

## Türkiye'nin Sektörel CO<sub>2</sub> Gazı Salınımının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

Eřref Boğar<sup>\*1</sup>, Zeynep Özsüt Boğar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Denizli, Türkiye

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliđi Bölümü, Denizli, Türkiye

\*ebogar@pau.edu.tr

**ÖZET:** Bu çalışmada Türkiye'de karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı salınım miktarları Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak sektörler bazında tahmin edilmiştir. Enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atıklar olmak üzere dört farklı sektör dikkate alınmıştır. 1990-2015 yıllarına ait veriler kullanılarak, 2016-2030 yılları için tahminler gerçekleştirilmiştir. Nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla, enerji tüketimi ve ulaşım için kullanılan enerji ve ayrıca sektörlere göre gerçekleşen CO<sub>2</sub> salınımları zaman serisi yaklaşımıyla YSA'yi eğitime, test ve tahmin etmede kullanılmış, dört çıkışlı bir YSA modeli sunulmuştur. Önerilen modellerin performansı ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY) ve belirlilik katsayısı (R<sup>2</sup>) teknikleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, sürdürülebilir bir çevre için kısa, orta ve uzun vadede gerçekleştirilecek olan faaliyetlerin planlanmasında güvenilir tahmin verilerine ihtiyaç duyulacaktır. YSA'nın da bu ihtiyacı karşılamada bir alternatif yöntem olarak kullanılabilceği görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** CO<sub>2</sub> Salınımı, Yapay Sinir Ağları, Tahmin, Zaman Serileri

## Forecasting of Turkey's Sectoral CO<sub>2</sub> Gas Emissions by Artificial Neural Networks

**ABSTRACT:** In this study, the amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas emissions in Turkey is estimated for different sectors by using artificial neural networks (ANN). Four different sectors are considered, namely energy, industrial operations and product use, agricultural activities and waste. Estimations are made using data from the years 1990-2015 for the years 2016-2030. A four-output ANN model has been introduced by using time series approach. Population, gross domestic product, energy consumption and energy use for transport as well as CO<sub>2</sub> emissions by sectors data are used for training, testing and forecasting processes. Performance comparison of proposed models is made based on mean absolute percentage error and coefficient of determination (R<sup>2</sup>) techniques. As a result, reliable estimations will be needed to plan operations for a sustainable environment in short, medium and long-term. Obtained results show that ANN can be used as an alternative method to meet this need.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> Gas Emissions, Artificial Neural Networks, Forecasting, Time Series

## GİRİŞ

Günümüzde çevresel problemler, türleri ve etkileri hissedilir bir şekilde artmaktadır. Bu tür problemlerin sonuçları sadece ülkeleri ve bölgeleri değil tüm dünyayı doğrudan ya da dolaylı olarak etkileme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle özellikle son yıllarda çevresel problemler, sürdürülebilirlik ve bu sürecin yönetimi gibi konular kamusal, toplumsal ve akademik çevrelerin ciddiyle üzerine çalıştıkları bir alan haline gelmiştir. 2000'li yıllarla birlikte sıkça duyulmaya başlanan, iklim ve bitki örtüsü değişiklikleri, buzulların erimesi, deniz seviyelerinde değişiklik, ekosistemde farklılaşmalar gibi birçok farklı etkisinin daha bugünden görülmeye başlandığı küresel ısınma, çevresel problemlerin başında gelmektedir. Küresel ısınmayı tetikleyen ana etmenlerden biri sera gazlarıdır. Sanayileşmenin artmasıyla birlikte karbondioksit, metan gibi gazların atmosfere salınması da artmış, sera gazları sera etkisi yaratmada hızlandırıcı etki yaratmıştır. Ülkemizde ve dünyada sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmakta, hedefler koyulmaktadır. Bu nedenlerle gelecekte beklenen sera gazı salınım miktarlarının doğru tahmin edilmesi de önem kazanmaktadır.

Tüm dünyayı etkileyen çevresel problemler için, dünya çapında çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların en günceli ve özellikle Türkiye'yi de bağlayanı 2015'te Paris'te düzenlenen Dünya İklim Zirvesi'dir. Bu zirvede geleceğe yönelik çevresel göstergeler ve bu göstergelerin artışının azaltılmasına yönelik kararlar alınmış ve bir anlaşma imzalanmıştır. Anlaşmanın temel odağı küresel ısınmanın artışının en fazla 2 derece ile sınırlandırılması, bu konuda gerekli tedbirlerin alınması, sera gazı salınımlarının azaltılması ve sürdürülebilir ekonomik görüşün yaygınlaştırılmasıdır (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2016). Türkiye'nin sera gazı salınım artışı ile ilgili beyanına göre, Türkiye üst-orta gelir grubunda gelişmekte olan bir ülkedir ve yıllık enerji ihtiyacı %7-8 oranında artmaktadır. Türkiye, referans senaryoya göre 2030 yılında sera gazı salınımlarını %21 oranına kadar azaltarak küresel ölçekte 2 °C hedefine ulaşmak için düşük karbonlu kalkınma yolunda önemli bir adım atmış olacaktır. Enerji, sanayi, ulaştırma, binalar ve kentsel dönüşüm, tarım, atık ve yutak alanlar ile ilgili plan ve politikalar da yine anlaşmada ortaya konmuştur (Türkiye Cumhuriyeti Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı, 2015). Sera gazı salınım envanterinde yer alan tüm salınımlar için de ise başı yine karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınımı çekmektedir.

Literatürde çeşitli yöntemler kullanılarak CO<sub>2</sub> salınımı tahmin edilmiştir. En yaygın kullanılan yöntem Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) yaklaşımıdır. Kuznets Eğrisi Yaklaşımı'na göre ekonomik büyüme ile birlikte gelir dağılımı önce bozulacak, büyüme devam ettikçe dağılım düzelecektir (Kuznets, 1955). Bu yaklaşımı temel alan Grossman ve Krueger (1995), ekonomik büyüme ve gelir ilişkisini, gelir ve çevre kirliliği ilişkisine dönüştürerek Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) yaklaşımını önermişlerdir. Bu hipoteze göre gelir miktarının arttığı ilk yıllarda çevre kirliliği artarken, gelir miktarının artmaya devam ettiği ilerleyen yıllarda kirlilik azalmaktadır. Yani ÇKE hipotezine göre gelir seviyesi ile çevre kirliliği arasında ters-U ilişkisi mevcuttur.

