

## PAPER DETAILS

TITLE: YAPAY SINIR AGLARI ILE CO2 EMISYONU TAHMINI: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

AUTHORS: Hakan PABUÇCU, Turgut BAYRAMOĞLU

PAGES: 762-778

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/286728>

## YAPAY SINIR AĞLARI İLE CO<sub>2</sub> EMİSYONU TAHMİNİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Hakan PABUÇCU\*

Turgut BAYRAMOĞLU\*\*

Geliş Tarihi (Received): 12.07.2016 – Kabul Tarihi (Accepted): 25.11.2016

### ÖZ

Kalkınma ve çevre ilişkisi vurgulanmaya başlandığı günden beri gündemden düşmemiştir. Bunun en somutlaşmış hali 2015 yılında düzenlenen Paris İklim Zirvesi'dir. Sözleşmeye taraf olan diğer ülkeler gibi Türkiye'de sera gazı salım değerlerini artıştıran azaltım yöntemi ile azaltmayı taahhüt etmiştir. Diğer yandan Türkiye geliştirmekte olan bir ülke olarak enerji üretimini ve tüketimini artırmak zorundadır. Büyüme ise beraberinde çevre kirliliği getirmektedir. Çevre kalitesi karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gibi zehirli gazların çevreye bırakılması ile oluşmaktadır. Zehirli gaz emisyonunun en önemli kaynakları ise enerji üretimi ve tüketimi, endüstriyel üretim, seyahat için enerji talebinden oluşmaktadır. Diğer nedenler bunların yanında kirletici olarak zayıf kalmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada AB-28 ülkeleri ile Türkiye'nin gelecekte sera gazı salım değerlerini tahmin etmede beşer yıllık olmak üzere 1990-2030 yılları arası nüfus, GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı ve sera gazı salım miktarları kullanılmıştır. Tahmin konusunda başarılı sonuçlar veren Yapay Sinir Ağları Modeli (YSA) ile Türkiye'nin 2020-2025-2030 yılları için CO<sub>2</sub> eş değeri salım miktarları sırası ile 740,33 Milyon Ton (Mt), 1039,32 Mt ve 1244,13 Mt bulunmuştur. Bulunan bu sonuçların Türkiye'nin Paris İklim Zirvesi'nde 2030 yılı için taahhüt ettiği 929 Mt CO<sub>2</sub> eşdeğeri salım miktarından fazla olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'nin taahhütünü yerine getirebilmesi için enerji verimliliğini artırması ve yenilenebilir enerjilere geçiş yapması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sera Gazı Salımı, CO<sub>2</sub>, Enerji Üretim ve Tüketimi, YSA

---

\* Yrd. Doç. Dr., Bayburt Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, hpabuccu@bayburt.edu.tr

\*\* Yrd. Doç. Dr., Bayburt Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, tbayramoglu@bayburt.edu.tr

## CO<sub>2</sub> EMISSIONS FORECAST WITH NEURAL NETWORKS WITH: THE CASE OF TURKEY

### ABSTRACT

The relationship between environment and development haven't lost popularity for a long time until today. The most international indicator of this process is Paris Climate Summit in 2015. Turkey have stipulated to decrease greenhouse gas emission as 21% until 2030. On the other hand, as an emerging country Turkey has to develop and increase production and consumption. The development brings along with together environment pollution. The pollution of environment consists of releasing toxic gases like CO<sub>2</sub> to the environment. The most important source of toxic gases are energy production and consumption, industrial production, and energy demand for transportation. The others are weak reasons to pollute environment. In this respect, to forecast Turkey's CO<sub>2</sub> emission, it's used GDP, energy production-consumption, energy use for transportation and greenhouse gas emission data for EU-28 and Turkey between 1990-2030 as quinquennium. As a result of Artificial Neural Network which one of the best model to forecast, CO<sub>2</sub> emission for 2020-25-30 are respectively 740,33 Mt, 1039,32 Mt ve 1244,13 Mt. It's easy to say this forecast doesn't overlap the guaranteed value of Turkey's in Paris Climate Summit. If Turkey want to carry out its stipulation, have to increase energy efficiency and use renewable energy.

**Keywords:** Greenhouse gas emission, CO<sub>2</sub>, Energy Production and Consumption, Artificial Neural Network

## GİRİŞ

Ekonomik kalkınmanın en önemli göstergelerinden birisi çevre kalitesidir. Çevresel kirlenmenin ve iklim değişikliklerinin en önemli kaynaklarından birisi ise sera gazı emisyonlarıdır. Ekonomi ile sera gazı salım değerleri arasındaki ilişki dışsallıklarla açıklanmaktadır (Kumbaroğlu ve Arıkan, 2009:6). Ekonomik faaliyetler sonucu oluşan sera gazları, atmosferde sera etkisi yaparak iklim değişikliklerine ve küresel sıcaklık değerlerinin artmasına sebep olmaktadır. Ülkelerin gelir düzeyleri ile çevresel bozulma değerleri arasında karşılıklı bir ilişki olduğu Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) olarak bilinen yaklaşımla ortaya konmuştur (Kuznets, 1955: 1-28). Teoriye göre, ülkelerin düşük gelir seviyelerinde ve çok yüksek gelir seviyelerinde çevreye verdikleri zarar az olmakta ancak gelişmekte olan ülkelerin çevreye verdikleri zarar fazla olabilmektedir. Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye'nin ekonomik faaliyetleri sonucu geleceğe dönük olarak sera gazı emisyonlarını hangi düzeyde artırdığı önemli hale gelmektedir. Diğer yandan Türkiye uluslararası alanda Paris İklim Zirvesi ile emisyon oranlarını ne kadar artıracağını beyan etmiş ve kendisini sorumluluk altına sokmuştur (Türkiye Cumhuriyeti Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı, 2015, 2).

