

ANFIS YÖNTEMİ İLE TÜRKİYE KARBONDİOKSİT SALINIMI TAHMİNİ

PREDICTION OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS FOR TURKEY USING ANFIS METHOD

Dr. Ahmet SEL¹

Berrak TEKGÜN²

ÖZ

Günümüzde küresel olarak yüksek seviyelerde görülen sanayileşme, hızlı nüfus artışı, bilinçsizce tüketilen enerji kaynakları ve yüksek enerji talebi karbon emisyon miktarının artışı beraberinde getirmiştir. Sera gazı salınımının artması, dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de ekonomik gelişmeyi, sürdürülebilir büyümeyi, iklim şartlarını, şehirleşmeyi ve en temelde de ekonomik gücü tehdit eder bir konuma gelmiştir. Bu çalışmada, karbondioksit salınımı tahmininde hem bulanık mantık hem yapay sinir ağlarının bütünleşik olduğu Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistem (ANFIS) yöntemi kullanılmıştır. Uygulamanın birinci bölümünde Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), nüfus, ihracat, ithalat açıklayıcı değişkenleri için 1998-2018 yıllarını kapsayan aylık veri seti ile geriye dönük 2019-2020 karbon emisyonu ($R^2=0,964$) tahmin edilmiştir. İkinci bölümde ilk bölümde elde edilen verilerde kullanılarak aylık karbon emisyonu değerleri (t) için (t-12, t-11, t-10, ort-t-12, ort-t-11, ort-t-10) değişkenleri kullanılarak yüksek tahmin başarısı ($R^2=0,99$) ile 2021, 2022 ve 2023 yılları için tahmin edilmiştir. Bu kapsamda, çalışma bulguları Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması kapsamında değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların karar vericiler için karbon emisyonlarının düşürülmesi proje ve planlarında yardımcı olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: CO2 Emisyonu, Türkiye, ANFIS, Yapay Sinir Ağları.


JEL Sınıflandırma Kodları: Q56, Q20, C53.


ABSTRACT

Today, global high levels of industrialization, rapid population growth, unconsciously consumed energy resources and high energy demand have brought about an increase in the amount of carbon emissions. The increase in greenhouse gas emissions has come to a position that threatens economic development, sustainable growth, climate conditions, urbanization and most importantly economic power in Turkey as well as in the world. In the study, the Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) method, in which both fuzzy logic and artificial neural networks are integrated, is used for the estimation of carbon dioxide emissions. In the first part of the application, the monthly data set covering the years 1998-2018 for the explanatory variables of Gross Domestic Product (GDP), population, exports, and imports and retrospective 2019-2020 carbon emissions ($R^2=0.964$) are estimated. In the second part, using the data obtained in the first part, the variables (t-12, t-11, t-10, mean-t-12, mean-t-11, mean-t-10) for monthly carbon emission values (t) are used. Forecasting success ($R^2=0.99$) is estimated for 2021, 2022 and 2023. In this context, the findings of the study are evaluated within the scope of the Kyoto Protocol and the Paris Climate Agreement. It is expected that the results obtained would help decision makers in their projects and plans to reduce carbon emissions.

Keywords: CO2 Emission, Turkey, ANFIS, Artificial Neural Networks.

JEL Classification Codes: O47, O53, E13, R11.

¹  T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Matematik Öğretmeni, selahmet43@gmail.com

²  Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Doktora Öğrencisi, tekgunberrak@gmail.com

EXTENDED SUMMARY

Purpose and Scope:

The increase in carbon emissions emerges as a result of human-based studies, with the introduction of coal-fired industrial machines into our lives, brought about by rapid developments in industrialization. The intense release of carbon emission disrupts the functioning of the sun's rays that should be reflected by being trapped in the atmosphere and causes an increase in temperature. Considering this situation, climate and environmental problems are increasing day by day. Especially considering the rapid development of industry, the effort of economic growth and the subsequent energy demand, technological developments and population growth, greenhouse gas emissions are an important phenomenon that needs to be controlled. Reducing carbon emissions; Turning to renewable energy starts with some awareness in our daily life, such as preventing the destruction of the natural environment and minimizing energy demand. Greenhouse gas emission, which is an area where countries can act together, and if successful, its negative effects in many basic areas such as climate order, air pollution, global warming can be reduced to minimum levels. Especially in developing countries like Turkey, where the importance given to economic growth is high, the concept of clean energy is gaining importance for the life of society day by day. Since high energy demand affects both environmental and climate problems and the continuity of economic growth, the importance of renewable energy sources has been brought to light and it has become a necessity to provide a trend in this direction. At this point, it is aimed to increase demand for countries with incentives for many renewable energy sources such as geothermal, solar and wind. The internationally valid agreement in the organization with the aim of minimizing the change in climates experienced globally and minimizing carbon emissions is the Kyoto Protocol. Turkey joined the agreement signed in 1997 in 2004. The Treaty plays a major role in controlling and minimizing anthropogenic greenhouse gas emissions and preventing climate change. In this context, using natural energy resources, growing and consuming seasonal products, and benefiting from recycling contribute to this struggle. Throughout the world, since the industrial revolution, the use of carbon-based coal, oil, various gases and wastes in industrial processes for energy use causes climate change. Carbon emissions have been in an increasing trend since the 1960s. This effect, of course, is closely related to the development level, population, and energy demands of the countries, and it also varies according to the countries and regions. The USA and China are at the top of the list in the emission of world greenhouse gas emissions. This increase will gradually increase its impact globally in the coming years. Climate change, social and economic problems, the hygiene of water resources will appear as an issue that threatens human health. For Turkey, which is in the developing country group, the situation can be explained as follows; Since the 1980s until today, the Turkish economy has a growth structure integrated with the global order, as it follows an open economy policy. Therefore, this has increased both the production and consumption of the country, increasing the need for energy demand. However, as a result of this, awareness of climate and environmental problems and the threat of water resources has been seen recently. Thus, a green economy is aimed by providing an ecological balance with the steps taken both individually and globally. In this context, in recent years, in which the ever-increasing trend of carbon emissions has been observed; Damages to national economies, climates and human health should now be evaluated on a global basis, not on a country basis. In fact, although it is known that the countries in the top positions in greenhouse gas emissions have high shares, the situation we all face is not different. Because even the greenhouse gas emissions experienced at the local level affect the whole world, their reflections are seen in the global framework. For this reason, the struggle of each country to reduce greenhouse gas emissions also brings together positive effects. In particular, considering the dependence of developing country groups on energy demand, the importance of investments and projects to control carbon emissions increases even more.

Design/methodology/approach:

In this context, the study focuses on a sensitive issue such as carbon emissions, which is thought to be examined in Turkey. In the study, carbon emission values in Turkey were estimated in two parts using the ANFIS method.

Findings:

In the first part of the application, based on the GDP, population, export and import variables, the monthly data set covering the years 1998-2018 and retrospectively 2019-2020 monthly carbon emissions were estimated. Obtained monthly carbon emission values (t) for time (t-12, t-11, t-10, avg-t-12, avg-t-11, avg-t-10) using the lagged and average values for 2021, 2022 and 2023 forecasts were made. In line with this purpose, results were obtained at the point of reducing the effect of the explanatory variables of the study result on carbon emissions.

Conclusion and Discussion:

These results; It is important in terms of contributing to policy makers on fundamental issues such as determining investment resources, increasing climate quality, and increasing efficiency in energy use. According to the findings of the study, although there are no high fluctuations in carbon emission emissions except for 2023, an increasing trend is observed in terms of its general structure. Investments and projects can be realized to control and reduce these levels. Competitiveness can be achieved by increasing the demand for renewable energy resources and natural resources. On an individual basis, the importance given to recycling products is of great importance in raising awareness in many areas such as vehicle use and organic food production. It is expected that the research findings will shed light on new studies by contributing to policy makers and economic literature on fundamental issues such as determining investment resources, increasing climate quality, and increasing efficiency in energy use.

1. GİRİŞ

Karbon emisyonundaki artış, endüstrileşmedeki hızlı gelişimlerin beraberinde getirdiği kömürlü sanayi makinelerinin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yoğun karbon emisyonu, güneş ışınlarının geri yansımaları önleyerek yeryüzüne geri dönmesine ve sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında, iklim ve çevre problemleri gündemden güne artmaktadır. Özellikle sanayinin hızlı gelişimi, ekonomik büyüme gayreti ile oluşan enerji talebi, teknolojik gelişmeler ve nüfus artışı bir arada düşünülürse, sera gazı salınımı kontrol altına alınamaz bir düzeye gelmektedir.

Birleşmiş Milletler (BM) tarafından Ekim 2015'te yayımlanan, "İklim Bağlantılı Doğal Afetlerin İnsani Maliyeti" isimli raporda, 20 yılda kayıtlara geçen küresel olarak toplam 6,457 doğal afetin %90'ı sel, fırtına, sıcak hava dalgası, kuraklık ve diğer aşırı iklim hareketlerinden kaynaklandığı; 1995 yılından bu yana aşırı iklim hareketleri kaynaklı afetler nedeniyle 606 bin kişinin yaşamını yitirdiği, 4,1 milyar insanın ise etkilendiği belirtilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı, 2020). Tüm bu gelişmeler karşısında mevcut maliyet ve sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda küresel ısınma Dünya için oldukça ciddi bir sorun olarak görülmektedir. Bu sebeple ülkelerin ekonomik ve sosyal programlarına ilave olarak iklim değişikliği ve küresel ısınmanın çözümü için politikaların geliştirilmesi gerekmektedir (Sel ve Göktoğa, 2020, s. 159).

Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) Küresel İklim Modelleri ile yaptığı projeksiyonlara göre Türkiye'de sıcaklıklar kışın 2 °C, yazın ise 2-3 °C artarak 2030 yılında oldukça kuru ve sıcak bir iklim etkisine girebilir. Yağışlar kışın az bir artış gösterirken yazın %5-%15 azalabilir. Söz konusu senaryolara göre, Akdeniz Havzasındaki su seviyesinde 2030 yılına kadar 18-12 cm, 2050 yılına kadar 38-14 cm ve 2100 yılına kadar 65-35 cm yükselme beklenmektedir. Küresel iklim değişikliğinden Türkiye olumsuz şekilde etkilenecektir. Bu olumsuzluklar hazırlanan çeşitli senaryolara ve IPCC projeksiyonlarına göre Türkiye'nin de içinde bulunduğu enlemlerde, sıcaklıklardaki artışların; yağış rejiminde değişimler, deniz suyu seviyesinde yükselmeler ve toprak su içeriğinde önemli azalmalar şeklinde olacağı tahmin edilmektedir. Bunların sonuçları aşağıda özetlenmiştir (Özmen, 2009, s. 44).