Başar ve Temurlenk (2007), 1950-2000 dönemi için ÇKE hipotezinin Türkiye için geçerliliğini test etmişler, Türkiye için geçerli olmadığı, gelir düzeyi ile kişi başına karbondioksit salınımı ile fosil yakıtların kullanımından dolayı ortaya çıkan salınım değerleri arasında ters N biçimli bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır. Akbostancı ve ark. (2009), Türkiye'de gelir seviyesi ile çevre kalitesi arasındaki ilişkiyi iki seviyede incelemişlerdir. İlk aşamada CO<sub>2</sub> salınımı ile gelir ilişkisini zaman serisi modeliyle, ikinci aşamada ise panel veri tahmin yöntemleriyle araştırmışlardır. Sonuçların ÇKE hipotezini desteklediği görülmüştür. Jalil ve Mahmud (2009), karbon salınımı, enerji tüketimi, gelir ve dış ticaret ilişkisini; Wang ve ark. (2011), karbon salınımı, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında ilişki olup olmadığını Çin için, Alam (2014), karbon emisyonu ile kişi başına milli gelir arasında ilişki

olup olmadığını Nijerya için test etmişlerdir. Saatçi ve Dumrul (2011) ise, çalışmalarında Türkiye’de çevre kirliliği ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi analiz etmişler, 1950-2007 dönemi yıllık verileri kullanılarak Türkiye’de ekonomik büyüme ve çevre kirliliği arasındaki ters-U şeklinde bir ilişkinin varlığını göstermişlerdir. Arı ve Zeren (2011), ÇKE hipotezini Akdeniz ülkeleri için test ettikleri çalışmalarında, karbon salınımı, enerji tüketimi ve kişi başı gelir arasındaki ilişkinin panel veri tekniğiyle incelemiş, karbon salınımı ile kişi başı gelir arasında N şeklinde bir ilişki ortaya konarak ÇKE hipotezini reddetmişlerdir. Artan ve ark. (2015), 1981-2012 dönemini kapsayan çalışmalarında ekonomik büyüme ve dışa açıklığın çevre kirliliği üzerindeki etkisini araştırarak, ÇKE hipotezinin geçerliliğini Türkiye ekonomisi için test etmişlerdir. Bulgularına göre, Türkiye’de ekonomik büyüme ve ticari açıklık ile çevre kirliliği arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu desteklemekte, ekonomik büyüme ve çevre kirliliği arasında Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi ile uyumlu olarak ters-U şeklinde bir ilişki söz konusu olduğu görülmüştür. Lise (2006), 1980-2003 dönemini ele aldığı çalışmasında CO2 salınımını etkileyen faktörleri ayırıştırma yöntemiyle analiz etmiştir. Akay ve ark. (2015), 1988-2010 dönemine ait yıllık verileri kullanarak, seçilmiş 9 Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkesi için yenilenebilir enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve karbondioksit salınımı arasındaki ilişkiyi incelemişler, yenilenebilir enerjide meydana gelecek bir şokun büyüme üzerindeki etkisinin artırıcı yönde, karbondioksit salınımı üzerinde ise azaltıcı yönde olduğu ve yenilenebilir enerji tüketiminin artmasının karbondioksit emisyonu üzerinde azaltıcı etki yapabileceği sonuçlarına varmışlardır. Ergün ve Polat (2015), 1980-2010 yılları arasında OECD ülkelerinde CO2 salınımını, elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasında ilişki olup olmadığını panel eş bütünleşme testleri sonucunda, bu faktörler arasında eş bütünleşme ilişkisi olduğu ve ÇKE hipotezini destekleyen sonuçlara ulaşıldığını belirtmişlerdir. Bozkurt ve Okumuş (2015), ÇKE hipotezinin geçerliliğini test etmek için, 1966-2011 yıllarını kapsayan dönemde Türkiye’de CO2 salınımını, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari açıklık oranı ve nüfus yoğunluğu değişkenleri arasındaki uzun dönemli ilişkiyi incelemişler, CO2 emisyonu ile ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari açıklık oranı ve nüfus yoğunluğu arasında yapısal kırılmalarla birlikte eş bütünleşme ilişkisi olduğunu göstermişler, ekonomik büyümenin CO2 salınımını pozitif etkilediği ve ÇKE hipotezinin Türkiye için geçerli olduğu sonucuna varmışlardır.

Bayramoğlu ve Yurtkur (2016), Türkiye’de karbon salınımını ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi doğrusal ve doğrusal olmayan eş bütünleşme teknikleriyle 1960-2010 dönemi için analiz edip, ekonomik büyüme ile karbon emisyonu arasında doğrusal olmayan anlamlı uzun dönemli pozitif bir ilişki mevcut olduğu sonucuna varmışlardır. Aydın (2015), Türkiye’de CO2 salınımını ülke nüfusu, gayri safi yurtiçi hasıla, alternatif ve nükleer enerji tüketimi, yanıcı yenilenebilir enerji ve atık enerji tüketimi ve fosil yakıt tüketimi göstergelerinin bir fonksiyonu olarak çoklu doğrusal regresyon analizi ile modellemiş ve projeksiyonlar yapmıştır. Nüfusun Türkiye’de CO2 salınımını açıklayan en önemli değişken olduğu belirlenmiş, bu değişkeni fosil yakıt tüketimi, yanıcı yenilenebilir enerji ve atık enerji tüketimi, gayri safi yurtiçi hasıla ve alternatif ve nükleer enerji tüketiminin izlediği sonucuna varılmıştır. Özer ve ark. (2013), 2030 yılına kadar ekonomik büyümeye bağlı olarak farklı senaryolarda da elektrik talebinin ve CO2 emisyonlarının artacağı sonucuna varmışlardır.

Öztürk ve Acaravcı (2010), 1968-2005 yılları için ekonomik büyüme, CO2 salınımı, enerji tüketimi ve istihdam arasındaki ilişkiyi gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL) sınır testi eşbütünleşme yöntemi ve Granger nedensellik testlerini kullanarak araştırmışlar, değişkenler arasında uzun dönem ilişki belirlemişlerdir. CO2 emisyonu ve enerji tüketiminin reel üretimin Granger nedeni olmadığı; istihdam oranının ise kısa vadede olduğu, ÇKE hipotezinin Türkiye örneği için geçerli olmadığı sonucuna varmışlardır.

Yılmaz ve Yılmaz (2013), çalışmalarında gri tahmin yöntemini kullanmışlardır. 1990 – 2009 yılları arasındaki verileri kullanılarak CO2 gazı salınımlarının geleceğe yönelik tahmini

yapılmışlar ve tahmin değerleri ile gerçekleşen verileri karşılaştırmışlardır. Hamzacebi ve Karakurt (2015) da 1965-2012 verilerini kullanarak 2025 yılına kadar gri tahmin modeli ile CO2 salınımını tahmin etmişlerdir. Pabuçcu ve Bayramoğlu (2016) Türkiye'nin GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, nüfus ve ulaşım için enerji kullanımı değerlerine dayalı olarak YSA modeli ile Türkiye'nin 2020-25-30 yılları için CO2 salınım değerlerini tahmin etmişlerdir.