Karşılıklı etkileşim halinde olan ekonomi ve çevre, birbirinden ayrılmaz iki unsurdur. Bu sebeple sera gazı emisyon değerleri büyüme, kalkınma ve çevre gibi makro değişkenler açısından önemli hale gelmiştir. Yapılan bu çalışma ile Türkiye'nin gelir seviyesi ve diğer göstergelere dayalı olarak sera gazı salım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

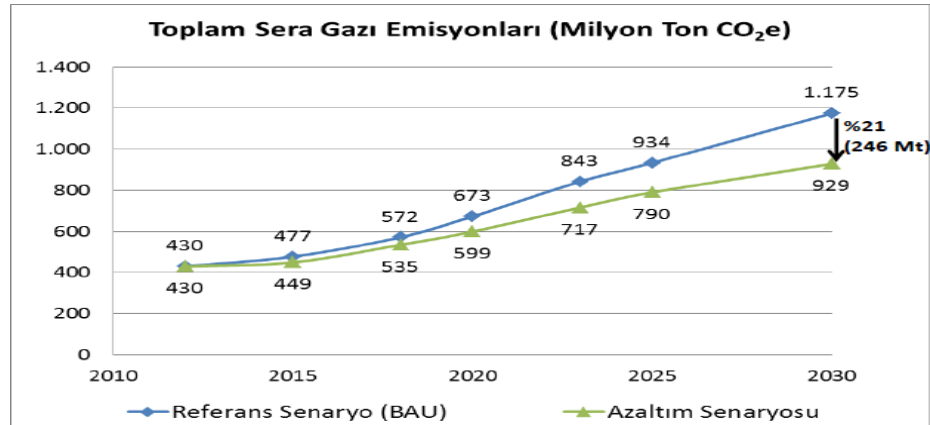
Çalışmada, seçilmiş bazı AB üyesi ülkeler ile Türkiye'nin bazı göstergeleri tanıtıldıktan sonra çalışma için veri olarak kullanılan AB ülkelerinin ve AB'ne aday olan Türkiye'nin GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, nüfus ve ulaşım için enerji kullanımı değerleri tablolar aracılığı ile tanıtılmıştır. Daha sonra konunun öneminden dolayı literatürde yapılmış olan belli başlı çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın devamında modelin özellikleri dolayısıyla tahmin başarısı yüksek olan YSA modeli ile Türkiye'nin 2020-25-30 yılları için CO<sub>2</sub> emisyon değerleri tahmin edilmiştir.

## D) AB ÜLKELERİ VE TÜRKİYE'NİN CO<sub>2</sub> İLE İLGİLİ BAZI GÖSTERGELERİ

Ekonomik ve sosyal hayatta yaşanan gelişmeler çevresel bozulmayı hızlandırmaktadır. Çevresel sorunların incelenmeye başlaması 1972 yılındaki Stockholm Konferansı ile başlamış, daha sonra 1987 de Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından Brutland Komisyon Raporu olarak bilinen Bizim Ortak Geleceğimiz adı ile bir rapor hazırlanmıştır. Çevresel göstergelerin kötüleşmeye devam etmesi üzerine 1997 yılındaki Kyoto Protokolü

imzalanmış ancak birçok ülke protokole taraf olmadığı için beklenen başarı sağlanamamıştır. 2015 yılında Paris İklim Zirvesi ile aralarında Türkiye'nin de olduğu 196 ülkenin katılımı ve kabulü ile geleceğe dönük çevresel göstergelerin daha da kötüleşmesini önlemek için bir araya gelinerek anlaşmaya varılmış ve anlaşma imzaya açılmıştır. Anlaşma ile küresel ortalama sıcaklık artışı 1,5 ile 2 derece arasında sınırlandırılmak istenmekte, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı dünyanın hazırlıklı olması gerektiği, sera gazları emisyonlarının azaltıldığı çevreci ve sürdürülebilir bir ekonomik anlayışın yerleştirilmesi gerektiği konularında mutabakata varılmıştır (UN, Adoption of the Paris Agreement, 2015).

Paris İklim Zirvesi ile Türkiye tarihinde ilk kez emisyon oranlarını ne kadar artıracak konusunda taahhütte bulunmuştur. Yapılan bildirimde göre Türkiye, 2020-2030 arası artıştan azalış yöntemi ile emisyon oranını % 21 oranında azaltmayı öngörmektedir. 2030 yılına kadar 430 Mt'dan 929 Mt'a çıkarmayı planlamaktadır. Türkiye'nin referans senaryo (BAU)'ya göre 2030 yılı için emisyon miktarı Şekil 1' de görüldüğü gibi 1.175 Mt olarak tahmin edilmiştir. Ancak azaltım senaryosuna göre tahmin edilen emisyon miktarı Türkiye'nin niyet bildirimi ile 929 Mt olarak öngörülmüştür.

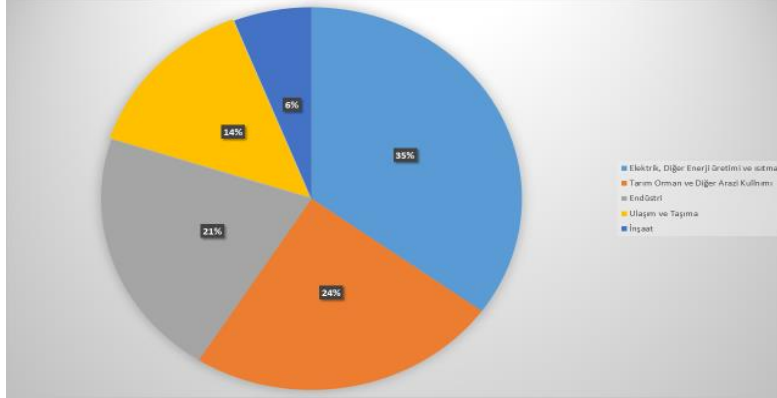


**Şekil :1**  
**Türkiye'nin İklim Değişikliğiyle Mücadele İçin Ulusal Katkı Niyeti Bildirimleri Senaryosu**

**Kaynak:** Türkiye Cumhuriyeti Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı; <https://www.csb.gov.tr>, (E.T.: 25.06.2016).

Sera gazı salınımlarının kaynakları konusunda yapılan çalışmalar salımın en fazla enerji sektöründen geldiğini, endüstri süreçleri, tarım, orman ve diğer arazi kullanımlarının enerjiyi takip ettikleri anlaşılmaktadır (Sera Gazı Salımlarının Analizi Protokolü [IEAP], 2009:25; Hatzigeorgiou, Polatidis ve

Haralambopoulos, 2010: 1910). CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak emisyon oranlarının kaynaklarına göre salım miktarlarına bakıldığında sırasıyla elektrik üretimi ve ısıtma kaynaklı emisyonun % 35, tarım, orman ve diğer arazilerin kullanılmasından % 24, endüstri kaynaklı faaliyetler % 21, ulaşım % 14, ve % 6'lık oran ile inşaat olduğu Şekil 2'den anlaşılmaktadır.