- Yazın yağışlarda büyük azalma olacak, buharlaşma artabilecek,
- Yağışların mevsimsel dağılımı ve şiddeti değişecek, ani sellerde artışlar olabilecek,
- 1987' den beri ortalamanın altında gerçekleşen kar örtüsü, daha da azalabilecek,
- Akım, miktarları azalacak ve pik zamanları değişebilecek,
- Kuraklığın sıklığı ve şiddeti artabilecek,
- Uluslararası, ulusal ve yerel su kaynağının paylaşımında sorunlar çıkabilecek,
- Yüksek basınç kuşağının kuzeye kayması ile ülkemizde hâkim olabilecek tropikal iklime benzer bir kuru hava; daha sık uzun süreli kuraklıklara, orman yangınlarına ve tropikal hastalıklarda artışlara neden olabilecek,
- Milli parklar, çevre ve canlılar zarar görebilecektir.

Her ülkede sürdürülebilir kalkınmanın temel eksenlerinden biri, çevrenin enerji sektörü ile ekonomi arasındaki etkileşimin kalitesidir. Ekonomik faaliyetler ve çevre arasındaki ilişki önemli ve karmaşık konular arasındadır. İnsanlık faaliyetlerinin bir sonucu olarak çevre üzerindeki baskı, birçok ülkenin karşı karşıya olduğu önemli bir küresel konudur. Mesele sadece biyolojik çevre açısından değil, aynı zamanda ekonomik bakış açısından da önemlidir, çünkü ekonomik faaliyetler insanların uzun vadeli refahını ve yaşamını etkileyebilir. Son yıllarda biyolojik çevre riskleri ve zararları belirgin bir şekilde varlığını kanıtlamıştır. Bu zararlar, istihdam, yatırım, endüstriyel faaliyetlerin enerji tüketimi ve ekonomik büyüme gibi bazı ekonomik faktörlerin ve endekslerin etkisinden kaynaklanmaktadır. Her ülkenin makro düzeydeki ekonomik politikaları üretim ve istihdam artışı, enflasyonun azaltılması, piyasaların düzenlenmesi gibi hedeflerle, uzun vadede geçici bir ufukta toplumun refahındaki artışı gerçekleştirmeyi çalışmaktadır (Zahra vd., 2019, s. 1-3).

Karbon emisyonunun azaltılması; yenilenebilir enerjiye dönüş, doğal çevrenin yok olmasını önlemek ve enerji talebinin minimum düzeye indirmek gibi günlük hayatımızda yer alan birtakım farkındalıklar ile başlamaktadır. Ülkelerin beraber hareket edebileceği bir alan olan sera gazı emisyonu, başarılı olunması durumunda iklim düzeni, hava kirliliği, küresel ısınma gibi temel birçok alanda olumsuz etkileri minimum düzeylere indirilebilir. Özellikle Türkiye benzeri gelişmekte olan ülkelerde, ekonomik büyümeye verilen önemin yüksek olduğu günümüz ülkeleri için temiz enerji kavramı toplum hayatı için gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Bu bağlamda çalışma, Türkiye’de incelenmesi gerektiği düşünülen karbon salınımı gibi hassas bir konuyu mercek altına almaktadır. Çalışmada, Türkiye’deki karbon emisyon değerleri, ANFIS yöntemi aracılığıyla iki bölümde tahmin edilmiştir. Uygulamanın birinci bölümünde GSYİH, nüfus, ihracat ve ithalat değişkenlerine dayalı olarak 1998-2018 yıllarını kapsayan aylık veri seti ile geriye dönük 2019-2020 aylık karbon emisyonu tahmin edilmiştir. Elde edilen aylık karbon emisyonu değerleri (t) zaman için (t-12, t-11, t-10, ort-t-12, ort-t-11, ort-t-10) gecikmeli ve ortalama değerleri kullanılarak 2021, 2022 ve 2023 yılı tahminleri yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çalışma sonucunda açıklayıcı değişkenlerin karbon salınımına olan etkisinin azaltılması noktasında sonuçlar belirtilmiştir. Aynı zamanda bulgular Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması ile paralel olarak değerlendirilmiştir. Bu noktada Türkiye’nin karbon salınımının hedeflenen düzeylere erişmesi hususunda nasıl bir yol izlediği ulaşılan sonuçlar kapsamında yorumlanmıştır. Bu bağlamda çalışma; yatırım kaynaklarının belirlenmesi, iklim kalitesinin yükselmesi, enerji kullanımında verimliliğin artması gibi temel konularda politika yapıcılara katkı sağlaması yönüyle önem taşımaktadır.

2. LİTERATÜR

Behrang vd. (2011), yaptıkları çalışmada dünya karbon emisyon salınımı analizini yapmışlardır. Çalışmada, dünya nüfusu, gayri safi yurtiçi hasıla, petrol ticareti hareketi ve doğal gaz ticareti hareketi göstergeleri 1980-2006 dönemi verileri kullanılmış ve 2040 yılına kadar tahminde bulunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre, karbon emisyonu büyüme oranının dünya genelinde artışı, sera gazı kontrolüne duyulan ihtiyaç noktasında oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır.

Çağlayan Akay vd. (2015), çalışmalarında yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve karbondioksit emisyonları arasındaki etkileşimi MENA ülkeleri olarak adlandırılan seçilmiş Orta doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri örneğinde analiz etmiştir. Yapılan analizde, 1988-2010 yılları ele alınmış ve Panel Vektöröregresyon yöntemi kullanılmış, değişken şoklarını belirlemek amacıyla ise etki tepki ve varyans ayrıştırma analizleri de uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, büyüme ile yenilenebilir enerji çift yönlü nedenselliğe sahip olduğu görülürken karbondioksit emisyonlarından yenilenebilir enerjiye ise tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Ekonomik kalkınmanın oldukça önemli olduğu günümüzde kalkınmanın çevre ile ilişkisini mercek altına alan Pabuççu ve Bayramoğlu (2016) yaptıkları çalışmada, Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye’nin de içinde bulunduğu 1990-2030 dönemini kapsayan beşer yıllık sera gazı salınımı tahmininde bulunmuşlardır. Yapay sinir ağları modeli kullanılarak yapılan çalışmada, mevcut yılları kapsayan nüfus, GSYİH, enerji üretim ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı ve sera gazı salınım miktarı değişkenleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerlerin Paris İklim Zirvesinde Türkiye için tahmin edilen değer üzerinde olduğu görülmüş, Türkiye’nin yenilenebilir enerjiye yönelmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Yapay sinir ağları modeline dayanarak tahminde bulunulan başka bir çalışmada ise Boğar ve Boğar Özsüt (2017) Türkiye için sektörel bazda sera gazı salınımını incelemiştir. 1990-2015 yılları verileri ile 2030 yılına kadar tahmin yapılan çalışmada nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla, enerji tüketimi ve ulaşım için kullanılan enerji ve ayrıca sektörelere göre gerçekleşen CO2 salınımı değişkenleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, yapılacak faaliyetlerin daha planlı olmasının sürdürülebilir çevrenin sağlanabilmesinde faydalı olacağı öngörüsünde bulunulmuştur.

Gelişmiş ve gelişmekte olan 81 ülkeyi çalışmalarında değerlendiren Başar ve Akyol (2018), enerji tüketimi ve karbon emisyonunun ülkelerin iktisadi büyümesine etkisini 1992-2013 yılları için panel veri analiz yöntemiyle analiz etmiştir. Araştırmada büyümenin, enerji tüketimi ile ters yönlü, karbon emisyonu ile pozitif yönlü ilişkisi görülmüştür.

Enerji tüketiminin karbon emisyonu üzerindeki etkisini Çevresel Kuznets eğrisi kapsamında değerlendiren Çetin ve Yüksel (2018), çalışmalarında 1960-2014 dönemini analize tabii tutmuşlardır. Araştırmanın analizine ekonomik büyüme, ticari açıklık ve finansal gelişme değişkenleri dahil edilmiştir. Genelleştirilmiş Momentler Metodu ve Dinamik OLS metotlarıyla yapılan tahminlerde enerji tüketiminin karbon emisyonunu artırıcı etkisi gözlemlenmiştir.

Külünk (2018), Türkiye kapsamında yaptığı çalışmada ekonomik büyüme ve karbon salınımını Granger nedensellik analizi çerçevesinde incelemiştir. 1960-2013 yıllarının sınırlandırdığı kişi başı karbon salınımı ve kişi başına gelir değişkenlerinin kullanıldığı çalışma sonucunda karbon salınımından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi elde edilmiştir.

Gelişmekte olan ülkeleri inceleyen başka bir çalışma ise Pala (2018) olmuştur. Karbon emisyonu, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisini ARDL yaklaşımı ile inceleyerek hem kısa hem de uzun dönemdeki nedensellik ilişkisi ortaya konmuştur. Çalışmaya dahil olan 22 gelişmekte olan ülkenin 1990-2014 yıllarına ait karbon emisyonu, enerji tüketimi, finansal gelişmişlik, ticaret (dışa açıklık) ile ekonomik büyüme değişkenleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ise uzun dönemde büyümeyi olumlu ya da olumsuz etkileyen değişkenler ve ülkeler tek tek belirtilerek ortaya konmuştur.

Türki Cumhuriyetleri çalışmasına dahil etmiş karbon emisyonu ve ekonomik büyümeyi ele alan başka bir çalışma ise Günel (2019), 1992-2014 verileri ile analizini yapmıştır. Çalışma sonucunda, mevcut ülkeler genelinde karbon emisyonu ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedenselliğin varlığı görülmüştür.

Karbon emisyonu ve enerji tüketiminin artmasında kentleşme faktörünün etkisine dikkat çeken çalışma Kahraman (2019) tarafından değerlendirilmiştir. Türkiye için 1990-2017 dönemi için kentleşme, elektrik tüketimi ve karbon salınımı arasındaki ilişki incelenen çalışmada, elektrik talebi ve karbon emisyonu artışının paralellik göstermediği görülmüş bunun sebebi olarak da yenilenebilir enerji kaynaklarının artması olarak yorumlanmıştır.

Türkiye için karbon emisyonu, ekonomik büyüme, elektrik tüketimi ilişkisi incelenmiş başka bir çalışma ise Öztürk ve Küsmes (2019), 1995-2014 verileri ile panel VAR analizi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, değişkenler arasında negatif ve anlamlı ilişkiye rastlanmıştır.

Acheampong ve Boateng (2019), çalışmalarında Avustralya, Brezilya, Çin, Hindistan ve ABD ülkeleri için karbon emisyon yoğunluğunu yapay sinir ağları modeli yardımıyla tahminde bulunmuşlardır. Analizinde üçer aylık verilerin kullanıldığı çalışmada 1980Q1-2015Q4 dönemi için ekonomik büyüme, enerji tüketimi, Ar-Ge, finansal gelişme, doğrudan yabancı yatırım, ticarete açıklık, sanayileşme ve kentleşme değişkenleri kullanılmıştır. Ülkelere göre duyarlılık sonuçları farklılık göstermekle beraber enerji tüketiminde en yüksek duyarlılığa sahip ülke Hindistan olarak belirtilmiştir.

Orta doğu ülkesi olan İran, Kuveyt, Katar, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri'ni çalışmalarına dahil eden Ahmadiya vd. (2019), yapay sinir ağları ve grup veri işleme yöntemi kullanarak karbon emisyon tahmininde bulunmuştur. Enerji arzı ve GSYİH açıklayıcı değişkenlerinin kullanıldığı çalışmada 1990-2015 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Gerçek değerler ile yapılan tahminlerin oldukça yakın ve güvenilir olduğu çalışma sonunda raporlanmıştır.