Bu çalışmada, enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atıklar olmak üzere dört farklı sektör dikkate alınarak Türkiye'nin sektörel bazda CO2 gazı salınımları YSA ile modellenmiş ve 2016-2030 yılları salınımları tahmin edilmiştir. Tahmin yapabilmek için, öncelikle sektörel CO2 salınımları tahmin etmede kullanılan girdi değişkenleri nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla, enerji tüketimi ve ulaşım için kullanılan enerji için zaman serisine dayalı YSA modelleri önerilmiş ve bu girdi değişkenlerinin gelecek değerleri tahmin edilmiştir. Önerilen modellerin performansı ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY) ve belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) teknikleri ile değerlendirilmiştir.

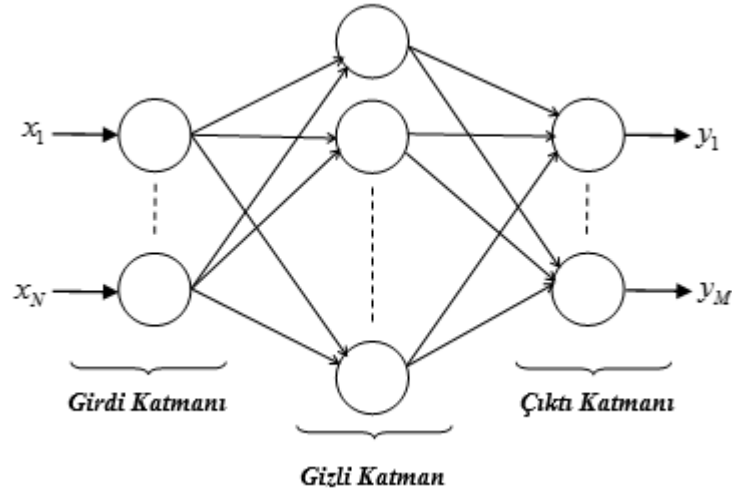
Çalışmanın izleyen bölümlerinde YSA ve mimarisi hakkında bilgi verilmiştir. Ardından YSA ile CO2 salınımının modellenmesi ve tahmini için önerilen model ve değişkenler açıklanmıştır. Benzetim çıktıları ile performans karşılaştırmaları yapılarak ulaşılan sonuçlar yorumlanmıştır.

## YAPAY SINIR AĞLARI

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin çalışma mekanizmasının yapay olarak taklit edilmesi ile ortaya çıkmış hesaplama modelleridir. Terminolojisinin temel özelliğini bu nedenle nörobilimden almıştır. YSA, biyolojik beyindeki sinir hücrelerine benzer şekilde, yapay basit işlem birimlerinin değişik etki seviyeleri ile birbirlerine bağlanmasından oluşan karmaşık bir yapıdır (Gürleyük, 2015). İlk olarak, nörobilimde insan beyindeki nöronların matematiksel modelleme çabaları ile başlayan YSA çalışmaları, günümüzde birçok farklı bilim dalında kullanılmakta, örüntü tanıma, sınıflandırma, kontrol, tahmin gibi uygulamalarda araştırma konusu olarak çalışılmaktadır.

YSA modelleri, doğrusal olmayan çok değişkenli problemlerin modellemesinde yüksek performansı nedeniyle bu tür problemlerin çözümünde kullanılan önemli araçlardan biridir. YSA modellerinin temel karakteristiği, matematiksel ve mantıksal fonksiyonların seri (sıralı) bir sürece dayalı olarak üretilen özel matematiksel modellerin aksine, girdi verisini paralel hesaplayabilme kabiliyetidir. YSA tabanlı modeller ampirik niteliktedir ve deneysel verilerle tam olarak anlaşılabilen olaylar için pratik bir çözüm sağlayabilirler (Basheer ve Hajmeer, 2000). Nöro-hesaplama modellerinin bu önemli özelliği, veri yapısı ve verilerin doğal ilişkileri hakkında önceden bilgi sahibi olmadan girdi ve çıktılar arasındaki karmaşık ilişkilerin tanımlanmasını sağlar.

Yapay sinir ağı hücresi, girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı adı verilen beş elemandan oluşur. Girdiler, yapay sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgiler olup, ağırlıklar ise girdilerin hücre üzerindeki etki ve önemini gösterir. Toplam (birleştirme) fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi hesaplarken, aktivasyon (etkinlik, eşik, transfer) fonksiyonu, toplam fonksiyonunun sonuçlarını çıktıya dönüştüren süreçtir. Hücrenin çıktısı, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir (Öztemel, 2003). Tek gizli katmana sahip çok-giriş çok-çıkış yapay sinir ağı Şekil 1'deki gibi gösterilmekte ve (1.1)'deki gibi matematiksel olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1. YSA Mimarisi

Çok-giriş çok-çıkış YSA modelinin çıkışları aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$y[k] = w_o^T[k]f(w_i^T[k]x[k] + b[k]) \quad (1.1)$$

burada  $x[k]$  ve  $y[k]$  girdi ve çıktı değişkenlerini,  $w_i^T[k]$ ,  $w_o^T[k]$ ,  $b[k]$  parametreleri, sırasıyla girdi katmanının ağırlık matrisini, çıktı katmanının ağırlık matrisini ve bias vektörünü göstermektedir. Bu parametrelerin bir optimizasyon tekniği ile tanımlanan amaç fonksiyonuna göre optimize edilmesi gerekmektedir. Genellikle, YSA üzerinde Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ile iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Yu ve Wilamowski, 2011). Bu nedenle, bu çalışmada LM algoritması ile bilinmeyen parametreler ortalama karesel hata amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi için, yaygın kullanımı, esnekliği ve geniş bir problem yelpazesinin modellenmesine uyarlanmaya uygun olması nedeniyle ileri besleme-geri yayımlı YSA modeli kullanılmıştır. Genel olarak YSA'daki nöronlar doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonlarına sahiptir. Bu aktivasyon fonksiyonlarından en sık kullanılanlardan bir tanesi tanjant hiperbolik fonksiyonudur ve fonksiyon

$$f(x) = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x}) \quad (1.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Gizli katman, YSA modellerinde en önemli unsurlardan biridir. Hecht-Nielsen (1987), gizli katmandaki nöron sayısının  $[\leq 2N+1]$  olması durumunda iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada nöron sayısının giriş sayısının iki katı olduğu YSA mimarisi kullanılmıştır.

