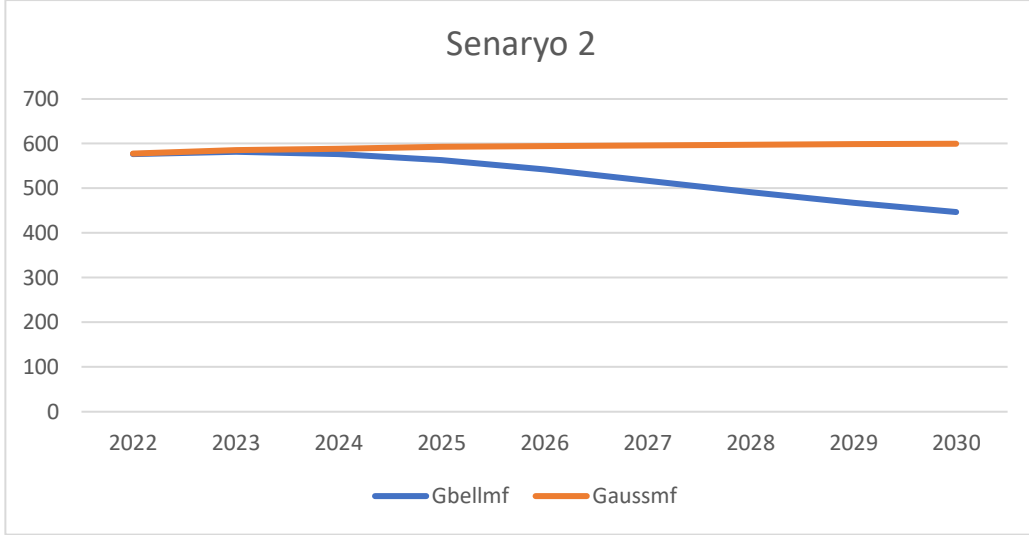
Tablodaki verilere dayanarak, Gbellmf ve Gaussmf modellerinin regresyon modelinden daha iyi tahminler yaptığı sonucuna varılmıştır. R2, MSE ve RMSE metriklerine göre, Gbellmf ve Gaussmf modellerinin daha düşük hata değerlerine ve daha yüksek R2 değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, Gbellmf ve Gaussmf modellerinin regresyon modeline kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini göstermektedir.