Yapay sinir ağları ve üstel düzleştirme yöntemleri kullanılarak Türkiye için karbon emisyonu tahmininde bulunan Özhan (2020), sera gazı emisyonu (CO₂ eşdeğeri) 1960-2014 veri setini kullanarak 2021 yılına kadarki 7 yıllık karbon emisyonu tahmininde bulunmuştur. 2021 yılı için 366,3972 milyon ton olarak hesaplanan değer genel itibariyle sürekli artan bir yapıda olduğu gözlenmiştir.

Sel ve Göktolga (2020), çalışmalarında 11. Kalkınma Planı hedefleri yardımıyla girdi çıktı analizi ile hedef programlama kullanılarak sektörel enerji tüketimleri ve CO₂ salınımları tahmin edilmiştir. Sonuç olarak toplam karbondioksit salınımlarında sektörel olarak %40,0 ile elektrik-gaz ve %39,3 ile imalat olarak belirlenmiştir. Bu sonuçta Türkiye'nin enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının toplamının yaklaşık %80'ine denk gelmektedir.

3. SERA GAZI EMİSYONLARI VE EKONOMİK İLİŞKİSİ

Dünya genelinde, Sanayi Devrimi ile birlikte gerçekleşen her keşif beraberinde endüstride yararlanılacak yeni alanlara olanak sağlamıştır. Endüstri sektörünün gelişmesi ise eş zamanlı olarak enerji kullanımına olan rağbeti artırmış ve zaman içerisinde temel bir girdi işlevini üstlenmiştir. Geniş bir perspektiften bakıldığında, hem sosyal hem ekonomik alanda önemli ölçüde kullanılan enerji, ülkelerin kalkınmasında ve refah seviyelerinin yükselmesinde de büyük ölçüde önem arz etmektedir. Kalkınmış bir ekonomide, hem ekonomik hem sosyal alanda insanların hayat kalitesinin artması aynı zamanda sanayi sektörüne yani enerji talebine olan bağlılığı vazgeçilmez bir noktaya getirmiştir. Ancak, enerjiye olan talebin artması dolaylı yollardan negatif etkiye sahip olarak çevreye olumsuz zararlarını doğurmuştur. Dünya genelinde ülkelerin vazgeçilmez bu rekabeti sera gazı emisyonları, küresel ısınma, ozon tüketimi için majör etkiye sahip olan karbon salınımının artışına neden olmuştur.

Yüksek enerji talebi, hem çevre ve iklim sorunlarını hem de ekonomik büyümenin devamlılığını etkilediğinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini gün yüzüne çıkarmış ve bu yönde bir eğilim sağlanması

gereklilik haline gelmiştir. Bu noktada, ülkeler için jeotermal, güneş, rüzgar gibi bir çok yenilenebilir enerji kaynaklarına olan teşviklerle talep artışı amaçlanmaktadır.

Küresel olarak yaşanan iklimlerdeki değişiminin en aza indirilmesi, karbon emisyonlarının minimum düzeylere çekilmesi amacıyla organizasyonda bulunan uluslararası geçerli anlaşma ise Kyoto Protokol'üdür. 1997'de imzalanan anlaşmaya Türkiye 2004 yılında katılmıştır (Özmen, 2009, s. 45).

Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında yer almakta olup, hem küresel ısınma hem de beraberide sera gazı emiliminin azaltılması amacıyla gerçekleştirilmiş olan önemli bir girişimdir. Aynı zamanda uluslararası kapsamı bulunan sera gazı etkisine sahip tüm gazların kullanımının azaltılmasını hedefleyen bir belge niteliğindedir (Demir, 2006, s. 244-246).

Kyoto Protokolü'nün sahip olduğu amaçlar içerisinde hem reel adımların bulunduğu hem de bunun çeşitli yükümlülükleri bulunmaktadır. Protokol çerçevesi, gelişmiş ülkeleri kapsamaktadır. Protokol sera gazlarının salınımının azaltılmasına yönelik yükümlülükleri 2008-2012 yılları arasında kapsamaktadır ve ulaşılmak istenilen hedef 1990 yılında mevcut olan sera gazı salınımının %5,2 altına indirilmesidir. Protokolde yer alan politikanın uygulanması aşamasında ön planda tutulan ilk adım öngörülen hedeflere istenilen zaman aralığında ulaşmak ve bu ulaşılan seviyelerin kalıcı olmasıdır. Kyoto Protokolü'nün 2012 yılına kadarki dönemi kapsamı neticesinde devam eden dönemde iklim anlaşması ile yeni şeklini almıştır (Mazlum, 2008, s. 136-142).

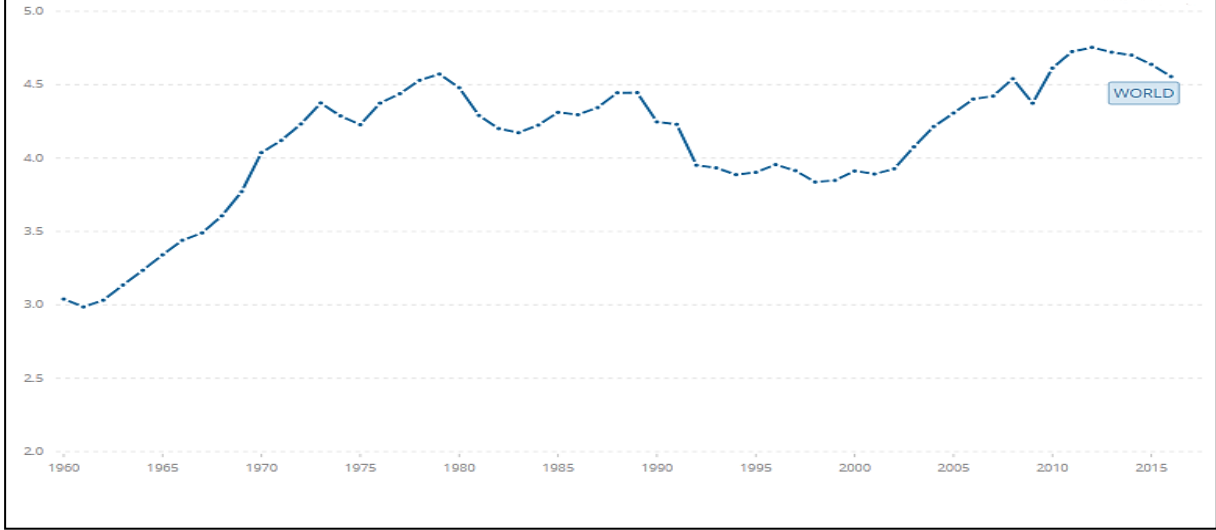
Kyoto Protokolü ile başlayan süreç Paris İklim Anlaşması ile devam ederek güncel halini almıştır. Bu çerçevede yürütülen adımlarda hem sera gazı salınımının azaltılması hem de gezegendeki tüm canlıların daha kaliteli bir yaşam sürmesi için hayat standartlarını tehdit eden etkilerin azaltılması ortak amaç özelliğini korumaktadır. Ancak gelişmiş ülkelerle beraber gelişmekte olan ülkeleri de içine alan bu hassas konuda çeşitli fikir ayrılıkları yaşanmakta ve bu da konunun mücadelesini güçleştirmektedir (Kaya, 2020, s. 166).

Paris İklim Anlaşması, gelişmiş ve gelişmekte olan ülke veya zengin yoksul ülke ayrımı yapmaksızın tüm ülkeleri kapsamaktadır. Kyoto Protokolü'nden ayrıldığı nokta burasıdır çünkü Kyoto Protokolü sadece gelişmiş ülkeleri kapsamaktadır. Burada istenilen hedef, daha geniş çaplı kitlelere ulaşabilmek adına tüm ülkelerinin kendi paylarına düşen oranlarda sera gazı salınımını azaltması yönündedir. Bu da bir bütün içinde hareket etmeyi ve yeniden canlanmayı ülkelerin ekolojiye sağlayacağı destek ile mümkün olacağını anlamına gelmektedir (Dençak, 2018, s. 18-19; Kaya, 2020, s. 184).

Kyoto Protokolü'nde net bir şekilde karbon salınımının 1990 yılı seviyesine erişebilmesi için %5.2 oranında azalma göstermesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Daha detaylı açıklamak gerekirse, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007, s. 783-792) hazırladığı raporda şu ifadeler yer almaktadır; Karbon salınımında 1990 yılı seviyesine ulaşabilmesi için gelişmiş ülkelerin 2020 yılına kadar %10-40 oranlarında azaltılması gereklidir. Bununla beraber 2050 yılına kadar da %40-95 oranında karbon salınımının azaltılması gerekmektedir. Böylece küresel ısınma ısınmada görülen +2° ısınmanın kontrol altına alınabileceği ifade edilmiştir. Fakat protokolde yer alan ülkelerin pek de bu uyarıları uymadığı görülmektedir (IPCC, 2007, s. 783-792). Türkiye ise Paris Anlaşması çerçevesinde sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar %21 oranına kadar azaltılacağı taahhütünde bulunmuştur. Buna ek olarak 2030 yılına kadar Türkiye ekonomisinde enerji, sanayi, tarım, ulaştırma, inşaat başta olmak üzere ekonominin her sektöründe sera gazı salınımını azaltmayı hedeflediğini açıklamıştır (Binpınar, 2016, s. 4). Türkiye Paris İklim anlaşmasını 2016 yılında imzalamasına rağmen; 7 Ekim 2021 tarihinde mecliste oylanarak resmi gazetede yayımlanmıştır.

Antlaşma, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının kontrol altına alınması ve en aza indirilmesi, iklim değişikliğinin de önlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Bu bağlamda, doğal enerji kaynakları kullanmak, mevsimine uygun ürünler yetiştirip tüketmek, geri dönüşümden yararlanmak bu mücadeleye katkı sağlamaktadır. Dünya üzerinde kişi başı korbandioksit salınım miktarı Şekil 1'de görülebilir.