Şekil :2

#### Sektörel Kaynaklarına Göre Sera Gazı Salım Oranları

**Kaynak:** EPA United States Environment Protection Agency, <https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>, (E.T. 11.05.2016)

**Tablo 1.** Seçilmiş Bazı AB ülkeleri ve Türkiye'nin Göstergeleri

| Ülke    | Yıl  | Nüfus (Bin) | GSYH (Milyon EURO) | Enerji Üretimi (Ktoe) | Enerji Tüketimi (Ktoe) | Ulaşım İçin Enerji Talebi (Ktoe) | CO <sub>2</sub> Salımı (Milyon Ton) |
|---------|------|-------------|--------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Fransa  | 1990 | 56,577      | 1302,7             | 111013                | 227754                 | 42037                            | 554,80                              |
|         | 1995 | 57,753      | 1384,7             | 127609                | 241418                 | 44292                            | 554,02                              |
|         | 2000 | 58,850      | 1589,7             | 131920                | 259828                 | 51586                            | 553,90                              |
|         | 2005 | 60,825      | 1726,1             | 136736                | 277080                 | 49941                            | 541,30                              |
|         | 2010 | 62,583      | 1759,1             | 135007                | 270384                 | 49329                            | 511,00                              |
|         | 2015 | 64,703      | 1945,7             | 140027                | 273850                 | 49412                            | 501,90                              |
|         | 2020 | 65,607      | 2144,4             | 148122                | 275266                 | 49252                            | 476,90                              |
|         | 2025 | 66,846      | 2342               | 152420                | 272455                 | 47820                            | 453,40                              |
|         | 2030 | 67,982      | 2550,1             | 156164                | 272259                 | 44954                            | 431,20                              |
| Almanya | 1990 | 79,113      | 1830,3             | 186681                | 256271                 | 58631                            | 1210,30                             |
|         | 1995 | 81,539      | 1971,3             | 141981                | 339454                 | 63080                            | 1120,40                             |
|         | 2000 | 82,163      | 2177,2             | 137331                | 341166                 | 66188                            | 1025,50                             |
|         | 2005 | 82,501      | 2243,2             | 136015                | 347147                 | 62149                            | 997,30                              |

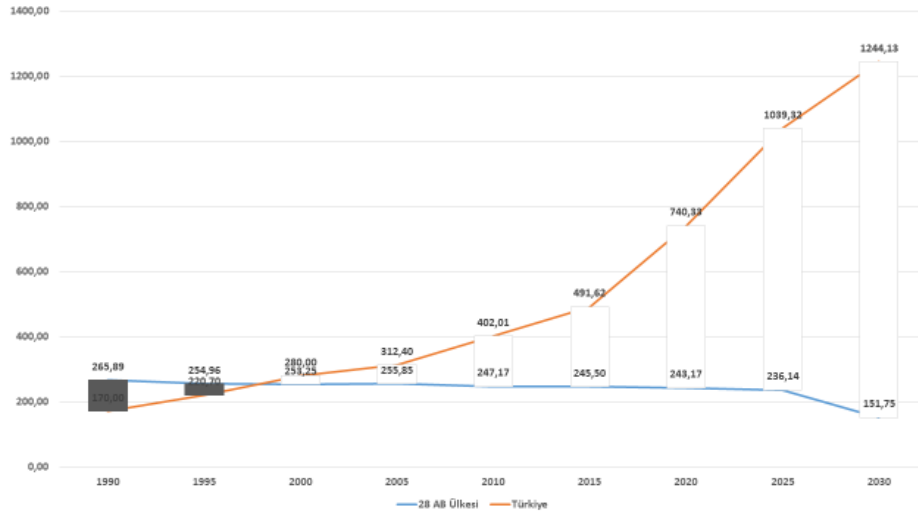
|         |      |        |        |        |        |       |          |
|---------|------|--------|--------|--------|--------|-------|----------|
|         | 2010 | 82,145 | 2281,5 | 119159 | 327428 | 62745 | 923,00   |
|         | 2015 | 81,858 | 2510,7 | 108500 | 317875 | 63908 | 889,10   |
|         | 2020 | 81,472 | 2723,6 | 86547  | 305805 | 63500 | 885,20   |
|         | 2025 | 80,907 | 2867,1 | 82414  | 291070 | 59903 | 801,90   |
|         | 2030 | 80,152 | 3008,8 | 85808  | 277747 | 55551 | 681,50   |
| İspanya | 1990 | 38,826 | 574,9  | 33731  | 89717  | 22401 | 185,10   |
|         | 1995 | 39,343 | 632,9  | 31366  | 102950 | 26162 | 250,60   |
|         | 2000 | 40,050 | 773,9  | 31335  | 123652 | 32977 | 386,10   |
|         | 2005 | 43,038 | 908,8  | 30127  | 144589 | 39609 | 440,60   |
|         | 2010 | 46,673 | 949,4  | 32789  | 142062 | 41242 | 466,80   |
|         | 2015 | 49,381 | 1099,4 | 36507  | 153517 | 45315 | 429,80   |
|         | 2020 | 51,109 | 1285,2 | 38761  | 163038 | 48008 | 446,00   |
|         | 2025 | 52,101 | 1474,1 | 39853  | 168450 | 49145 | 452,80   |
|         | 2030 | 52,661 | 163,1  | 48777  | 172871 | 48431 | 410,90   |
| Romanya | 1990 | 23,211 | 71,6   | 41415  | 60714  | 4416  | 262,90   |
|         | 1995 | 22,712 | 64,5   | 32618  | 47738  | 3069  | 180,20   |
|         | 2000 | 22,455 | 60,4   | 28816  | 37131  | 3396  | 138,20   |
|         | 2005 | 21,659 | 79,8   | 28880  | 39242  | 4221  | 150,50   |
|         | 2010 | 21,334 | 93,8   | 27520  | 39111  | 5047  | 140,70   |
|         | 2015 | 21,103 | 115,4  | 28866  | 41409  | 6148  | 145,60   |
|         | 2020 | 20,834 | 135    | 30203  | 42802  | 6867  | 143,90   |
|         | 2025 | 20,484 | 151,7  | 31052  | 43482  | 7326  | 138,20   |
|         | 2030 | 20,049 | 166,1  | 31237  | 43069  | 7666  | 129,00   |
| Türkiye | 1990 | 55,120 | 155,5  | 2581   | 5013   | 9220  | 170,00   |
|         | 1995 | 59,760 | 175,2  | 2648   | 7178   | 10490 | 220,70   |
|         | 2000 | 64,250 | 205,1  | 2586   | 10452  | 11760 | 280,00   |
|         | 2005 | 68,570 | 371,3  | 2393   | 13675  | 12430 | 312,40   |
|         | 2010 | 73,000 | 562,7  | 3223   | 18021  | 13700 | 402,01   |
|         | 2015 | 78,151 | 555,5  | 4053   | 22367  | 14790 | 491,62   |
|         | 2020 | 82,076 | 696,8  | 4883   | 26713  | 29370 | 740,33*  |
|         | 2025 | 85,569 | 801,3  | 5713   | 31059  | 43950 | 992,00*  |
|         | 2030 | 88,427 | 921,5  | 6543   | 35405  | 58530 | 1244,13* |