## YAPAY SİNİR AĞLARI İLE CO2 EMİSYONUN MODELLENMESİ VE TAHMİNİ

Bu çalışmada Türkiye'nin sektörel CO2 salınımlarını modellemek ve tahmin etmek için YSA yöntemi kullanılmıştır. CO2 salınımlarının enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atık sektörlerinden kaynaklandığı varsayılmıştır. Toplam CO2 salınımı miktarını azaltabilmek için bu sektörlerden kaynaklanabilecek salınım miktarlarını ayrı ayrı öngörmek, mevcut ve gelecek durumların analizi, alınacak önlemler, geliştirilecek stratejiler ve koyulacak hedefler bakımından önemlidir. Nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla, toplam enerji tüketimi ve ulaştırma sektöründe enerji tüketimi göstergelerinin CO2

salınımına etki eden en önemli faktörler olduğu ortadadır. Bu dört girdi değişkenine ilişkin geçmiş verilerin analizi, nüfus değişkeni dışında bu göstergelerde istikrarlı bir eğilim olmadığını göstermiştir. Buna ek olarak, bu dört değişken, girdi-çıkıtı ilişkisinin çoğunluğundan sorumlu olsalar da, CO2 salınımını etkileyen tüm değişkenlerin tamamını temsil etmemektedir. Zaman (yıl), düzgün olmayan eğilimleri ve zamana bağlı gelecek girdi kümesini yakalamak için yeni bir girdi değişkeni olarak tanımlanmıştır. Tablo 1’de bu çalışmada kullanılan değişkenler listelenmiştir.

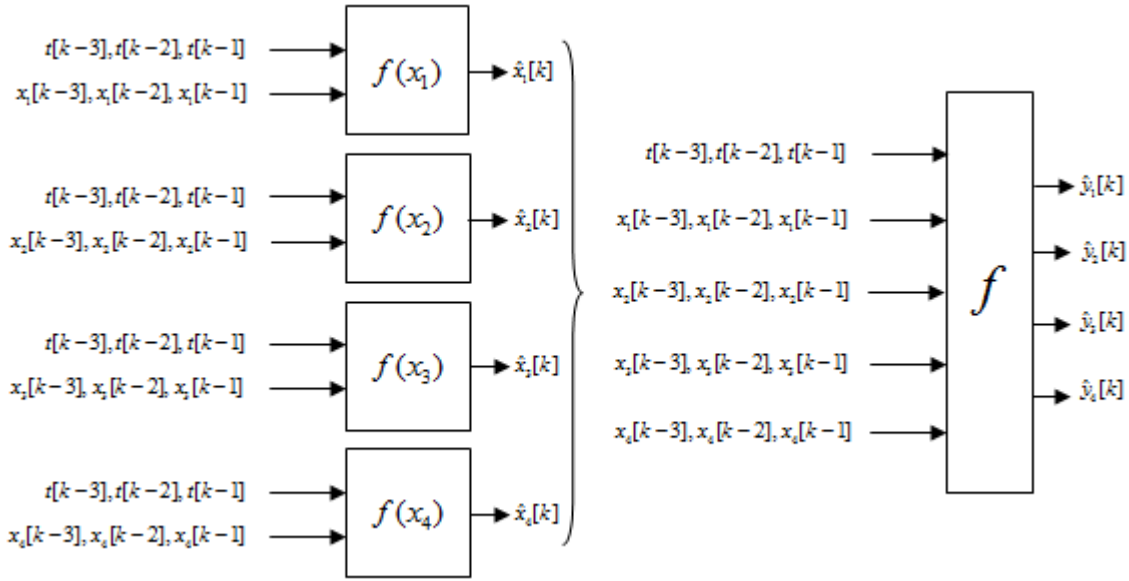
Tablo 1. Değişkenler listesi

Değişken	Tanım
$t$	Zaman
$x_1$	Nüfus
$x_2$	Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH)
$x_3$	Toplam Enerji Tüketimi
$x_4$	Ulaştırma Sektöründe Enerji Tüketimi
$y_1$	Enerji
$y_2$	Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımı
$y_3$	Tarımsal Faaliyetler
$y_4$	Atık

Modellemede kullanılan; 1990-2015 yılları arasındaki toplam enerji tüketimi ve ulaşırmada kullanılan enerji tüketimi verileri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’ndan, aynı yıllara ait diğer veriler ise Türkiye İstatistik Kurumu’ndan karşılanmıştır.

İlk olarak, çoğu modelleme tekniğinde uygulandığı gibi, YSA’da kullanılan aktivasyon fonksiyonun çalışma aralığına göre veri ön işleme (ölçeklendirme, normalizasyon) gerçekleştirilmiştir. Böylece girdilerin göreceli büyüklüğü değiştirilmemiştir. YSA modelinin girdileri kendi minimum ve maksimum değerlerini ayrı ayrı kullanarak doğrusal olarak  $[-1,1]$  aralığına dönüştürülmüştür. Tüm modelleme ve tahmin süreçleri bu dönüştürülmüş değerler kullanılarak yapılmış, ters doğrusal dönüşüm yöntemi sonuçların nominal değerlerine getirilmesi için kullanılmıştır.

Bu çalışmanın bir amacı sektörel CO2 salınımlarının modellenmesi, diğer amacı ise gelecekteki sektörel bazda salınım miktarlarının tahmin edilmesidir. Bu nedenle, model yapısının, modelin eğitimi sırasında görmediği zamanlar için sonuç üretebileceği şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, belirli bir yıldaki (gelecek)  $[k]$  model çıktısının bir önceki yılın  $[k-1]$ , iki yıl önceki  $[k-2]$  ve üç yıl önceki yılın  $[k-3]$  girdi değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak modellendiği tek adımlı öngörücü tipli modelleme önerilmiştir. Önerilen zaman serisi yaklaşımı sayesinde modelin yalnızca girdi değişkenleri arasındaki durağan ilişkisi değil, gelecekteki davranışlarını belirleyen dinamik ilişkilerinin de yakalanması sağlanmaktadır. Ayrıca, çok adımlı öngörücü yerine tek adımlı öngörücü seçilmesinin nedeni, mevcut veri sayısının az olmasından dolayı çok adımlı öngörücünün seçilmesi durumunda eğitim veri sayısının daha da azalacak olmasıdır. Son olarak, tüm girdi değişkenleri için aynı düzeyde üç adım derinliği kullanılmıştır. Bunun nedeni, tüm girdi ve çıktı değişkenlerinin birbiriyle ilişkili olması ve bireysel girdi derinliklerine karar vermenin zor olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan tahmin modelin mimarisi Şekil 2’de detaylı bir biçimde gösterilmektedir.