### 5. Tahmin Senaryoları

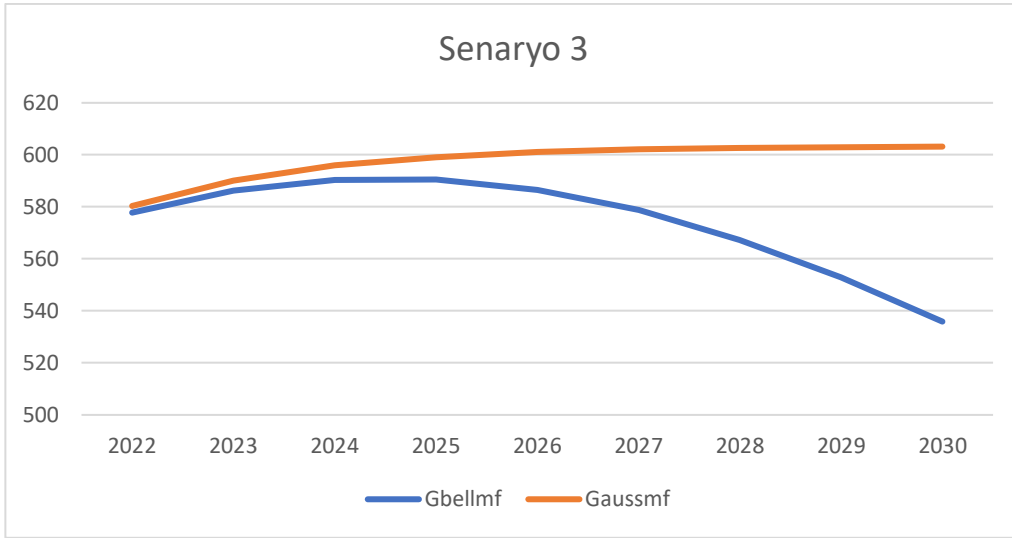
ANFIS ile eğitilen parametreler eşliğinde 2022 ve 2030 yılları arasındaki CO2 emisyonu tahmini için ANFIS modelleri kullanılmıştır. Tahminleme yaparken senaryolar geliştirilmiş ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Senaryo 1’de elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında artış oranları belirlenmiştir. Elektrik ve ihracat alanlarında %3.82 ve %4.00 artış öngörülmüşken, akaryakıt ve nüfus alanlarında sırasıyla %1.50 ve %1.30 artış öngörülmüştür. Kara taşıtları için ise %1.00 artış öngörülmüştür. Senaryo 2 elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında daha yüksek artış oranlarını içermektedir. Bu senaryo için Elektrik ve ihracat alanlarında %5.50 ve %6.50 artış öngörülmüşken, nüfus alanında %2.50’lik bir artış öngörülmüştür. Diğer yandan, akaryakıt ve kara taşıtı alanlarında ise %1.50 ve %1.00’lik sabit artış oranları kullanılmıştır. Senaryo 3’de, elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında farklı artış oranları belirlenmiştir. Elektrik ve ihracat alanlarında %3.82 ve %3.50 artış öngörülmüşken, akaryakıt ve kara taşıtı alanlarında ise %2.50 ve %3.50 artış öngörülmüştür. Nüfus alanında ise %1.30 artış öngörülmüştür. Senaryo 4 diğerlerine benzer şekilde, elektrik, ihracat, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında artış oranlarını içermektedir. Elektrik ve ihracat alanlarında %5.50 ve %6.50 artış öngörülmüşken, akaryakıt, nüfus ve kara taşıtı alanlarında ise sırasıyla %2.50, %2.50 ve %3.50 artış öngörülmüştür. İki model ile elde edilen 2022 ve 2030 yılları arasındaki CO2 tahminleri Şekiller 5, 6, 7 ve 8’de verilmiştir.



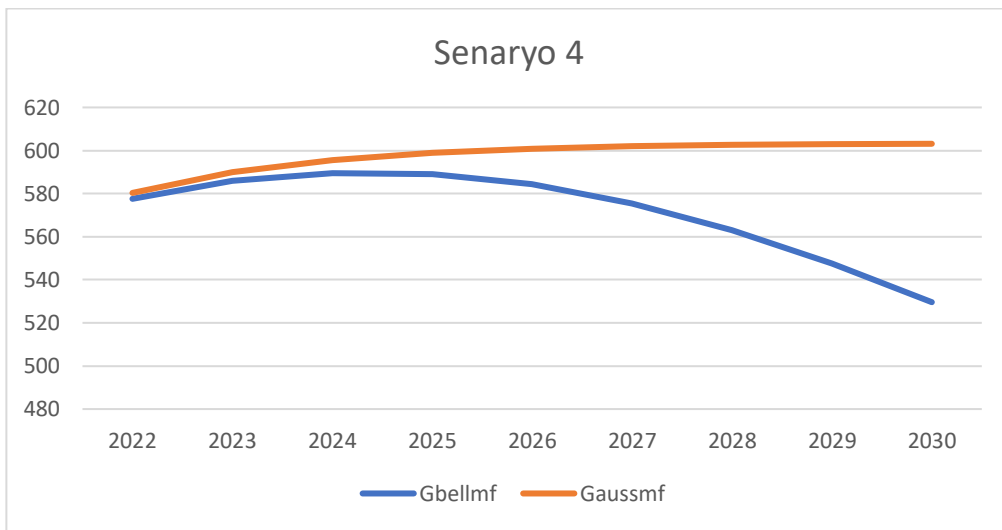
Şekil 5: Senaryo 1’e göre modellerin karşılaştırılması



Şekil 6: Senaryo 2'ye göre modellerin karşılaştırılması



Şekil 7: Senaryo 3'e göre modellerin karşılaştırılması



Şekil 8: Senaryo 4'e göre modellerin karşılaştırılması

## 6. Tartışma

Bu çalışmada, GBELLMF ve GaussMF modelleri kullanılarak 2022'den 2026'ya kadar olan dönemde CO2 emisyonlarındaki değişiklikler incelenmiştir. Farklı senaryolar altında yapılan analizler, her iki modelin de CO2 emisyonlarının gelecekteki eğilimlerine dair farklı içgörüler sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu modellerin sunduğu çeşitli perspektifler, çevresel politikaların ve teknolojik yeniliklerin etkilerini anlamak açısından önemlidir.