Tablo :1 deki değerler seçilmiş bazı AB üyesi ülkelerin ve AB'ne aday ülke olan Türkiye'nin nüfus, GSYH, enerji üretimi, enerji tüketimi, ulaşım için enerji talebi ve CO<sub>2</sub> emisyon değerlerini vermektedir. CO<sub>2</sub> emisyon miktarının belirleyicileri olan bu faktörlerden GSYH, enerji üretim ve tüketimi ile seyahat için enerji talebinin arttığı, ancak nüfusun ülkeler bazında farklı bir seyir izlediği

\* Türkiye için 2020 ve 2030 CO<sub>2</sub> değerleri yazarlar tarafından hesaplanmıştır. Ayrıca bütün göstergeler için geçmiş değerler gerçekleşmiş değerler olup 2020 ve 2030 değerleri AB Komisyonu tarafından tahmin olarak verilmiş değerlerdir.

görülmektedir. Fransa, İspanya ve Türkiye'nin nüfusu farklı oranlarda olmak üzere artmakta, Almanya ve Romanya'nın nüfusu ise azalmaktadır. Buradan anlaşıldığı üzere Almanya ve Fransa gibi gelişmiş ülkelerin ekonomik ve sosyal göstergeleri iyileştikçe sera gazı emisyon oranlarında bir düşüş görülmektedir. Ancak Türkiye ve Romanya gibi nispeten daha az gelişmiş ülkelerin ise hasıla oranları arttıkça sera gazı emisyonlarının artış gösterdiği görülebilmektedir. Eğer ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre emisyon oranları incelenirse ÇKE yaklaşımına uygun olduğu görülecektir. YSA modeline dayalı bir şekilde yapılan tahmin sonuçlarına göre Türkiye'nin Paris İklim Zirvesi'nde artıştan azalış yöntemi ile azaltmayı düşündüğü 2030 yılı için CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak 929 Mt salım miktarını gerçekleştiremediği anlaşılmaktadır. Çalışma ile yapılan tahminin (1244,13 Mt) azaltım senaryosuna göre taahhüt edilen miktardan (929 Mt) yüksek olduğu görülmektedir.

AB ülkeleri ve Türkiye'nin 1990-2030 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyon değerleri Şekil 3'te görülmektedir. Buna göre 1997-98 yıllarına kadar Türkiye'nin sera gazı emisyon değerleri AB ortalamasının altında iken daha sonra gittikçe aradaki fark Türkiye'nin aleyhine bir şekilde açılmış, AB ortalaması 2030 yılında 151,75 Mt olurken Türkiye'nin emisyon miktarı 1244,13 Mt değerine ulaşmıştır.



Şekil :3  
AB ülkeleri ve Türkiye'nin 1990-2030 Arası CO<sub>2</sub> Artış Değerleri

## II) LİTERATÜR ÖZETİ

Ülkeler büyüme ve kalkınma çabalarını sürdürürken çevresel değerleri tahrip etmektedirler. Sera gazı emisyonunun sebeplerinden enerji üretimi ve tüketimi,

gelir artışı, ulaşım için enerji kullanımı ve nüfus değişkenlerinin birlikte kullanıldığı YSA modeline dayalı tahmin çalışmalarına iktisat yazınında pek rastlanmamıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar genellikle bu değişkenleri tek tek ele alan çalışmalar olmaktadır. Gelir ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişki Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisinin testi şeklinde olmuştur. Yine enerji ile ilişkili ve ulaşım kaynaklı emisyon tahmini çalışmaları bulunmakta ancak nüfus artışı ve emisyon oranları arasındaki ilişkiyi tahmin eden çalışma pek yapılmamıştır.

Gelir düzeyi ile çevresel bozulma arasındaki ilişki çevreye uyarlanmış ÇKE'ni test eden çalışmalar şeklinde yoğunlaşmıştır. 1955 yılında Simon Kuznets, iktisadi büyüme ile beraber gelir dağılımının önce bozulacağını, gelir artışı devam ettiği müddetçe gelir dağılımı adaletsizliğinin azalacağını belirtmektedir. Bu çalışmaya dayalı olarak 1990'lı yıllarda çevre ile gelir düzeyi arasında bir değiş tokuş ilişkisinin olduğu, ülkelerin zenginleştikçe çevresel bozulmaların artacağı ancak belirli bir gelir seviyesinden sonra çevresel kalitede bir artış olacağı belirtilmektedir (Başar ve Temurlenk, 2007: 2; Kaynak, 2011: 61). Bu tarihlerden sonra çevre ve gelir düzeyi arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda artış görülmektedir.