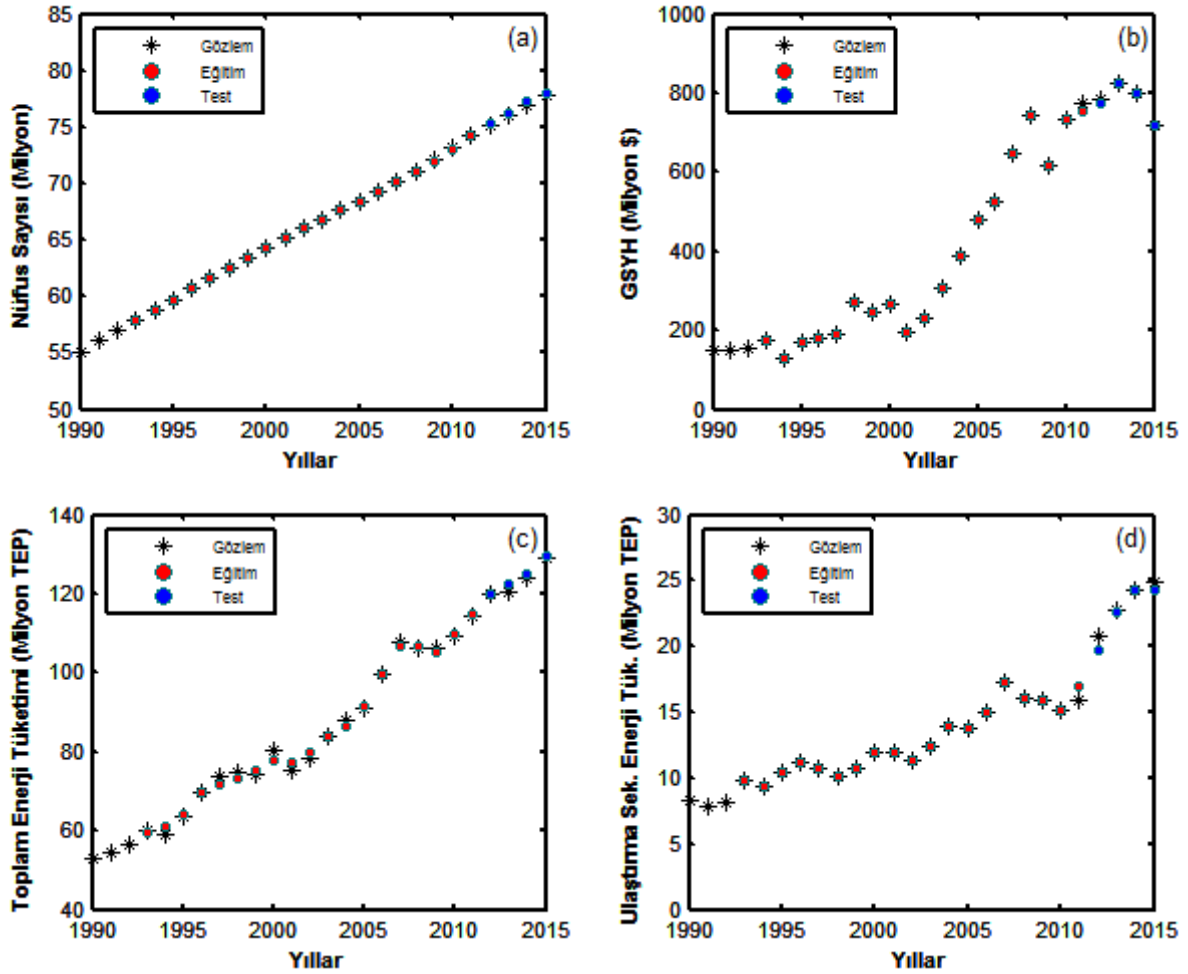
Şekil 2. Önerilen YSA modelinin genel yapısı

Sektörel bazda CO2 emisyonlarını mevcut (1990-2015 verileri) girdi değişkenleri ile tahmin etmenin iyi sonuçlar vermeyeceği aşikârdır. Bu nedenle, ilk olarak her bir girdi değişkeninin (zaman hariç) 2016-2030 yılları için tahmin edilmesi ve modellenmesi gerekmektedir. Şekil 2’de de görüldüğü gibi dört girdi değişkenini tahmin etmek için dört farklı YSA modeli oluşturulmuştur. Girdi değişkenlerinin modellenmesinde farklı regresyon yöntemleri kullanılarak da tahmin ve modelleme yapılabilir. Ancak, nüfus verisi dışındaki değişkenlerin istikrarlı bir eğilimi olmaması nedeniyle, doğrusal olmayan modelleme kabiliyetinden dolayı YSA tercih edilmiştir. Ayrıca, her girdi değişkenini tahmin etmede zamanın ve girdinin kendisinin üç adım derinliği (altı giriş) verileri kullanılarak girdilerin gelecek değerleri tahmin edilmiştir. Oluşturulan modellerin doğruluğunu test etmek için 1993-2015 ( $k=1993, \dots, 2015$ ) yılları arasındaki 23 yıllık verinin 19 tanesi eğitim (yaklaşık %80) 4 tanesi de test sürecinde kullanılmıştır. Kurulan modellerin modellemede kullanılabileceği görülmüş ve 1993-2015 yıllarındaki veriler kullanılarak tek adımlı öngörücü ile 2016-2030 yılları arasındaki girdi değişkenleri tahmin edilmiştir. Örneğin 2016 yılı toplam enerji tüketimini tahmin etmek için 2013, 2014, 2015 yıllarına ait zaman ve toplam enerji tüketim verileri modele girdi olarak verilmiş, 2016 yılı toplam enerji tüketimi tahmin edilmiştir. 2016 yılına ait tahmin edilen değer, 2017 yılındaki toplam enerji tüketiminin altı girdisinden birisi olmuştur. Son olarak Şekil 2’ de görüldüğü gibi sektörel CO2 salınımlarının tahmini için 15 girişli 4 çıkışlı bir YSA modeli oluşturulmuştur. Modelin doğruluğunu test etmek için bahsedilen dört modelde olduğu gibi eğitim ve test işlemleri aynı prosedürde gerçekleştirilmiştir. 1990-2015 yıllarına ait girdi ve çıktı verileri ile model eğitilmiş ve 2016-2030 yılları için tahmin edilmiş girdi değişkenlerinin değerleri kullanılarak 2016-2030 yılları sektörel CO2 salınımları tahmin edilmiştir.

## BENZETİM SONUÇLARI

YSA modeli ile gelecek tahmini yapmadan önce, modelin gerçekleşmiş verileri doğru bir şekilde ifade ettiğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle modellerin doğruluğu 1990-2011 yılları arasındaki girdi ve çıktı verileri kullanılarak eğitilmiş ve ardından 2012-2015 yılları için test edilmiştir. Bu çalışmada, üç girdi derinliği kullanıldığı hatırlanacak olursa, verilerin 1993-2015 yılları arasında 23 çıktısı mevcuttur. Bu veri kümesinden 19 (%80) tanesi

eğitim, kalan 4 (%20) tanesi ise test için kullanılmıştır. Girdi değişkenlerinin (nüfus, GSYH, toplam enerji tüketimi ve ulaştırma sektöründeki enerji tüketimi) gelecek değerlerinin tahmini için kurulan modellerin eğitim ve test sonuçları gözlem değerleri ile birlikte Şekil 3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Girdi değişkenlerinin eğitim ve test sonuçları

Girdi değişkenlerine ait eğitim ve test ortalama mutlak hata yüzdeleri (OMHY) ile modelin belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) Tablo 2'de verilmiştir. Girdi değişkenlerinin hem eğitim hem de test sonuçlarının OMHY değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca her bir girdi değişkenine ait belirlilik katsayıları ise  $R^2=1$  değerine oldukça yakın çıkmıştır.