GBELLMF modeli, 2022'den 2025'e kadar olan dönemde CO2 emisyonlarında sürekli bir artış trendi gözlemlerken, 2026'dan itibaren belirgin bir düşüş eğilimi göstermektedir. Bu düşüş, belirli parametrelerin etkilerinin zamanla azalmasıyla ilişkilendirilebilir. Modelin esnekliği, çevresel politikaların ve teknolojik gelişmelerin etkilerini daha dinamik ve değişken bir şekilde yakalayabilme yeteneği sunar. Örneğin, çevre dostu politikaların hızlı bir şekilde yürürlüğe girmesi ve teknolojik yeniliklerin hızla benimsenmesi, GBELLMF modelinde daha hızlı ve belirgin bir şekilde yansıtılabilir. Bu, özellikle uzun vadede çevresel önlemlerin ve teknolojik gelişmelerin etkilerinin nasıl değişebileceğini göstermek açısından değerlidir.

GBELLMF modelinin uzun vadeli etkileri yansıtmaya yeteneği, politika yapımcılar ve araştırmacılar için önemli bir avantaj sunar. Model, CO2 emisyonlarındaki dalgalanmaları ve bu dalgalanmaların altında yatan nedenleri daha iyi analiz edebilir. Bu, çevresel önlemler ve teknolojik yeniliklerin zamanla nasıl bir etki yaratacağını öngörmek açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, bu modelin sunduğu esneklik, politika değişikliklerinin ve yeniliklerin etkilerini daha hızlı bir şekilde değerlendirebilme imkânı tanır.

GaussMF modelinde ise, CO2 emisyonları sürekli bir artış göstermektedir. Bu model, daha istikrarlı ve sürekli bir büyüme eğilimi ortaya koyar. Bu sürekli artış eğilimi, ekonomik ve demografik faktörlerin daha istikrarlı bir şekilde arttığını gösterebilir. GaussMF modelinin sunduğu süreklilik ve denge, kısa vadeli ekonomik ve demografik değişimlerin daha stabil ve öngörülebilir etkilerini ortaya koyar.

GaussMF modeli, kısa vadede daha az dalgalanma göstermesi nedeniyle ekonomik ve demografik parametrelerin etkisinin daha pürüzsüz ve istikrarlı olduğunu işaret eder. Bu durum, ekonomik büyüme, nüfus artışı ve sanayileşme gibi faktörlerin CO2 emisyonları üzerindeki sürekli ve dengeli etkilerini anlamak açısından önemlidir. Modelin sunduğu bu istikrar, özellikle kısa vadeli politika ve strateji geliştirme süreçlerinde değerlidir.

GBELLMF ve GaussMF modelleri, CO2 emisyonlarının gelecekte nasıl değişebileceğine dair farklı bakış açıları sunmaktadır. GBELLMF modeli, parametrelerin etkilerini daha esnek ve dinamik bir şekilde yansıtırken, 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 yansıtırken, GaussMF modeli kısa vadede ekonomik ve demografik değişimlerin daha stabil ve öngörülebilir etkilerini ortaya koymaktadır. Bu modellerin birlikte kullanılması, politika yapımcılar ve araştırmacılar için daha kapsamlı ve dengeli stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Örneğin, GBELLMF modelinin sunduğu uzun vadeli içgörüler, çevresel politikaların ve teknolojik yeniliklerin gelecekteki potansiyel etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu, politika yapımcıların uzun vadeli hedefler belirlemelerine ve stratejilerini buna göre ayarlamalarına yardımcı olabilir. Öte yandan, GaussMF modelinin sunduğu kısa vadeli istikrar ve süreklilik, ekonomik ve demografik faktörlerin kısa vadede CO2 emisyonları üzerindeki etkilerini anlamak için değerlidir. Bu, kısa vadeli politikaların ve stratejilerin daha stabil ve öngörülebilir olmasını sağlar.