Şekil 1. Kişi Başına Düşen CO₂ Emisyonu (Metrik Ton), Dünya



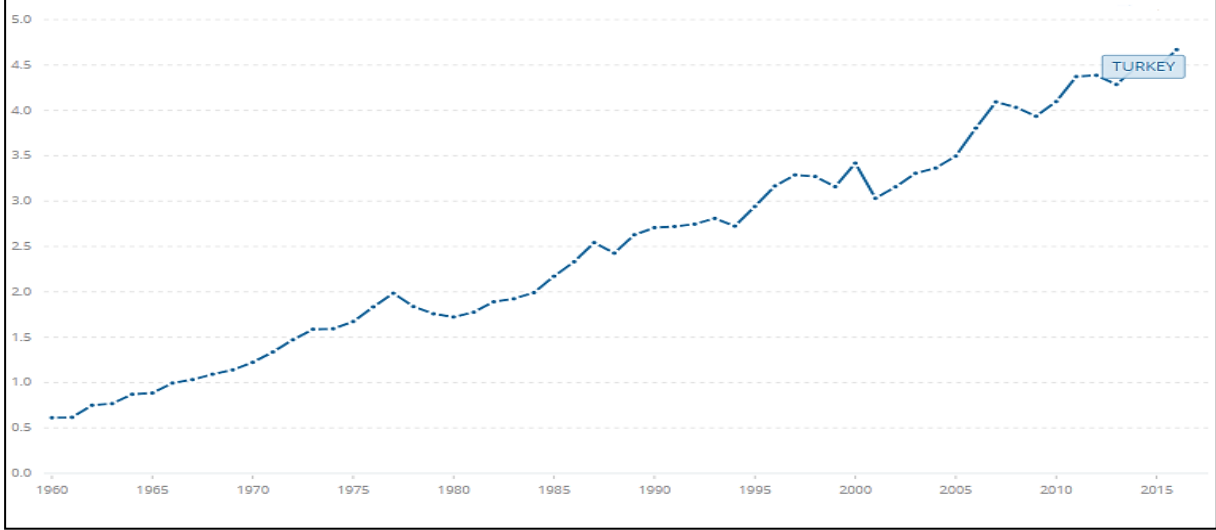
Kaynak: (World Bank, 2021).

Dünya genelinde, sanayi devriminden bu yana enerji kullanımı için karbon bazlı kömür, petrol, çeşitli gazlar ve atıkların yakılarak endüstriyel işlemlerde kullanılması iklim değişikliğine neden olmaktadır. Karbon salınımının 1960'lı yıllardan bugüne uzanan dönemde Şekil 1'de görüldüğü üzere, artan bir trend içerisinde. Bu etki, elbette ülkelerin gelişmişlik seviyelerine, nüfusuna, enerjiye olan taleplerine ve buldukları bölgelere göre de çeşitlilik göstermektedir. Dünya sera gazı emisyonlarının salınımında, ABD ve Çin sıralamanın başında yer almaktadır. Grafikte yer alan artış trendi, gelecek yıllarda küresel olarak etkisini giderek artıracaktır. İklim değişikliği, sosyal ve ekonomik sorunlar, temiz su kaynaklarının azalması insan sağlığını ve yaşamını olumsuz yönde etkileyen başlıca konular olarak artık karşımıza çıkmaktadır.

Gelişmiş ülkelere bakıldığında ise karbon emisyonu ile ekonomik büyüme yakın ilişkisinin ayrılıp farklılaştığı görülmektedir. Handrich vd. (2015) Almanya, ABD, Çin ve OECD ülkeleri üzerinde yaptığı çalışmada bu ilintili durumun kırıldığını gözlemlemiştir. Örneğin Almanya'da enerji tüketimi ile karbon salınımı ilişkisinin ayrılmasını enerji verimliliğinin artması ile açıklanmıştır. ABD'de enerji tüketiminin artmasına ve OECD ülkelerinde de ekonomik büyüme yaşanmasına rağmen karbon salınımındaki düşüş yine aynı şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan eğilimin artmasından dolayı meydana gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin güçlenmesi enerji verimliliğindeki artışı ve karbon emisyon miktarlarının azalması yönünde olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Ancak, gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyüme için yoğun enerji talebine ihtiyaç duyduklarından dolayı bu ilişkinin ayrılması yakın dönemde pek de olanaklı görülmemektedir (Handrich vd., 2015, s. 27).

Gelişmekte olan ülke grubunda yer alan Türkiye için ise durum şöyle açıklanabilir; 1980 döneminden günümüze kadar Türkiye ekonomisi, dışa açık bir ekonomi politikası izlediğinden dolayı global düzen ile bütünleşmiş bir şekilde büyüme gösteren yapıya sahiptir. Dolayısıyla, bu da ülkenin hem üretimini hem de tüketimini artırarak enerji talebine olan ihtiyacı yükseltmiştir. Ancak, bunun bir sonucu olarak iklim ve çevre sorunları, su kaynaklarının tehdidi gibi sorunlara neden olmuştur. Yakın dönemde oluşan bilinçlenme eğilimi ile hem bireysel hem küresel çapta atılan adımlar, ekolojik bir denge sağlayarak yeşil bir ekonomiyi amaçlamaktadır. Türkiye için kişi başı korbandioksit salınım miktarı Şekil 2'de görülebilir.

Şekil 2. Kişi Başına Düşen CO₂ Emisyonu (Metrik Ton), Türkiye



Kaynak: (World Bank, 2021).

Şekil 2’de açıkça görüldüğü üzere Türkiye’de karbon salınımı hızla artan bir eğilim göstermektedir. Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye, ekonomik büyüme amacıyla enerjiye olan bağımlılığı dolayısıyla ciddi boyutlarda karbon salınımı gerçekleştirmektedir. Şekil 2 verileri ile karşılaştırıldığında son zamanlarda azalan bir yapı gösteren karbondioksit miktarı Türkiye’de artış eğilimindedir.

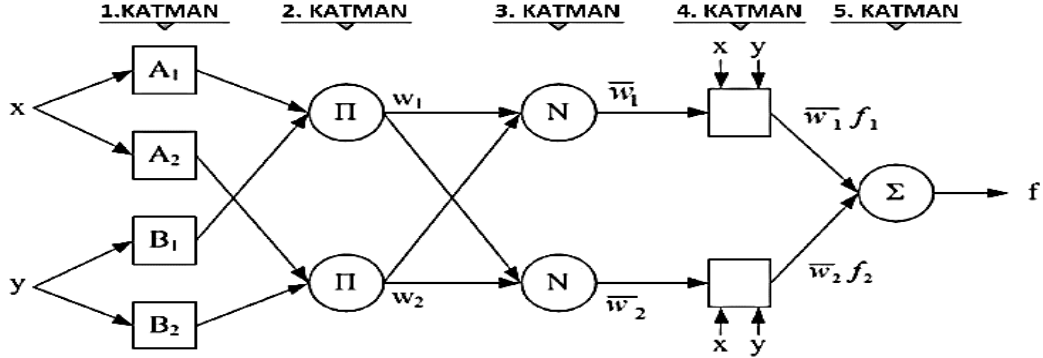
Türkiye; taş kömürü, linyit, ham petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların yanı sıra hidro enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklara sahip olmasına rağmen küresel olarak değerlendirildiğinde oldukça düşük bir paya sahiptir. Başka bir ifadeyle açıklamak gerekirse, mevcut enerji kaynaklarının bulunmasına karşın ihtiyaç duyduğu enerji kaynaklarının büyük bir oranını ithal ederek kullanmaktadır. Türkiye petrol ve doğal gazı tüketim oranı neredeyse %60 civarında olmasından kaynaklı çevre ve hava kirliliği kaçınılmazdır. Dolayısıyla, gelişmekte olan her ülkenin karşı karşıya kaldığı durum olan ekonomik büyüme amacıyla enerji tüketimine olan bağımlılık Türkiye’de de aynıdır. Ayrıca, kişi başına karbon salınımı ise birçok gelişmiş ülkeye göre oldukça yüksektir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında, karbon salınımı ve enerji tüketimi kontrol altına alınması gereken bir olgudur (Yöntem, 2013, s. 3-5).

4. ANFIS

Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), temelde yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerinin bir arada yararlanıldığı bir tahmin yöntemidir. ANFIS, yapay sinir ağlarının öğrenme becerisini esas almakta iken bulanık çıkarım modellemesi ile nokta girdi-çıkı değişkenlerinin aidiyet seviyelerinin saptanmasından yararlanır, bu nedenle iki yöntemin birleşimi söz konusudur (Jang, 1997). ANFIS, esas hedefi belirli bir alanla öğrenme işlemcisi oluşturarak bulanık çıkarım yapısı içerisindeki değişkenlerin olabilecek en iyi değerinin saptanmasını sağlamaktır. Her bir değişkenin optimal değerini elde ederken, amaçlanan ile fiili durum arasındaki yanılmanın minimum düzeyde olduğu sonuçları elde etmeye çalışır. Dolayısı ile bu işlem birbiri ile ilişkili bir çok aşamaya sahiptir. Adaptif ağ sistemi, aslında tek bir çıktı elde etmek için aldığı sinyalleri öğrenme kapasitesi sayesinde sonraki adıma iletir ve birbirini besleyen ilerletmeli yapıda bir ağ modeli oluşur (Şenocak, 2018, s. 55).

ANFIS temel yapısı gereği birbirini besleyen bir süreçte sahiptir ve bu modelin 5 katmandan oluşmaktadır. Jang (1997), tarafından yapılan çalışmaya göre bu katmanlar şöyle açıklanmaktadır;

Şekil 3. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)



Kaynak: (Jang, 1997).

Başlangıçta x , y girdi değişkenleri işlem uygulanması için sisteme dahil olurlar. ANFIS modelinde yer alan katmanlar için açıklamaları şu şekildedir;

- 1) katmanda mevcut girdiler bulanık bir ayrıma tabii olurlar ve her bir kare aslında birer düğümü temsil eder. Düğümlerin çıkış noktaları girdide sağlanan örnekleri ve aynı zamanda onların üyelik fonksiyonlarına uygun üyelik fonksiyonlarından meydana gelmektedir.
- 2) katmandaki düğümler bulanık mantığa göre sistemleştirilmiş kurallara göre bir önceki katmandan gelen bütün sinyal değerlerini birbiri ile çarpır.
- 3) katman, çarpımı yapılan tüm sinyallerin normalleşme seviyesini belirlemektedir. Yani her bir düğüm değerini giriş sinyali olarak kabul ederek normal değerinin ölçümünü yapmaktadır.
- 4) katman, berraklaştırma bölümü olarak aldandırılan kısımdır ve değişkenlerin nihai ağırlıklandırılmış parametre değerleri oluşturulur.
- 5) katmanda ise artık çıkış noktasının sağlanacağı tek bir düğüm bulunur ve son işlem yapılarak bulanık mantıktan kesin sonuç düğüm çıkışı sağlanır. Yani sonuç değerleri elde edilir (Jang, 1997).

Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error) (RMSE) hata kriteri göz önünde bulundurulduğunda, Sugeno tip bulanık çıkarım sistemlerinin, Mamdani tip bulanık sistemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, Sugeno tip bulanık sistemler daha fazla hesaplama gerektirmektedir (Abraham, 2001). Çalışmada, daha iyi sonuçların elde edilmesi adına modellerin oluşturulması ve uygulanmasında Sugeno tip bulanık çıkarımlar kullanılmıştır.