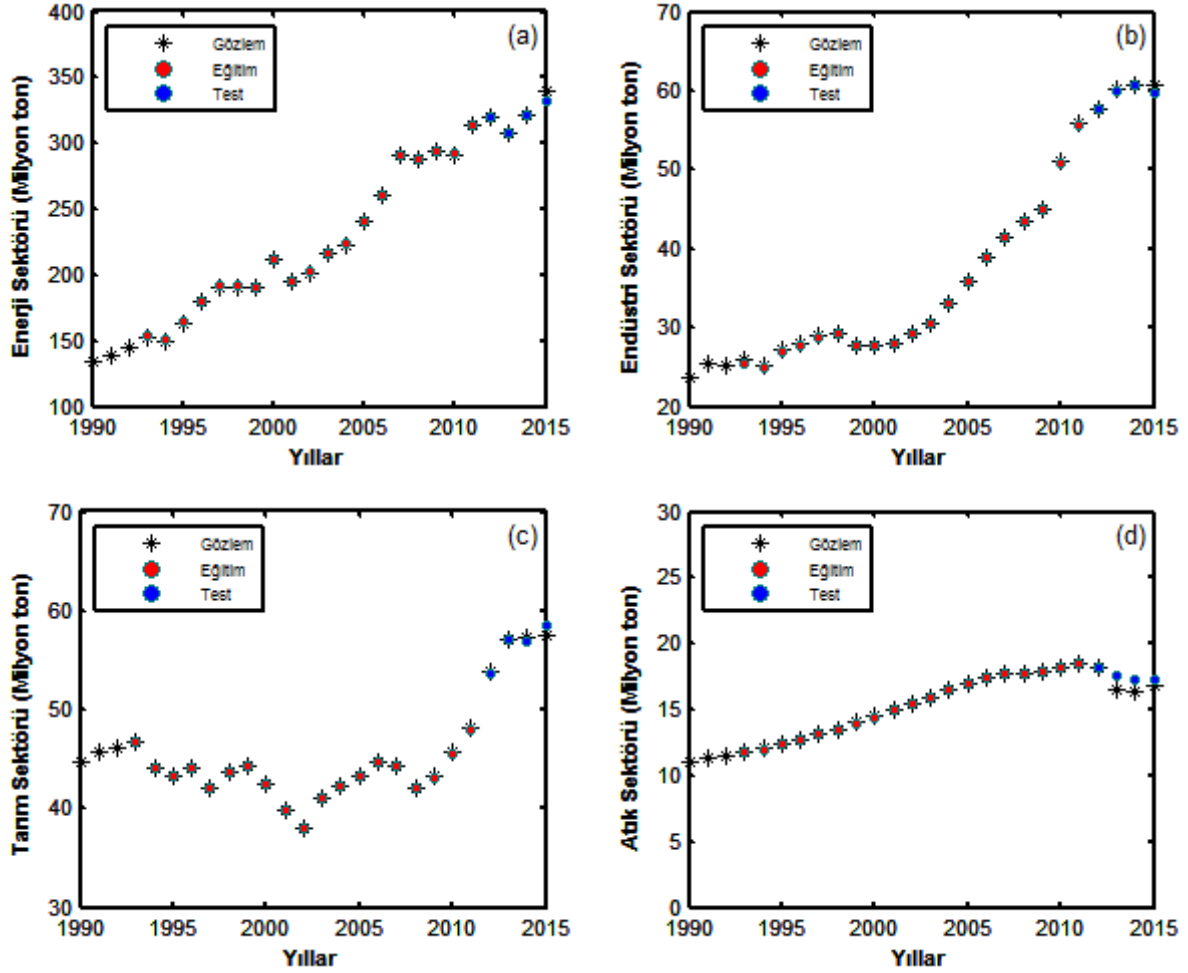
Tablo 2. Girdi değişkenlerine ait performans sonuçları

Girdi Değişkenleri	Eğitim OMHY (%)	Test OMHY (%)	$R^2$
Nüfus	0.0505	0.2850	0.9997
GSYH	0.1447	0.4417	0.9996
Toplam Enerji Tüketimi	1.2665	0.7883	0.9967
Ulaştırma Sektöründe Enerji Tüketimi	0.4465	1.9842	0.9951

Çıktı değişkenlerine ait eğitim ve test sonuçları da Şekil 4'te verilmiş olup, bu değişkenlerine ait eğitim ve test OMHY değerleri ile  $R^2$  değerleri Tablo 3'te gösterildiği gibidir. Çıktı değişkenlerine ait test ve eğitim OMHY değerlerinin %0.11 ile %3.84 değerleri arasında değiştiği ve oldukça düşük olduğu görülmektedir.  $R^2$  değerleri ise 1'e oldukça yakın



olup, modelin büyük ölçüde sistemi açıklayabildiği görülmektedir. Atık sektörü için test OMHY değerinin diğerlerine göre yüksek çıkmasının nedenin ise 2011 yılına kadar artış eğiliminde olan atık sektörünün bu yıldan sonra keskin bir düşüşe geçmiş olması ve modelin öğrenme esnasında böyle bir düşüşle karşılaşmamış olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