Bu çalışmalardan birisi Carson, Jean ve McCurbin (1997)'e aittir. Yazarlar, gelir düzeyi ve hava kirliliğine sebep olan emisyon oranları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada, 1988-1994 yılları gözlemlerine dayalı olarak ABD'nin 50 eyaleti ile ilgili yedi tip çevresel kirleticisi üzerinde yaptıkları çalışmada, kişi başına gelir düzeyi arttıkça çevresel kirlenmenin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma sonucunda ÇKE ile uyumlu sonuçlar bulunmuştur. Yani, düşük gelirli ülkelerin çevresel kirlenme oranlarının yüksek gelirli ülkelere göre çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Bir diğer çalışmada Dinda, Coondoo ve Pal (2000) tarafından iki hava kirleticisi ile ilgili olarak zaman serisi verileri kullanılarak ÇKE hipotezi test edilmiştir. Yapılan çalışma ile sonuçların ÇKE hipotezini desteklemediği ve kirlilik üzerinde sermaye yoğunluğunun etkisinin kısmi olduğu anlaşılmıştır.

Halicioglu (2009), Türkiye ile ilgili olmak üzere gelir ve çevre kirliliği üzerine yaptığı çalışmada; 1960-2005 yılları arasında, sera gazı emisyon oranlarını etkileyen değişkenlerin sırasıyla gelir, enerji tüketimi ve dış ticaret olduğu sonucuna varmıştır.

Çevresel bozulmaya ve zehirli gazların artmasına sebep olan bir başka unsur ise enerjidir. Çin'e ait 1991-2006 dönemi enerji verilerinin kullanıldığı çalışmalardan birisi Zhang, Mu ve Ning (2009) aittir. Çalışmada en yüksek sera gazı emisyonu yayan ikinci ülke olan Çin'in emisyon oranlarında 1990 yılından 2000 yılına kadar büyük oranda bir azalma olduğu ancak bu tarihten sonra

azalma eğiliminin yavaşladığı, 2003 yılında ise tekrar artışa geçtiği belirtilmektedir. Ayrıştırma Yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada emisyon oranlarını etkilemede ekonomik faaliyetlerin etkisinin fazla olduğu, ekonomik yapının ise çok etkili olmadığı, enerji yoğunluğunun ise emisyon oranlarını azaltıcı etkisi olduğu saptanmıştır.

Enerji kaynaklı emisyon tahminlerinin yapıldığı bir diğer çalışma Hatzigeorgiou, Polatidis ve Haralambopoulos (2010)'a aittir. Yazarlar AB-25 ile Yunanistan'ın 1990-2020 yılları arası verilerini kullanarak Logaritmik Ortalama Divisia Endeksi Tekniği ile enerji arz ve talep için PRIMES simülasyon modelleme sistemine dayalı bir temel senaryo yaklaşımı uygulamışlardır. Ülkelerin ekonomik yapı benzerliğinden dolayı İrlanda, Portekiz ve Belçika'da çalışmaya dahil edilmiştir. Emisyonu en fazla artırdığı düşünülen gelir, enerji yoğunluğu, nüfus ve yakıt payları çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada sonuç olarak hem Yunanistan için hem de AB-25 için CO<sub>2</sub> emisyon oranlarında en etkili unsurun gelir olduğu, enerji yoğunluğunun ise emisyon miktarında negatif bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Enerji yoğunluğu etkisi AB-25'te % 40 iken Yunanistan da bu oran % 20'ye kadar düşmektedir. Diğer değişkenlerden nüfusun emisyon artış miktarına etkisi pozitif iken, yakıt payının etkisinin nispeten önemsiz ve negatif olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşıma sektörünün payı ihmal edilebilecek düzeydedir.

Gündüz (2014), 1960-2008 yılları arasında 18 OECD ülkesi üzerine panel birim kök testleri yardımı ile ÇKE hipotezini test etmek amacıyla yaptığı çalışmada, çevre kirliliği ile ekonomik büyüme arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varmıştır.

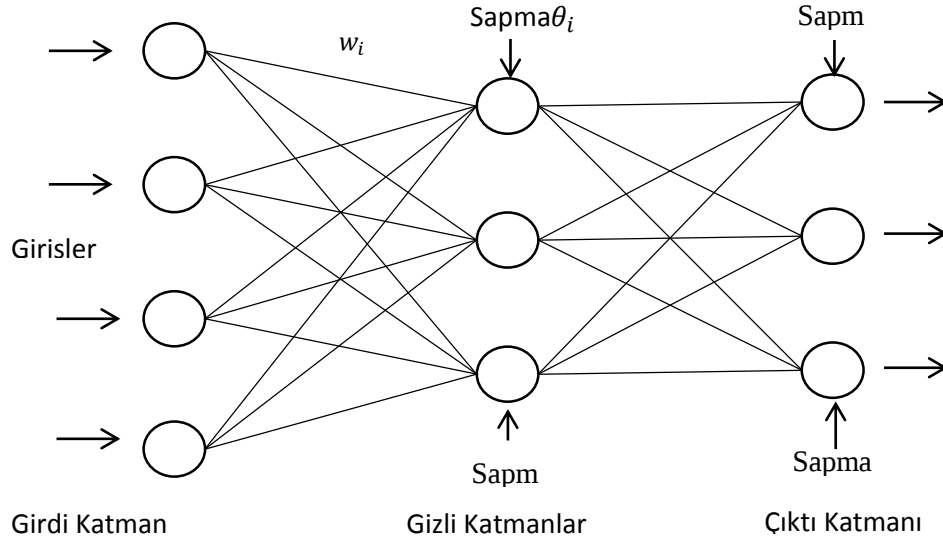
Hamzaçebi ve Karakurt (2015), yaptıkları çalışmada enerji ile ilişkili olarak Gri Tahmin Yöntemini kullanmışlar ve Türkiye için 1965-2012 dönemi verileri ile 2013-2025 yılları için emisyon tahmin çalışması yapmışlardır. Sonuç olarak Gri Tahmin Yönteminin emisyon tahmin aracı olarak uygun olduğu, 2015, 2020 ve 2025 yılları için CO<sub>2</sub> tahmin değerlerinin sırasıyla 354,879 Mt, 424,245 Mt ve 530,370 Mt olduğunu tahmin etmişlerdir.