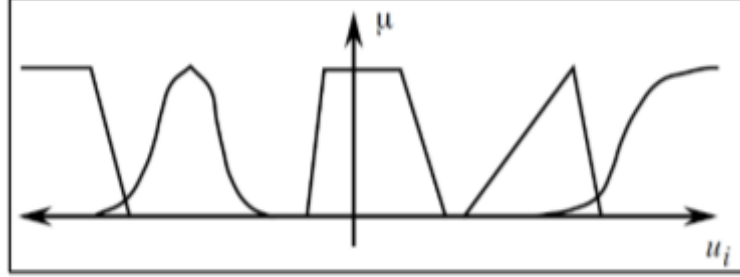
Bulanık modelin kullanıldığı sistem kimliklendirilmesi temelde adaptif bir ağ yapısı içermektedir. Bu nedenle, gerek sistem hakkında çevresel bilgiyi kullanma gerekse sistemin giriş çıkış verilerini kullanarak kendiliğinden güncelleme yapabilme kapasitesine sahiptir. Temelde ANFIS yöntemi, Sugeno tipik bulanık sistemlerine ait sinirsel öğrenme yeteneğini içeren bir ağ yapısını tanımlamaktadır. Bu sayede, belirlenmiş fonsiyonları yerine getirmek amacıyla katman biçiminde düğümlerin bir araya gelmesinden meydana gelir (Tsoukalas ve Uhrig, 1996). Bulanık modellerde kullanılan üyelik fonksiyonları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bulanık Üyelik Fonsiyonları

| Üyelik Fonsiyonları | Matlab İsim Kodu |
|--|------------------|
| Üçgen Üyelik Fonsiyonu | trimf |
| Yamuk Üyelik Fonsiyonu | trapmf |
| Çan Şekilli Üyelik Fonsiyonu | gbellmf |
| Gauss Üyelik Fonsiyonu(tam simetrik) | gaussmf |
| Gauss Üyelik Fonsiyonu | gauss2mf |
| [] Üyelik Fonsiyonu | pimf |
| Sigmoidal Üyelik Fonsiyonu(tam simetrik) | dsigmf |
| Sigmoidal Üyelik Fonsiyonu | psigmf |

Kullanılan üyelik fonksiyonları isimlerini Şekil 4’de görüldüğü gibi grafiğin şeklinden almaktadır.

Şekil 4. Bulanık Mantıkta Kullanılan Üyelik Fonksiyon Tipleri



Sinirsel uyarıların öğrenme teknikleri, bulanık modelleme işlemi gerçekleştirilmek amacıyla veri setini kullanarak ilgili sistem için “öğrenen” bir model geliştirmeyi amaçlar. Başka bir ifadeyle, ANFIS girdi/ çıktı veri setini Yapay Sinir Ağları (YSA) ile geri yayımlı algoritmayı tek başına ya da en küçük kareler yöntemi ile birlikte kullanarak üyelik fonksiyonu parametrelerini düzenler. Böylece bir bulanık çıkarım sistemi (fuzzy inference system - FIS) oluşturur. Bu düzenleme ile bulanık sistemin modellediği veriler yardımıyla ilgili sistemin öğrenmesini sağlar. Yani kendini modelleyeceği veriye göre uyarlar/adapte eder. Bu nedenle, uyarlanabilir bir yapıya sahiptir (Demuth ve Beale, 2000).

YSA bilgilerin eksik olması durumunda dahi çalışabilen, uyumlu, oluşabilecek hata ihtimallerinde esnek bir yapıya sahiptir. Bu yöntem bulanık (belli olmayan) durumlarda da karar yeteneğine sayesinde diğer birçok tahmin yöntemlerinden ayrılmaktadır. YSA, mevcut özelliklerinin yanı sıra tahminde başarılı olduğu yöntemleri ise veri sıkıştırma, optimizasyon, sınıflandırma, filtreleme olarak ana başlıkta toplanabilir. Bu özellikleri sayesinde neredeyse tüm bilim alanlarının uygulamalarında güvenilir sonuçlar almak muhtemeldir (Öztemel, 2012, s. 41). YSA incelenen tüm bu özellikleri sayesinde ve yüksek modelleme becerisi nedeniyle ekonomi, finans, mühendislik gibi çoğu alanda başlıca seçilen yöntemlerden biridir.

5. UYGULAMA

Uygulamanın birinci bölümünde, 1998-2018 yıllarını kapsayan aylık veri seti ile geriye dönük 2019-2020 aylık karbon emisyonu tahmin edilmiştir. İkinci bölümde, elde edilen karbon emisyonu değerleri (t) için (t-12, t-11, t-10, ort-t-12, ort-t-11, ort-t-10) değişkenleri kullanılarak 2021,2022 ve 2023 yılı tahminleri yapılmıştır. Veri seti eğitim(%70), test(%23) ve kontrol(%7) kümelerine ayrılarak her iki uygulama içinde uygulanmıştır. Çalışmada ANFIS yönteminin uygulanmasında Matlab programından yararlanılmıştır.

6. VERİ

Verilerin elde edilmesinde Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veri tabanı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak veriler aylık olarak seçildiğinden dolayı 1998-2018 yılları arasında verilerin periyodları incelenmiştir. İlgili yıllar için ithalat ve ihracat verilerinin aylık olarak yer aldığı görülmüştür. Ancak, GSYH verisi çeyrek dönemlik iken nüfus verisinde periyodu yıllıktır. Bundan dolayı GSYH ve nüfus verileri aylık periyodlara göre yeniden düzenlenmiştir. Bunun için SPSS programında yer alan eksik verilerin tamamlanması yöntemi altında doğrusal enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

Veri madenciliği ve makine öğrenmesinde çoğu zaman veriler farklı olduğu için ortalama ve varyans farklı çıkar. Kullanılan veriler için normalleştirme ile farklı birimlerdeki değişkenlerin karşılaştırılmaları mümkün olur. Bu yüzden, veri setinde yer alan değişkenlerin normalleştirilmesi gerekir. Çalışmada kullanılan değişkenlerin standartize edilmiş değerleri bulunarak normalleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Z' standartize edilmiş değer olmak üzere her bir veri X için μ : ortalama ve σ : standart sapma değeri ile Denklem (1) ile normalleştirme işlemine tabi tutulmuştur.

$$Z' = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (1)$$

Normalleştirme işlemi sonucunda elde edilen veriler için eğitim, test ve kontrol kümelerine ayrılmıştır. Uygulama sonuçlarının elde edilmesi sonucunda performans değerlendirme işlemleri için Açıklayıcılık Katsayısı (R²) ve Ortalama Hata Kare (Mean Square Error-MSE) ile yapılmıştır.

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

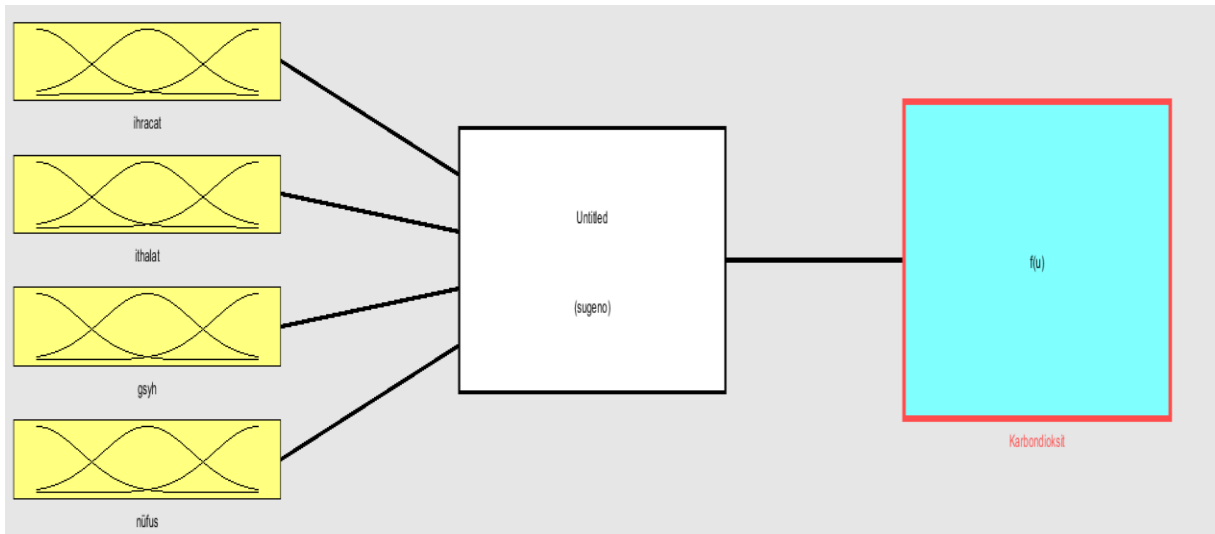
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (3)$$

Sonuçların yorumlanmasında R^2 'nin 1'e en yakın değeri alması beklenirken test verileri hatasında MSE'nin en düşük değeri başarılı sayılacaktır.

6.1. 2019-2020 Tahmini

GSYİH, nüfus, ihracat ve ithalat bağımsız değişkenleri ile geriye dönük 2019-2020 karbon emisyonu değerleri aylık olarak ANFIS modeli ile tahmin edilmiştir. Oluşturulan model Şekil 5'de gösterilmiştir.

Şekil 5. 2019-2020 Tahmini Anfis Model Yapısı



Model içinde değişkenler olan model tipi, üyelik fonksiyonu sayısı ve fonksiyon tipi değiştirilerek test verisi için en küçük hata değeri veren model başarılı sayılmıştır. Denenen modeller ve hata değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

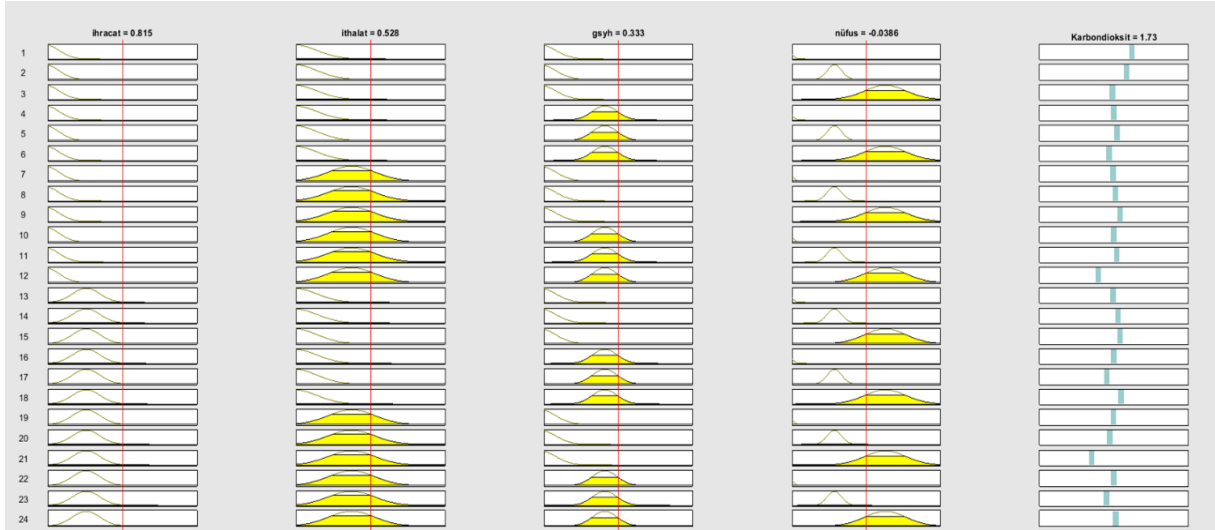
Tablo 2. 2019-2020 Tahmini Uygulama Denemeleri