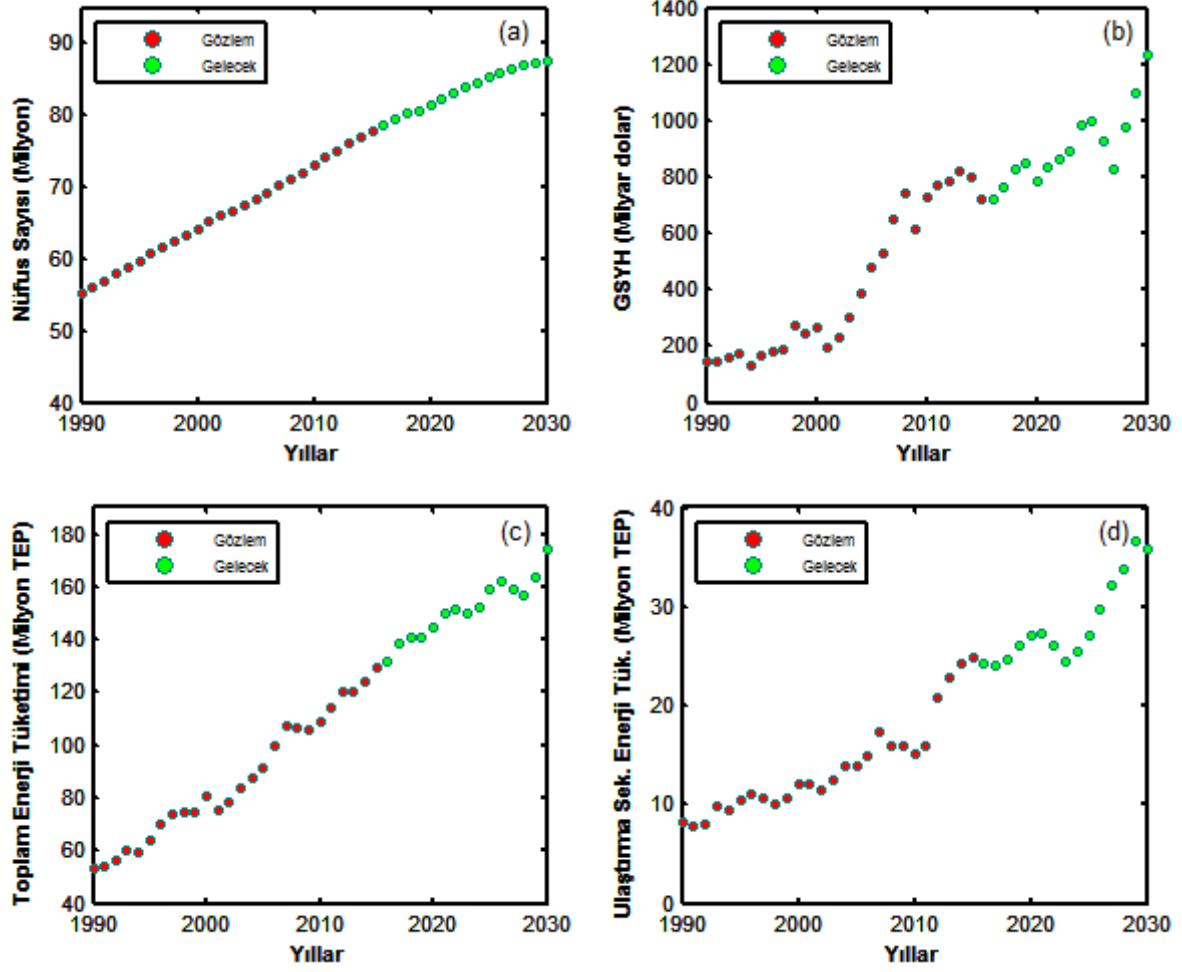


Şekil 4. Çıktı değişkenlerinin eğitim ve test sonuçları

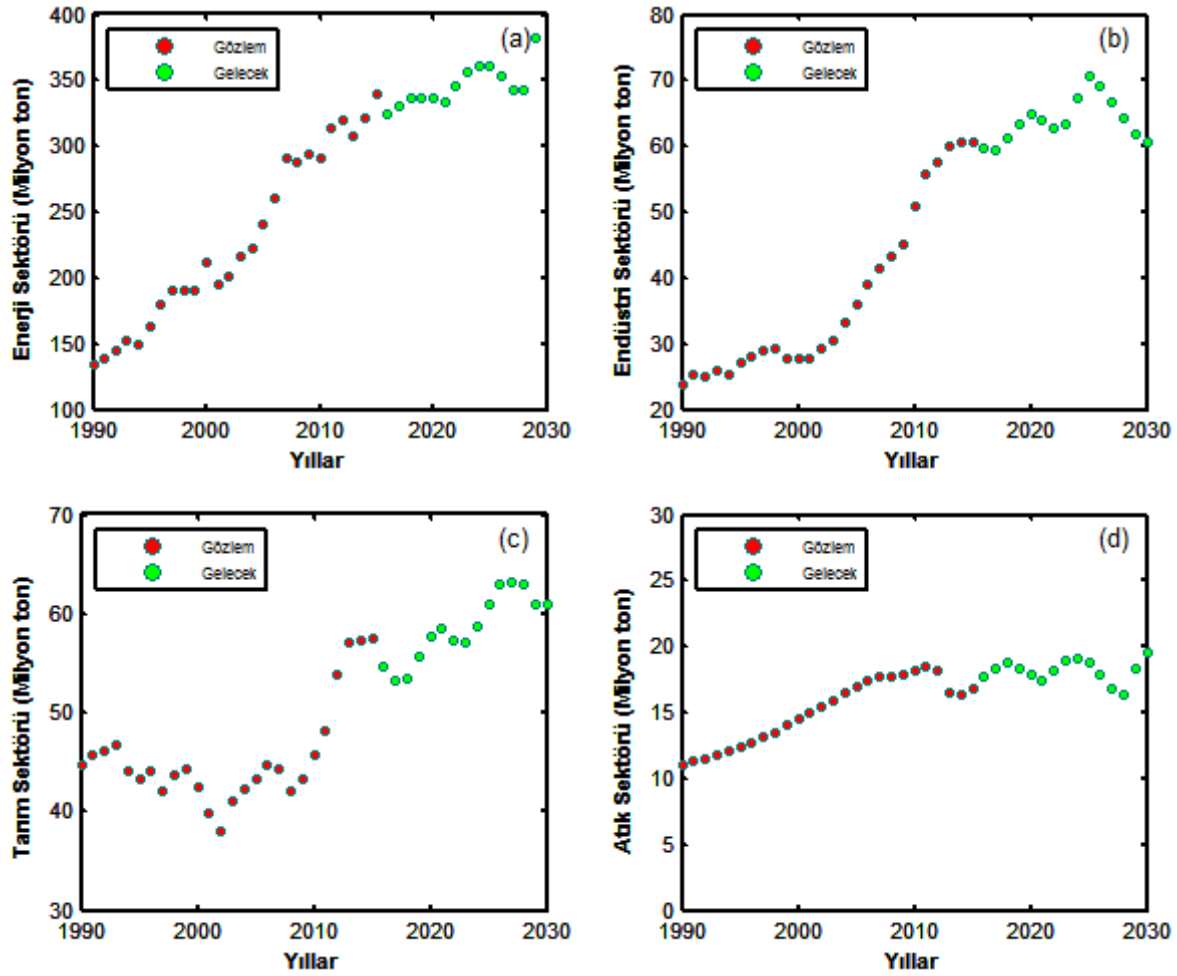
Tablo 3. Çıktı değişkenlerine ait performans sonuçları