Bu çalışmalara ilave olarak Say, N.P. ve Yucel, M., (2006), Sözen, A., Gulseven, Z. ve Arcaklioglu, E., (2007), Yan, ve Crookes (2010), Öztürk, I. ve Acaravci, A., (2010), Çınar (2011), Ari, I. ve Aydinalp Koksall, M., (2011), Aslanoğlu ve Aydinalp Koksall (2012), Yılmaz ve Yılmaz (2013), Bozkurt ve Akan (2014), Ergün ve Atay Polat (2015), Çoban ve Şahbaz Kılınç (2015), Bozkurt ve Okumuş (2015) sera gazı emisyonu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

### III) YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

Yapay sinir ağı birçok araştırmacı tarafından farklı ifadelerle tanımlanmış olsa da temel anlamı insan beyninin öğrenme sürecinin simülasyonudur. Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Öztemel, 2006: 29). Burada sinir ağları ile ilgili çok fazla ayrıntılı bilgi verilmeyecektir. Ayrıntılı olarak incelemek için Haykin ve Network (2004) ve Graupe (2007)'e bakılabilir.

Yapay sinir ağının en temel birimi yapay nörondur. Nöronlar sayısal bilgiyi alarak girdi düğümleri aracılığı ile kendi içerisinde işleyen ve bir cevap üreten yapılardır. Bu süreç genellikle iki aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada, girdi değerleri doğrusal olarak birleştirilir, sonra sonuç doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonunun argümanı olarak kullanılır. Her bağlantı için bir ağırlık  $w_i$  ve sabit bir sapma terimi  $\theta$ , kullanılır. Aktivasyon fonksiyonu azalmayan ve türevlenebilir bir fonksiyon olmalıdır. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyon ( $y = 1/(1 + e^{-x})$ ) dur (Hippert, Pedreira ve Souza, 2001: 45). İki katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağı Şekil'4 de gösterilmektedir.



**Şekil :4**  
**İki Katmanlı İleri Beslemeli Bir Sinir Ağı**

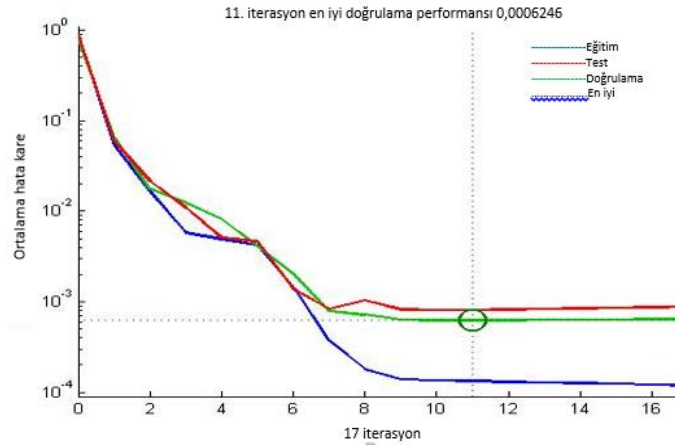
#### IV) UYGULAMA

##### A) Yöntem ve Veri Seti

Bu çalışmada yapay sinir ağı modeli kullanılarak 2020-25-30 yılları Türkiye için CO<sub>2</sub> tahmini gerçekleştirilmiştir. Öncelikle yapılan güçlü literatür taraması sonucu CO<sub>2</sub> emisyonunun belirleyicileri tespit edilmiş ve AB ülkeleri için ilgili değişkenlere ait veriler 1990 yılı itibariyle beşer yıllık olarak derlenmiştir. Çalışma temel olarak bir panel veri analizi araştırmasıdır. Sinir ağı analiz ve tahminler için varsayımlara dayanmadığından durağanlık ve birim kök testi gibi analizler yapılmamıştır. Çalışma için kullanılan veri seti % 75 eğitim, % 15 doğrulama ve % 10 test olmak üzere üç parçaya bölünerek analiz edilmiştir. En uygun tahmin modelinin belirlenmesi için eğitilen sinir ağının eğitim, doğrulama ve test hata kareleri ortalaması (MSE) istatistiği kullanılmıştır.

##### B) YSA Model Sonuçları

En uygun YSA modelinin belirlenebilmesi için model parametreleri birçok kez değiştirilmiş ve en düşük hata değeri ile tahmini gerçekleştiren model belirlenmiştir. Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır. Bu algoritma eğri uydurma ve doğrusal olmayan regresyon modellerinde genellikle hızlı ve iyi sonuçlar üretmektedir. Eğitilen sinir ağı için eğitim hata grafiği şekil :5'te sunulmaktadır.



**Şekil :5**  
**Ağ Eğitim Hata Grafiği**

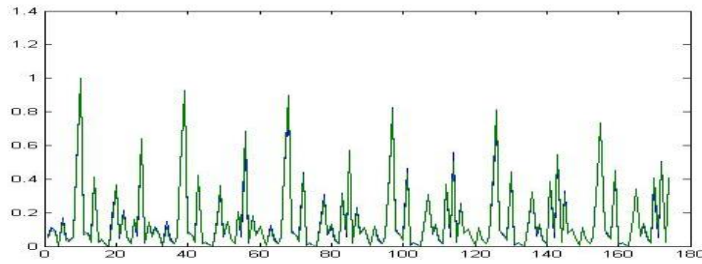
Sinir ağı hata grafiği incelenecek olunursa 17 devir sonucunda algoritma sonlandırılmış ve en düşük hata düzeyi 11. Devir sonunda gerçekleşmiştir. Ayrıca eğitim esnasında sürekli azalan bir hata grafiği görülmektedir. Bunun anlamı her devir sonunda daha iyi sonuçlar veren ağırlıkların belirlendiği ve

modelin iyiye doğru gittiğidir. 11. devir sonucunda eğitim, doğrulama ve test hataları kabul edilebilir seviyeye kadar düşmüş ve algoritma sonlandırılmıştır. Sinir ağına eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmış ve bu sebeple eğitim kısa süre ve devirde tamamlanmıştır. Eğitilen sinir ağı yapı ve parametreleri Tablo 2’de sunulmaktadır.