| Model | Üyelik Fonk. Sayısı | Fonk. Tipi | Test-Hata | Üyelik Fonk. Sayısı | Fonk. Tipi | Test-Hata |
|----------|---------------------|------------|-----------|---------------------|------------|-----------|
| Sabit | 3-3-3-3 | trimf | 0,5403 | 2-2-2-2 | trimf | 0,4669 |
| | 3-3-3-3 | trapmf | 0,5319 | 2-2-2-2 | trapmf | 0,5254 |
| | 3-3-3-3 | gbellmf | 0,344 | 2-2-2-2 | gbellmf | 0,4517 |
| | 3-3-3-3 | gaussmf | 0,4712 | 2-2-2-2 | gaussmf | 0,3869 |
| | 3-3-3-3 | gauss2mf | 0,523 | 2-2-2-2 | gauss2mf | 0,5182 |
| | 3-3-3-3 | pimf | 0,5262 | 2-2-2-2 | pimf | 0,5194 |
| | 3-3-3-3 | dsigmf | 0,5157 | 2-2-2-2 | dsigmf | 0,496 |
| | 3-3-3-3 | psigmf | 0,5157 | 2-2-2-2 | psigmf | 0,4963 |
| Doğrusal | 3-3-3-3 | trimf | 1,0909 | 2-2-2-2 | trimf | 25,97 |
| | 3-3-3-3 | trapmf | 0,5755 | 2-2-2-2 | trapmf | 0,4376 |
| | 3-3-3-3 | gbellmf | 2,8568 | 2-2-2-2 | gbellmf | 0,4898 |
| | 3-3-3-3 | gaussmf | 1,0879 | 2-2-2-2 | gaussmf | 0,3206 |
| | 3-3-3-3 | gauss2mf | 0,8929 | 2-2-2-2 | gauss2mf | 1,7855 |
| | 3-3-3-3 | pimf | 0,3592 | 2-2-2-2 | pimf | 0,4109 |
| | 3-3-3-3 | dsigmf | 1,0003 | 2-2-2-2 | dsigmf | 0,3532 |
| | 3-3-3-3 | psigmf | 0,9989 | 2-2-2-2 | psigmf | 0,3532 |

| Model | Üyelik Fonk. Sayısı | Fonk. Tipi | Test-Hata | Üyelik Fonk. Sayısı | Fonk. Tipi | Test-Hata |
|----------|---------------------|----------------|---------------|---------------------|------------|-----------|
| Doğrusal | 2-3-2-3 | gaussmf | 0,9645 | | | |
| | 2-2-3-3 | gaussmf | 0,8697 | | | |
| | 2-2-2-3 | gaussmf | 0,2468 | | | |
| | 2-3-3-3 | gaussmf | 1,0517 | | | |
| | 3-2-3-3 | gaussmf | 1,183 | | | |
| | 3-3-2-3 | gaussmf | 0,9466 | | | |
| | 3-3-3-2 | gaussmf | 1,461 | | | |
| | 3-2-2-2 | gaussmf | 1,5192 | | | |

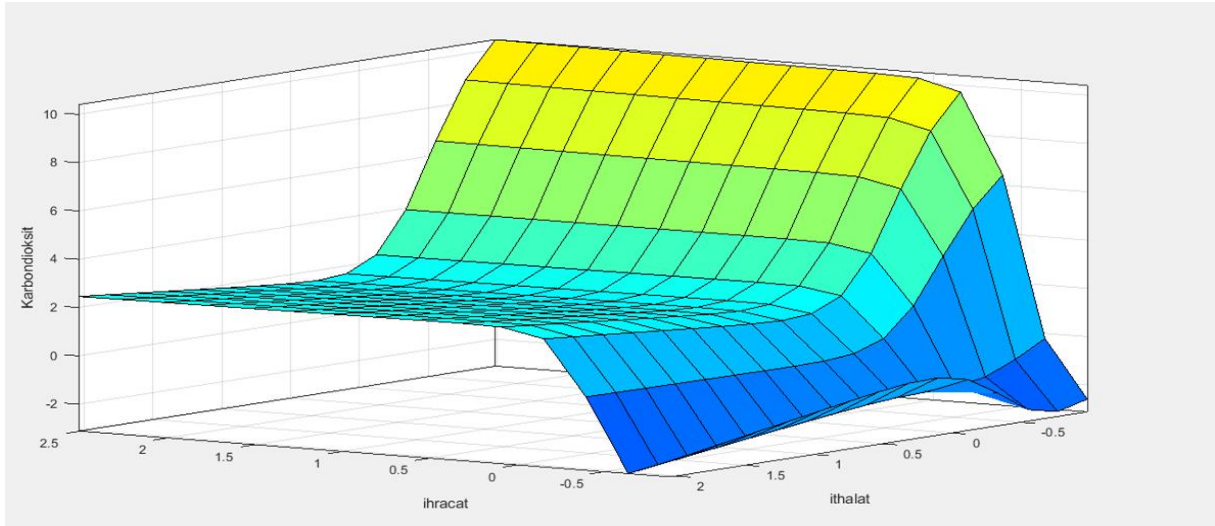
Denemeler sonucunda en düşük hata değerini (0,2468) veren doğrusal model için, üyelik fonksiyonu sayısı “2-2-2-3” ve fonksiyon tipi “gaussmf” olarak bulunmuştur. Elde edilen model için 24 bulanık tabanlı kural Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şekil 6. 2019-2020 Tahmini Anfis Modeli Bulanık Kuralları



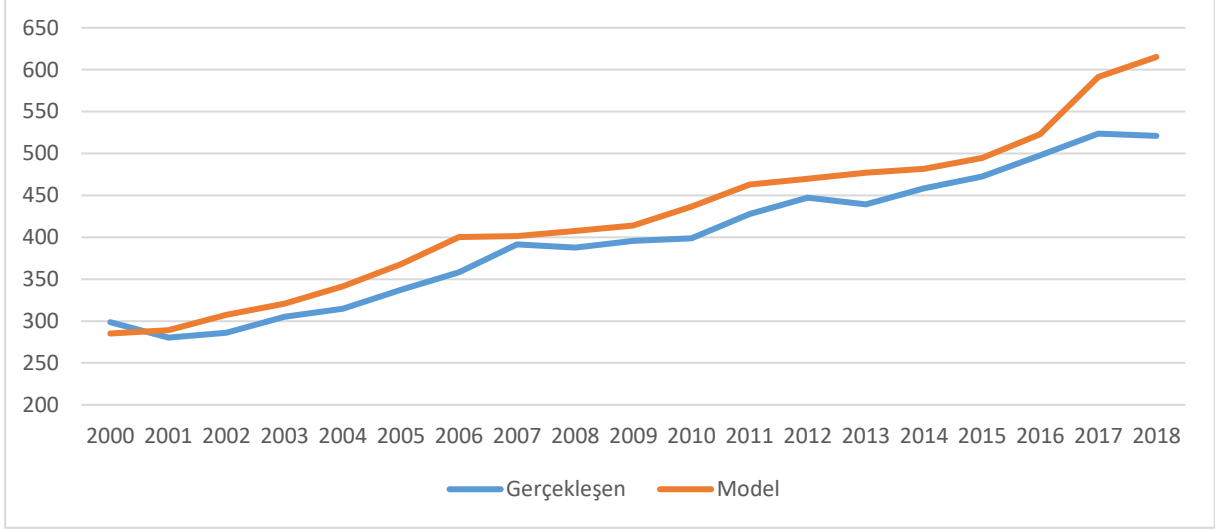
Elde edilen model yapısında bulunan ithalat, ihracat ve karbondioksit değerleri ilişkisi Şekil 7’de gösterilmiştir.

Şekil 7. İthalat, İhracat ve Karbondioksit İlişkisi Grafığı



Modelin açıklayıcılık katsayısı ($R^2=0,964$) bulunmak üzere modelin grafiği Şekil 8’de gösterilmiştir.

Şekil 8. Birinci Model Grafiği



Model ile elde edilen kurallar kullanılarak bulunan 2019-2020 aylık tahminleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

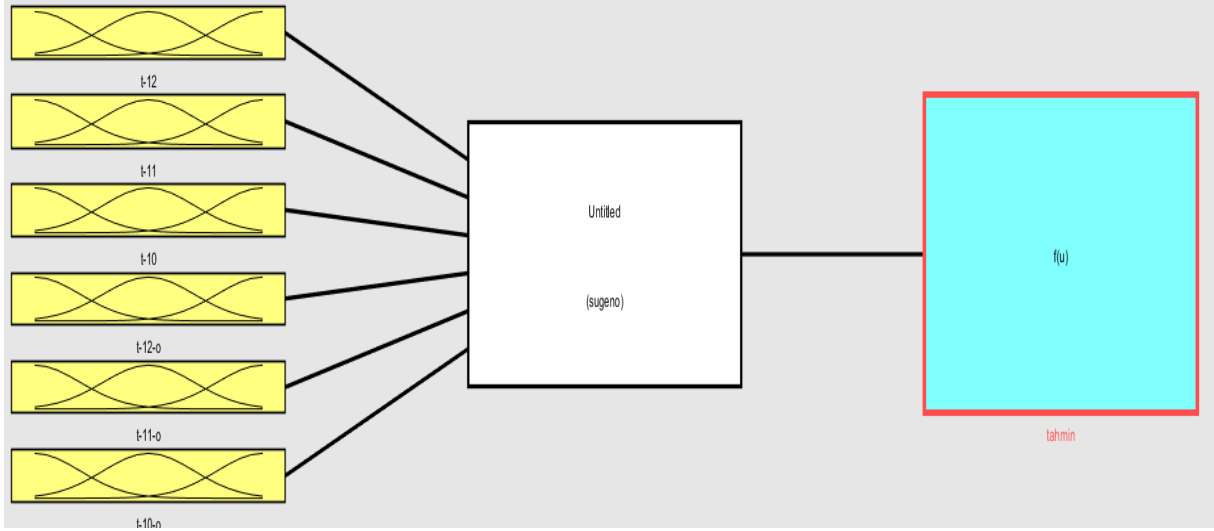
Tablo 3. 2019-2020 Yılları Karbondioksit Salınım Tahmini (Milyon Ton)

| Aylar | Kabondioksit | Aylar | Kabondioksit |
|---------|--------------|---------|--------------|
| 2019-1 | 523,32 | 2020-1 | 551,25 |
| 2019-2 | 525,75 | 2020-2 | 552,50 |
| 2019-3 | 528,18 | 2020-3 | 553,75 |
| 2019-4 | 530,60 | 2020-4 | 555,00 |
| 2019-5 | 533,03 | 2020-5 | 556,25 |
| 2019-6 | 535,45 | 2020-6 | 557,50 |
| 2019-7 | 537,88 | 2020-7 | 558,75 |
| 2019-8 | 540,30 | 2020-8 | 560,00 |
| 2019-9 | 542,73 | 2020-9 | 561,25 |
| 2019-10 | 545,15 | 2020-10 | 562,50 |
| 2019-11 | 547,57 | 2020-11 | 563,75 |
| 2019-12 | 550,00 | 2020-12 | 565,00 |

6.2. 2021-2022-2023 Tahmini

Elde edilen karbon emisyonu değerleri (t) için (t-12, t-11, t-10, ort-t-12, ort-t-11, ort-t-10) değişkenleri kullanılarak gelecek dönem 2021, 2022 ve 2023 yılı tahminleri yapılmıştır. Oluşturulan model Şekil 9’da gösterilmiştir.