Sonuç olarak, GBELLMF ve GaussMF modelleri, CO2 emisyonlarının gelecekteki eğilimlerini anlamak ve çevresel politikaların ve teknolojik yeniliklerin etkilerini değerlendirmek için birbirini tamamlayan araçlar olarak kullanılabilir. Bu modellerin birlikte kullanımı, daha dengeli ve kapsamlı stratejiler geliştirilmesine olanak tanır ve böylece CO2 emisyonlarının azaltılmasına yönelik daha etkili politikaların ve yeniliklerin hayata geçirilmesine katkı sağlar.

## 7. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye'nin 2022-2030 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyonlarını tahmin etmek amacıyla ANFIS yöntemi kullanılmıştır. Literatür analizi sonucunda, CO<sub>2</sub> emisyonlarını etkileyen temel parametreler belirlenmiş ve Türkiye'ye özgü veriler toplanmıştır. Regresyon ve korelasyon analizleriyle yüksek ilişkili ve anlamlı veriler tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, farklı üyelik fonksiyonlarına sahip alternatif ANFIS modelleri üretilmiş ve en düşük hata oranına sahip iki model seçilmiştir.

Testler, her iki modelin de CO<sub>2</sub> emisyonlarını tahmin etmede yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir. Gbellmf üyelik fonksiyonuna sahip Model 1'in MSE değeri 0.271 ve R<sup>2</sup> değeri 0.9999, Gaussmf üyelik fonksiyonuna sahip Model 2'nin ise MSE değeri 4.644 ve R<sup>2</sup> değeri 0.9995 olarak tespit edilmiştir. Bu doğruluk seviyeleri, modellerin güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Dört farklı senaryo çerçevesinde yapılan tahminlerde, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi artışlarının en fazla olduğu Senaryo 4, CO<sub>2</sub> emisyonlarının en yüksek olduğu senaryo olarak belirlenmiştir. En düşük CO<sub>2</sub> emisyon artışı ise ekonomik ve enerji tüketim artışlarının daha sınırlı olduğu Senaryo 2'de görülmüştür. Model 1, genel olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarında daha temkinli bir düşüş trendi öngörürken, Model 2 daha stabil ve artış eğilimindedir.

Çalışma, Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarını etkileyen faktörleri detaylı bir şekilde analiz ederek, enerji ve çevre politikalarına yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artırılması, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, kentsel planlama ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi, yeşil üretim teknolojilerinin teşvik edilmesi ve karbon ayak izinin azaltılması gerekmektedir.

Analiz sonucunda elde edilen bulgular, gelecekteki araştırmalar için önemli yönergeler sunmakta ve daha kapsamlı çalışmalar yapılmasını önermektedir. CO<sub>2</sub> emisyonlarının yanı sıra diğer sera gazlarının etkilerinin de analiz edilmesi, farklı ülkeler veya bölgeler için benzer senaryo analizlerinin gerçekleştirilmesi ve ekonomik, teknolojik ve politik değişkenlerin daha geniş veri setleri ile modellenmesi, tahmin sonuçlarının doğruluğunu artıracaktır. Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonlarına ilişkin gelecekteki projeksiyonlar ve enerji politikaları için hayati bilgiler sağlamaktadır. Modellerin doğruluğu ve senaryo analizlerinin çeşitliliği, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma ve küresel iklim değişikliği ile mücadele stratejilerine önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışma, Türkiye özelinde olduğu kadar küresel düzeyde de iklim politikalarının geliştirilmesine yönelik bilimsel temelli stratejik planlamaların yapılmasına zemin hazırlamaktadır.

## Contribution of Researchers

All researchers have contributed equally to writing this paper.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- [1] Arı, A., Zeren, F., 2011. CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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., Pabuççu, 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 assuring 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.enerjiatlası.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).