**Tablo:2**  
**Sinir Ağı Yapı ve Parametreler**

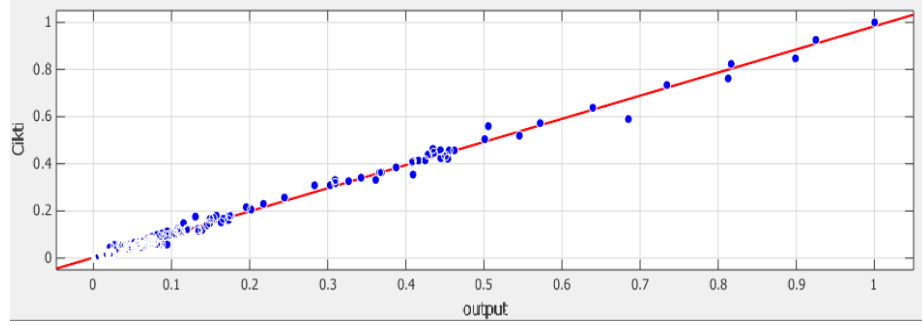
|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| Ağın türü                   | ÇKA      |
| Ağdaki Katman sayısı        | 3        |
| Girdi katmanı nöron sayısı  | 5        |
| Gizli katman sayısı         | 1        |
| Gizli katman nöron sayısı   | 10       |
| Çıktı katman nöron sayısı   | 1        |
| Girdi aktivasyon fonksiyonu | Tanjant  |
| Çıktı aktivasyon fonksiyonu | sigmoid  |
| İterasyon sayısı            | Doğrusal |
| MSE (Eğitim)                | 11       |
| MSE (Doğrulama)             | 0,00013  |
| MSE (Test)                  | 0,00062  |
| R <sup>2</sup>              | 0,00080  |
|                             | 0,996    |

Sinir ağı elde edilen hata sonuçlarına göre başarılı bir şekilde ve çok uygun hata oranlarıyla eğitilmiştir. Ayrıca eğitim sırasında modelin hiç görmediği başka bir veri seti üzerinde sinir ağının tahmin gücü test edilmiş ve MSE=0,0054 hatayla çok başarılı bir tahmin gerçekleştirmiştir. Elde edilen hatalar modelin Türkiye’nin geleceğe dönük CO<sub>2</sub> miktarını tahmin için iyi bir model olduğunu göstermektedir. Ayrıca modelin ürettiği çıktılar ile gerçek değerlerin ne derece örtüştüğü şekil 6’da görülmektedir.



**Şekil:6**  
**Gerçek Değerler Ve Ağ Çıktılarının Karşılaştırılması**

Ağ çıktıları ile gerçek değerlerin ne derece örtüştüğünü tespit etmek ve karşılaştırmak için iki değişken arasında kurulan regresyon modeli ve modele ait istatistikler aşağıda verilmiştir. Ayrıca bu uyumu Şekil 7’deki grafik açık bir şekilde göstermektedir.



**Şekil:7**

#### **Gerçek Değerler ve Ağ Çıktılarının Karşılaştırılması (Regresyon)**

Regresyon modeline ait istatistikler ve Şekil 7 incelenirse model uyumunun çok iyi olduğu, belirlilik katsayısının yeterince yüksek olduğu, hata kareleri toplamının ve hata kare ortalaması karekökü istatistiklerinin yeterince düşük olduğu kısaca ağ tahminleriyle gerçek değerlerin neredeyse sıfır hataya yakın bir oranla birbiriyle örtüştüğü görülebilir. Bu durumda sinir ağının çok başarılı bir model olduğunu söylemek mümkündür.

Doğrusal (Polinomiyal) Model:

$$f(x) = p_1x + p_2$$

Katsayılar (% 95 güven aralığı)

$$p_1 = 0.9815 (0.9696, 0.9934)$$

$$p_2 = 0.001944 (-0.00108, 0.00498)$$

Uyum iyiliği:

Hata kareleri toplamı (MSE): 0.04478

$R^2$ : 0.9935

Düzeltilmiş  $R^2$ : 0.9935

RMSE: 0.1614

Model seçimi için gerekli testler ve istatistikler incelendikten sonra Türkiye için gerekli tahminler yapılmıştır. Tablo 3’te ilgili tahminler sunulmuştur.

**Tablo:3**  
**Türkiye CO<sub>2</sub> tahmini (Mt, CO<sub>2</sub> Eşdeğeri)**

| Yıllar  | 2020   | 2025    | 2030    |
|---------|--------|---------|---------|
| Türkiye | 740,33 | 1039,32 | 1244,13 |

## SONUÇLAR

Ülkelerin kalkınma hedeflerinden birisi de çevre kalitesinin artırılmasıdır. Bu var olan çevrenin iyi korunması ile ya da bir şekilde kirlenmiş çevrenin temizlenmesi ile olacaktır. Çevrenin kirlenmesinde en önemli etkenlerden birisi CO<sub>2</sub> benzeri zehirli gazların atmosfere bırakılarak sera etkisi oluşturmalarıdır. Bu tip gazlar nihayetinde dünyanın taşıma kapasitesini zorlayarak ozon tabakasının delinmesine, hava sıcaklığının ortalamada yükselmesine, insanlar için yaşanabilir çevrenin tahrip edilmesine sebep olmaktadır. Çevre duyarlılığının başladığı 1970’li yıllardan bu güne özellikle gelişmiş ülkeler tarafından önemle üzerinde durulan bu konu giderek bütün dünya ülkelerinin gündemine girmiştir. Bu konuda uluslararası bir hassasiyet oluşmuş durumdadır. 2015 yılında gerçekleştirilen ve Türkiye’nin de taraf olduğu Paris İklim Zirvesi ile Türkiye ilk defa sera gazı emisyon miktarlarını azaltmayı taahhüt etmiştir. Ancak Türkiye gelişmekte olan bir ülke olarak nüfusu artan, üretim miktarlarını artırmak durumunda olan ve bunun için ise enerji kullanımını artırmak zorunda olan bir ülkedir.