Şekil 9. 2021, 2022 ve 2023 Tahmini Anfis Model Yapısı



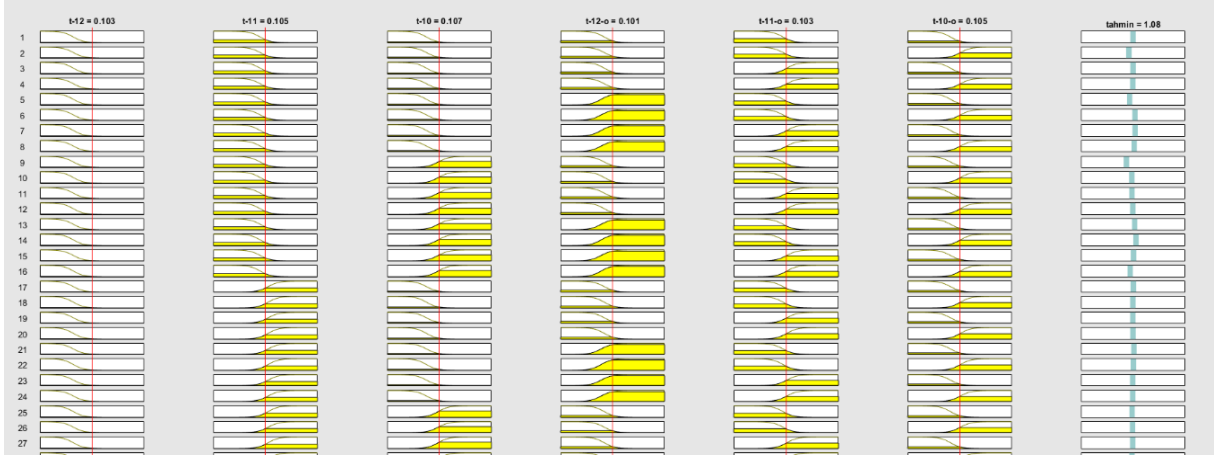
Model içinde değişkenler olan model tipi, üyelik fonksiyonu sayısı ve fonksiyon tipi değiştirilerek test verisi için en küçük hata değeri veren model başarılı sayılmıştır. Denenen modeller ve hata değerleri Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 2021, 2022 ve 2023 Tahmini Uygulama Denemeleri

| Model | Üyelik Fonk. Say | Fonksiyon Tipi | Test-Hata |
|----------|------------------|----------------|---------------|
| Sabit | 2-2-2-2 | trimf | 0,1030 |
| | 2-2-2-2 | trapmf | 0,4020 |
| | 2-2-2-2 | gbellmf | 0,2520 |
| | 2-2-2-2 | gaussmf | 0,0980 |
| | 2-2-2-2 | gauss2mf | 0,1170 |
| | 2-2-2-2 | pimf | 0,3140 |
| | 2-2-2-2 | dsigmf | 0,6770 |
| | 2-2-2-2 | psigmf | 0,6770 |
| Doğrusal | 2-2-2-2 | trimf | 0,1290 |
| | 2-2-2-2 | trapmf | 0,1660 |
| | 2-2-2-2 | gbellmf | 0,1400 |
| | 2-2-2-2 | gaussmf | 0,3050 |
| | 2-2-2-2 | gauss2mf | 0,3420 |
| | 2-2-2-2 | pimf | 0,1440 |
| | 2-2-2-2 | dsigmf | 0,0630 |
| | 2-2-2-2 | psigmf | 0,0632 |

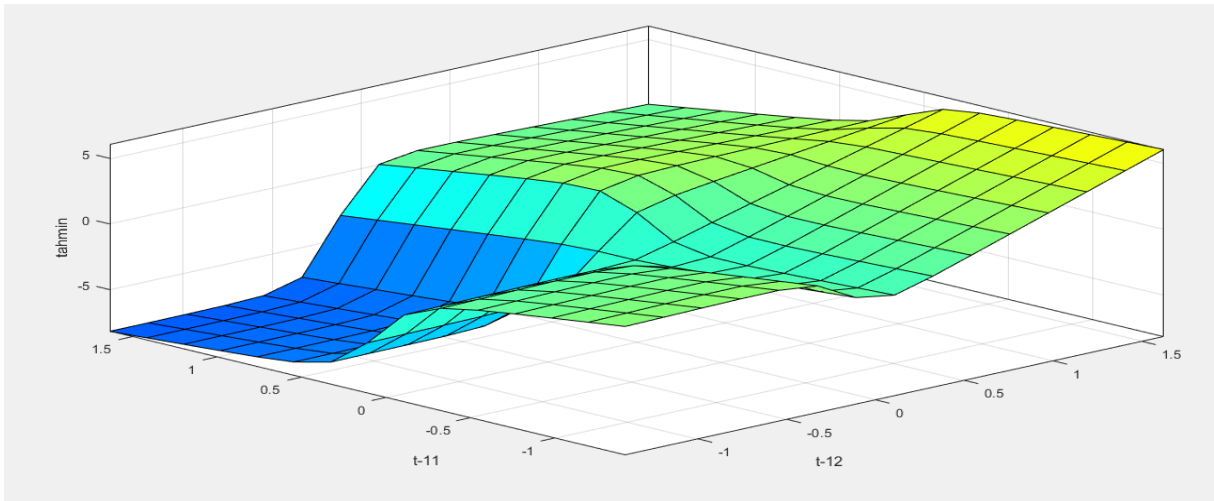
Denemeler sonucunda en düşük hata değerini (0,0630) veren doğrusal model için, üyelik fonksiyonu sayısı “2-2-2-2” ve fonksiyon tipi “dsigmf” olarak bulunmuştur. Elde edilen model için 64 bulanık tabanlı kural örnekleri Şekil 10’da gösterilmiştir.

Şekil 10. 2021, 2022 ve 2023 Tahmini Anfis Modeli Bulanık Kuralları



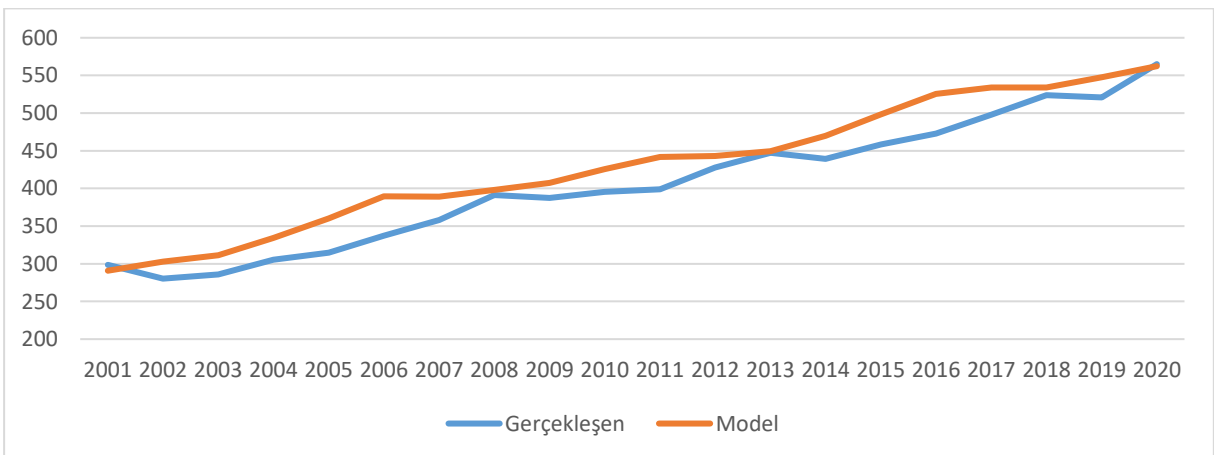
Model yapısında bulunan karbondioksit ile 12 ve 11 aylık gecikmeli değerleri ilişkisi Şekil 11’de gösterilmiştir.

Şekil 11. Karbondioksit ile 12 ve 11 Aylık Gecikmeli Değerleri İlişkisi



Elde edilen modelin açıklayıcılık katsayısı ($R^2=0,99$) bulunmak üzere modelin grafiği Şekil 12’de gösterilmiştir.

Şekil 12. İkinci Model Grafiği



Model ile elde edilen 2021, 2022 ve 2023 aylık tahminleri Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. 2021, 2022 ve 2023 Yılları Karbondioksit Salınım Tahmini (Milyon Ton)

| Aylar | Karbondioksit | Aylar | Karbondioksit | Aylar | Karbondioksit |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| 2021-1 | 562,334 | 2022-1 | 570,056 | 2023-1 | 565,734 |
| 2021-2 | 563,239 | 2022-2 | 573,950 | 2023-2 | 566,891 |
| 2021-3 | 564,398 | 2022-3 | 571,877 | 2023-3 | 583,226 |
| 2021-4 | 565,301 | 2022-4 | 571,215 | 2023-4 | 445,727 |
| 2021-5 | 567,204 | 2022-5 | 570,194 | 2023-5 | 671,007 |
| 2021-6 | 568,106 | 2022-6 | 573,154 | 2023-6 | 660,932 |
| 2021-7 | 569,008 | 2022-7 | 546,060 | 2023-7 | 467,395 |
| 2021-8 | 569,328 | 2022-8 | 572,453 | 2023-8 | 651,789 |
| 2021-9 | 570,229 | 2022-9 | 588,654 | 2023-9 | 485,544 |
| 2021-10 | 565,276 | 2022-10 | 565,874 | 2023-10 | 564,983 |
| 2021-11 | 566,876 | 2022-11 | 586,030 | 2023-11 | 581,088 |
| 2021-12 | 570,948 | 2022-12 | 563,270 | 2023-12 | 642,884 |

Modellemeler sonucu elde edilen tahminler ile yıllık karbondioksit salınımı değerleri ve değişimi Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Yıllık CO₂ Salınımları (Milyon Ton) ve Artış Yüzdesi

| Yıllar | Karbondioksit | Artış Yüzdesi |
|--------|---------------|---------------|
| 2010 | 398,88 | 0,06% |
| 2011 | 427,83 | 7,26% |
| 2012 | 447,25 | 4,54% |
| 2013 | 439,33 | -1,77% |
| 2014 | 458,37 | 4,33% |
| 2015 | 472,60 | 3,10% |
| 2016 | 497,74 | 5,32% |
| 2017 | 523,75 | 5,23% |
| 2018 | 520,94 | -0,54% |
| 2019 | 550,00 | 5,58% |
| 2020 | 565,00 | 2,73% |
| 2021 | 570,95 | 1,05% |
| 2022 | 563,27 | -1,34% |
| 2023 | 642,88 | 14,13% |

Tablo 6 incelendiğinde negatif yönlü artışların yani azalışların 2013, 2018 tarihlerinde iken 2022 yılında da azalması beklenmektedir. Özellikle pandemi sürecinin başlangıcı olan 2020 yılında artış miktarının azalışa geçtiği ve 2022’de azaldığı görülmektedir. Ancak 2023 yılında neredeyse son on yılın en büyük artışı analiz sonucunda beklenmektedir.