Çıktı Değişkenleri	Eğitim OMHY (%)	Test OMHY (%)	R <sup>2</sup>
Enerji Sektörü	0.3509	0.6588	0.9990
Endüstri Sektörü	0.4411	0.5684	0.9995
Tarım Sektörü	0.1191	0.7599	0.9977
Atık Sektörü	0.1228	3.8477	0.9970

Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla girdi ve çıktı değişkenlerinin 2016-2030 yılları arasındaki tahmin değerleri 1990-2015 yılına kadarki gözlem değerleriyle birlikte gösterilmektedir. Genel olarak CO<sub>2</sub> salınım miktarlarında bir artış olacağı gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Girdi değişkenlerinin 2016-2030 yılları için tahmin sonuçları



Şekil 6. Çıktı değişkenlerinin 2016-2030 yılları için tahmin sonuçları

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye'nin CO<sub>2</sub> gazı salınımı sektörel olarak Yapay Sinir Ağları ile tahmin edilmiştir. Enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atıklar olmak üzere dört farklı sektör dikkate alınmıştır. Nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla, enerji tüketimi ve ulaşım için kullanılan enerji ve sektörler için CO<sub>2</sub> salınımları zaman serisi yaklaşımıyla YSA'yı eğitime, test ve tahmin etmede kullanılmıştır. 1990-2011 yıllarına ait veriler eğitim, 2012-2015 yıllarına ait veriler test aşamalarında kullanılarak, 2016-2030 yılları için girdi ve çıktı değişkenlerine ait tahminler gerçekleştirilmiştir. Girdi ve çıktı değişkenlerine ait eğitim ve test ortalama mutlak hata yüzdeleri (OMHY) ile belirlilik katsayıları ( $R^2$ ) hesaplanarak performans değerlendirilmiştir. Önerilen YSA modelinin Türkiye'nin CO<sub>2</sub> salınımını modelleyebildiği ve gelecek için tahmin yapmada uygun olduğu sonucuna varılmış; sonrasında ise 2016-2030 yılları için YSA modeli ile tahmin yapılmıştır. Gelecekte CO<sub>2</sub> salınımının toplamda ve sektörler bazında artacağı öngörülmüştür. Sadece atık sektöründe dalgalanmalı bir durağanlık gözlemlenmiş, bunun nedeninin ise son yıllarda atık sektöründe meydana gelen düşüş kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda ilerleyen yıllara ait daha fazla veri öğrenme aşamasında kullanılarak daha az hataya sahip sonuçlar elde edilip, tahminler yapılabilir. Ayrıca gelecekte enerji üretimi ve enerji ihtiyacının giderilmesinde alternatif ve yenilenebilir kaynakların kullanımına yönelik eğilimler artacağından, farklı faktörler girdi değişkeni olarak dikkate alınabilir ve tahminler güncellenebilir.

## KAYNAKLAR

- Akay, E.Ç., Abdieva, R., 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, Kazan.
- Akbostancı, E., Türüt-Aşık, S., Tunç, G.İ. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve?. Energy policy, 37(3), 861-867.
- Alam, J. (2014). On the Relationship between Economic Growth and CO2 Emissions: The Bangladesh Experience. IOSR Journal of Economics and Finance (IOSR-JEF), 5 (6), 36-41.
- Arı A., Zeren, F. (2011). CO2 Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi. Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(2), 37-47.
- Artan, S., Hayaloğlu, P., Seyhan, B. (2015). Türkiye’de Çevre Kirliliği, Dışa Açıklık Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. Yönetim Ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 13(1), 308-325.
- Aydin, G. (2015). The development and validation of regression models to predict energy-related CO2 emissions in Turkey. Energy Sources Part B Econ Plan Policy, 10(2):176-182.
- Basheer I. A., Hajmeer M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. Journal of Microbiological Methods, 43, 3-31.
- Başar, S., Temurlenk, M.S. (2007). Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21(1), 1-12.
- Bayramoğlu, A.T., Yurtkur, A.K. (2016). Türkiye’de Karbon Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Doğrusal Olmayan Eşbütünleşme Analizi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 16(4), 31-45.
- 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.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2017). <http://www.enerji.gov.tr>
- Ergün, S., Polat, M.A. (2015). OECD Ülkelerinde CO2 Emisyonu, Elektrik Tüketimi ve Büyüme İlişkisi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, (45), 115-141.
- Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1995). Economic growth and the environment. The quarterly journal of economics, 110(2), 353-377.
- Gürleyük.,S. (2015). Dinamik Sistemler, Kontrol ve Giriş Şekillendirici Denetim. Palme, 102-109, Ankara.
- Hamzacebi, C., Karakurt, I. (2015). Forecasting the energy-related CO2 emissions of Turkey using a grey prediction model. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 37(9), 1023-1031.
- Hecht-Nielsen, R. (1987). Kolmogorov’s mapping neural network existence theorem. Proceedings of the First IEEE International Conference on Neural Networks, San Diego, 11-14.
- Jalil, A., Mahmud, S.F. (2009). Environment Kuznets curve for CO2 emissions: a cointegration analysis for China. Energy Policy, 37(12), 5167-5172.

- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.
- Lise, W. (2006). Decomposition of CO2 emissions over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy*, 34(14), 1841-1852.
- Özer, B., Görgün, E., ve İncecik, S. (2013). The scenario analysis on CO 2 emission mitigation potential in the Turkish electricity sector: 2006–2030. *Energy*, 49, 395-403.
- Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Öztürk, İ. ve Acaravcı, A. (2010). CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth İn Turkey, Renewable and Sustainable, *Energy Reviews*, 14, 3220-3225.
- Pabuçcu, H., Bayramoğlu, T. (2016). Yapay Sinir Ağları ile CO2 Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762-778.
- Saatçi, M., Dumrul, Y. (2011). Çevre Kirliliği Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisinin Türk Ekonomisi İçin Yapısal Kırılmalı Eş-Bütünleşme Yöntemiyle Tahmini. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (37), 65-86.
- Türkiye Cumhuriyeti Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı (2015). Eriřim Tarihi: 13.08.2017.  
[https://www.csb.gov.tr/db/turkce/editordosya/The\\_INDC\\_of\\_TURKEY\\_v\\_15\\_19\\_30-TR.pdf](https://www.csb.gov.tr/db/turkce/editordosya/The_INDC_of_TURKEY_v_15_19_30-TR.pdf)
- Türkiye İstatistik Kurumu (2017). <https://www.tuik.gov.tr>
- Wang, S.S., Zhou, D.Q., Zhou, P., Wang, Q.W. (2011). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in China: a panel data analysis. *Energy Policy*, 39(9), 4870-4875.
- Yılmaz, H., & Yılmaz, M. (2013). Forecasting CO2 emissions for Turkey by using the grey prediction method. *Sigma*, 31, 141-148.
- Yu, H., Wilamowski, B. M. (2011). Levenberg–marquardt training. *Industrial Electronics Handbook*, 5(12), 12-15.