7. SONUÇ

Karbon emisyonunun sürekli artan yönde eğiliminin görüldüğü son yıllarda; ülke ekonomilerine, iklimlere ve insan sağlığına verdiği zararlar artık ülke bazlı değil küresel boyutta değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, her bir ülkenin sera gazı salınımlarının azaltılması için yapacağı mücadele aynı zamanda ortak pozitif etkileri de beraberinde getirecektir. Özellikle, gelişmekte olan ülke gruplarının enerji talebine olan bağlılığı göz önünde

bulundurulduğunda karbon salınımının kontrol altına alınması için yapılacak yatırım ve projelerin önemi daha da artmaktadır.

Türkiye’de incelenmesi gereken hassas bir konu olan karbon salınımını bu çalışma ile mercek altına alınmıştır. Türkiye’deki geçmiş yıllara ait karbon emisyon değerlerini ANFIS yöntemi aracılığıyla iki bölümde tahmin edilmiştir. Uygulamanın birinci bölümünde GSYİH, nüfus, ihracat ve ithalat değişkenlerine dayalı olarak 1998-2018 yıllarını kapsayan aylık veri seti ile geriye dönük 2019-2020 aylık karbon emisyonu tahmin edilmiştir. Elde edilen aylık karbon emisyonu değerleri (t) zaman için (t-12, t-11, t-10, ort-t-12, ort-t-11, ort-t-10) gecikmeli ve ortalama değerleri kullanılarak 2021, 2022 ve 2023 yılı tahminleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde karbon emisyon salınımında 2023 yılı hariç yüksek dalgalanmalara rastlanmasa da genel yapısı itibari ile artış eğilimi görülmektedir. Ancak 2023 yılında %14 gibi geçmiş yıllara nazaran daha yüksek bir artış gözlenmektedir. Pandemi dönemi olan 2020 ve 2021 yıllarında artışın daha stabil kaldığı söylenebilir. Ancak 2020 ve 2021 yılında Türkiye ve Dünya’da meydana gelen orman yangınları ve sel felaketleri küresel ısınmanın ve bunun sonucunda meydana gelen iklim değişikliklerinin Dünya’nın artık çözümünü bulması gereken başlıca sorunu haline gelmiştir. Türkiye, Kyoto Protokolü çerçevesinde sera gazı salınımını azaltmaya yönelik bir taahhütte bulunmamaktadır ancak Paris iklim Anlaşması çerçevesinde karbon gazı salınımını 2030 yılına kadar %21 oranında biz azalışa yöneleceğini belirtmiştir. Söz konusu açıklamalar kapsamında, Türkiye’nin karbon salınım bulguları değerlendirildiğinde 2000 yılından günümüze kadar stabil bir şekilde artış gösterdiği ve gelecek dönemde de bu artışın hız kazanacağı görülmektedir. Dolayısıyla, bahsi geçen hedef ile elde edilen bulguların oldukça uzak olduğu görülmektedir.

Genel olarak yapılması gerekenler yüksek salınım seviyelerinin kontrol altına alınması ve azaltılmasına yönelik yatırım ve projelerin hız kazandırılmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ve doğal kaynaklara olan talep artırılarak rekabet gücü sağlanabilir. Birey bazında ise; geri dönüşüm ürünlerine verilen önem, taşıt kullanımı, organik gıda üretimi gibi birçok alanda farkındalığı arttırmak büyük öneme sahiptir. Ayrıca yatırım kaynaklarının belirlenmesi, iklim kalitesinin yükselmesi, enerji kullanımında verimliliğin artması gibi temel konularda politika yapıcılara büyük sorumluluk düşmektedir.

YAZARLARIN BEYANI

Katkı Oranı Beyanı: Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı: Çalışmada herhangi bir kurum ya da kuruluştan destek alınmamıştır.

Çatışma Beyanı: Çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması söz konusu değildir.

KAYNAKÇA

- Abraham, A. (2001). Neuro-fuzzy systems: state-of-the-art modeling techniques, connectionist models of neurons, learning processes and artificial intelligence. *Lecture Notes in Computer Science*, 2084, 269-276.
- Acheamponga, A., Boatengb, O. ve Emmanuel, B. (2019). Modelling carbon emission intensity: Application of artificial neural network. *Journal of Cleaner Production*. 225, 833-856.
- Ahmadia, M. H., Jashnanib, H., Chauc, K., Kumard, R. ve Rosene, M. A. (2019). Carbon dioxide emissions prediction of five middle eastern countries using artificial neural Networks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1556-7230. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1679914>
- Başar, S. ve Akyol, H. (2018). Enerji tüketimi ve karbon emisyonu ile iktisadi büyüme arasındaki ilişkinin tespit edilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi*. 9(23).
- Behrang, M. A., Assareh, E., Assari, M. R. ve Ghanbarzadeh, A. (2011). Using bees algorithm and artificial neural network to forecast world carbon dioxide emission. *Energy Sources. Part A*, 33, 1747-1759, <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.493920>
- Birpınar, M. E. (2016). Paris Anlaşması ve Türkiye. *Anahtar Dergisi*. 329, 4-5.

- Boğar, E. ve Boğar Özüt, Z. (2017). Türkiye'nin sektörel CO2 gazı salınımlarının yapay sinir ağları ile tahmini. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*. 3(2), 12-24.
- Çağlayan Akay, E., Abdieva, R. ve Oskonbaeva, Z. (2015). Yenilenebilir enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve karbondioksit emisyonu arasındaki nedensel ilişki: Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri örneği. *International Conference on Eurasian Economies*. 628-636.
- Çetin, M. ve Yüksel, Ö. (2018). Türkiye ekonomisinde enerji tüketiminin karbon emisyonu üzerindeki etkisi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 5(2), 169-186.
- Demir, İ. (2006). Kyoto protokolü amaçlarına ulaşabilme yolunda dünya enerji kullanımında meydana gelebilecek değişiklikler. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 241-251.
- Demuth, H. ve Beale, M. (2000). *Fuzzy logic toolbox for use with MATLAB*. User's Guide Version 4".
- Denchak, M. (2018). *Paris climate agreement: Everything you need to know*. Natural Resources Defense Council, <https://www.nrdc.org/stories/paris-climate-agreement-everything-you-need-know> adresinden 29 Ocak 2020 tarihinde alınmıştır.
- Günel, T. (2019). Türk Cumhuriyetleri'nde CO2 emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: Panel nedensellik analizi. *Sosyoekonomi Dergisi*. 27(40), 151-164.
- Handrich, L., Kempfert, C. ve Mattes, A. (2015). *Turning point: Decoupling greenhouse gas emissions from economic growth*. Heinrich Böll Stiftung.
- IPCC. (2007). IPCC 2007 Report. *Intergovernmental Panel on Climate Change: Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jang, J. S. R ve Sun, C. T. ve Mizutani, E. (1997). *Neurofuzzy and soft computing*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Kahraman, G. (2019). Türkiye'de kentleşmenin enerji tüketimi ve karbon salınımı üzerine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 9(3), 1559-1566.
- Kaya, H. E. (2020). Kyoto'dan Paris'e küresel iklim politikaları. *Meriç Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi*. 4(10), 165-191.
- Külünk, İ. (2018). Türkiye'de ekonomik büyüme ve karbon salınımı ilişkisi: engle-granger eşbütünleşme analizi (1960-2013). *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 193-205. <http://dx.doi.org/10.11611/yead.384784>
- Mazlum, S. C. (2008). Uluslararası iklim politikası: hakkaniyet ve sürdürülebilirlik ekseninde bir değerlendirme. E. Karakaya (Ed.) *Küresel ısınma ve Kyoto protokolü: iklim değişikliğinin bilimsel, ekonomik ve politik analizi* içinde (s. 129-167), Bağlam Yayıncılık.
- Özhan, E. (2020). Yapay sinir ağları ve üstel düzleştirme yöntemi ile Türkiye'deki CO2 emisyonunun zaman serisi ile tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. (19), 282-289.
- Özmen, T. M. (2009). Sera gazı- küresel ısınma ve Kyoto protokolü. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını*. 453-2009/1, 42-46.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay sinir ağları* (3. Baskı). Papatya Yayıncılık.
- Öztürk, S. ve Küsmez, T. (2019). Elektrik tüketimi, karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi (1995-2014). *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 12(2), 316-327.
- Pabuçcu, H. ve Bayramoğlu, T. (2016). Yapay sinir ağları ile CO2 emisyonu tahmini: Türkiye örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 18(3), 762-778.
- Pala, A. (2018). Gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketimi, karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisinin ARDL yaklaşımı ile incelenmesi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 14(Özel Sayı), 1-29.
- Sel, A. ve Göktolga, Z. G. (2020). 11. Kalkınma planı çerçevesinde sektörel co2 salımı değerleri projeksiyonu. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 20(2), 158-168.

- Şenocak, F. (2018). *Elektrik piyasa takas fiyatı ağırlıklı ortalamasının anfiş ve yapay sinir ağıları ile tahmini* [Yüksek Lisans Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Tsoukalas, L. ve Uhrig, R. (1996). Neuro fuzzy approach for anticipatory control of complex systems. *IEEE International Conference in Fuzzy Systems*, (1), 587-593.
- Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı. (2020). *İklim değişikliğiyle mücadelenin önemi*. <https://www.mfa.gov.tr/iklim-degisikligiyle-mucadelenin-onemi.tr.mfa> adresinden 20 Kasım 2019 tarihinde alınmıştır.
- Wei, H., Lai, K. K., Nakamori Y., Wang, S. ve Yu, L. (2007). Neural networks in finance and economics forecasting. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 6(1), 113-140.
- Yöntem, G. (2013). Ekonomik büyüme ve karbon salınımı arasındaki ilişkinin nedensellik analizi: Türkiye örneği. *Yıldız Teknik Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi*, 1-11, https://www.academia.edu/download/33836684/EKONOMIK_BUYUME_VE_KARBON_SALINIMI_ARASINDAKI_ILISKININ_NEDENSELLIK_ANALIZI_TURKIYE_ORNEGI.pdf adresinden 12 Şubat 2020 tarihinde alınmıştır.
- Zahra, Z. G., Seyed Nematollah, M. ve Bahaeddin, N. (2019). Economic evaluation of the effects of exerting green tax on the dispersion of bioenvironmental pollutants based on multi-regional general equilibrium model (GTAP-E). *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-12.
- World Bank. (2021). <https://data.worldbank.org/> adresinden 2 Mart 2021 tarihinde alınmıştır.