Yapılan bu çalışma ile AB-28 ülkelerinin ve Türkiye’nin 1990-2030 yılları arası beşer yıllık olmak üzere nüfus, GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı ve sera gazı emisyon miktarları kullanılmış, 2020-25-30 yılları için CO<sub>2</sub> eş değeri sera gazı emisyon miktarları bu konuda başarılı sonuçlar veren YSA modeli ile tahmin edilmiştir. Çalışmada veri seti uzun bir aralığı ve çok ülkeyi kapsamaktadır. Bu durum elde edilen sonuçların güvenilirliğini artmıştır. Yapılan tahmin ile Türkiye’nin varsayılan gelişme seyrini devam ettirmesi durumunda salım miktarının 2030 yılında 1244,13 Mt CO<sub>2</sub> eş değeri olacağı tespit edilmiştir. Bu değer Türkiye’nin 2030 yılı için Paris İklim Zirvesi’de taahhüt ettiği emisyon değerinden (929 Mt CO<sub>2</sub> eş değeri) çok fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonucun elde edilmesinde veri setinin uzun bir aralığı kapsamı, beşer yıllık veri kullanımı ve seçilen değişkenlerin etkisinin olduğu tahmin edilmektedir. Hamzaçebi ve Karakurt’un 2015 yılında Gri Tahmin Modeli ile yapmış oldukları çalışmada sadece enerji kaynaklı emisyon tahmini yapmışlardır. Bu sebeple sonuçlar bu çalışmadan oldukça farklılık göstermiştir.

Türkiye bir şekilde kalkınmasını tamamlamak durumundadır. Ancak çevrenin tahrip edilmemesi ve hatta daha da iyileştirilmesi gerekir. Sera gazı emisyon değerlerinin nerede ise % 70’lik kısmı enerji kaynaklı olduğu için Türkiye enerji verimliliği çalışmalarını artırıp yenilenebilir enerjilere geçerek bu amacını gerçekleştirebilir. Aksi takdirde Türkiye büyüyen ancak çevre kalitesi her geçen gün düşen üçüncü sınıf bir ülke konumuna düşecektir.

**KAYNAKÇA**

- ARİ, İzzet ve AYDİNALP KOKSAL, Merih, (2011). “Carbon Dioxide Emissions From the Turkish Electricity Sector and its Mitigation Options”. *Energy Policy* 39, 6120 - 6135.
- ASLANOĞLU, S.Y. ve AYDİNALP KÖKSAL, Merih, (2012), “Elektrik Üretimine Bağlı Karbondioksit Emisyonunun Bölgesel Olarak Belirlenmesi ve Uzun Dönem Tahmini”, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 1 (2012) 19–29.
- BAŞAR, Selim ve TEMURLENK, Sinan, (2007), “Çevreye Uyarlanmış Kuznets Eğrisi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama”, *Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt: 21 Ocak 2007 Sayı: 1
- BOZKURT, Cuma ve OKUMUŞ, İlyas, (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*, Cilt/Volume: 12, Sayı/Issue:32 , s. 23-35.
- CARSON, Richard, T, JEON, Yongil and MCCUBBIN, Donald R., (1997), “The relationship between air pollution emissions and income: US Data”, *Environment and Development Economics*, 2 (1997): 433–450
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Uluslararası Yerel Yönetimler Sera Gazı Salımlarının Analizi Protokolü (IEAP), Versiyon 1.0, Ekim 2009, s.25.
- ÇINAR, Serkan, (2011) “Gelir Ve CO<sub>2</sub> Emisyonu İlişkisi: Panel Birim Kök ve Eşbütünleşme Testi”, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt/Vol. XXX, Sayı/No. 2, pp. 71-83.
- ÇOBAN, Orhan ve ŞAHBAZ KILINÇ, Nazan, (2015), “Yenilenebilir Enerji Tüketimi Ve Karbon Emisyonu İlişkisi: Tr Örneği“, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Sayı:38 Yıl: 2015/1, S. 195-208*.
- DINDA, Soumyananda., COONDOO, Dipankor and PAL, Manoranjan, (2000), “Air quality and economic growth: an empirical study”, *Ecological Economics* 34 (2000) 409–423
- ERGÜN, Suzan ve ATAY POLAT, Melike, (2015), “OECD Ülkelerinde CO<sub>2</sub> Emisyonu, Elektrik Tüketimi ve Büyüme İlişkisi”, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı: 45, Ocak-Haziran 2015 ss. 115-141.
- European Comission, Directorate-General for Energy, EU energy trends to 2030, UPDATE 2009, s., 66-179.

- GUNDUZ, Halil İbrahim, (2014), “Çevre Kirliliği İle Gelir Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Panel Eşbütünleşme Analizi ve Hata Düzeltme Modeli”, Marmara Üniversitesi, İ.İ.B. Dergisi, Yıl, 2014, Cilt XXXVI, SAYI I, S. 409-423,
- GRAUPE, D. (2007). *Principles of Artificial Neural Networks* (6th ed., Vol. 6). USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- HALICIOĞLU, Ferda, (2009), “An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey”, *Energy Policy*, 37, 1156–1164.
- HAMZACEBI, C. and KARAKURT, I. (2015), “Forecasting the Energy-related CO<sub>2</sub> Emissions of Turkey Using a Grey Prediction Model”, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, ISSN: 1556-7036 (Print) 1556-7230.
- HATZIGEORGIOU, E., POLATIDIS, H. and HARALAMBOPOULOS, D., (2010) *Energy CO<sub>2</sub> Emissions for 1990–2020: A Decomposition Analysis for EU-25 and Greece, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32:20, 1908-1917.
- HAYKIN, S., and NETWORK, N. (2004). *A comprehensive foundation. Neural Networks*. <http://doi.org/0-13-273350-1>
- HIPPERT, H. S., PEDREIRA, C. E., and SOUZA, R. C. (2001). Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 16(1), 44–55. <http://doi.org/10.1109/59.910780>
- <https://unfccc.int/resource/docs/.../09r01.pdf>, E.T.: 11.05.2016
- KAYNAK, Muhteşem, (2011), *Kalkınma İktisadı*, Gazi Kitabevi, Gözden Geçirilmiş 4. Baskı, Ankara, s.61-62.
- KUMBAROĞLU, Gürkan ve ARIKAN, Yıldız, (2009), “Farkındalık ve Fark Yaratmak: Türkiye’nin Co2 Salımları”, *Açık Toplum Vakfı*, 1. Baskı, Ağustos 2009, İstanbul, s.6.
- KUZNETS, S., (1955). “Economic Growth and Income Inequality”. *The American Economic Review*. Sayı:45. No:1. ss.1-28.
- ÖZTEMEL, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları* (2nd ed.). İstanbul: Papatya Yayıncılık.

- ÖZTURK, I., ACARAVCI, A., (2010). “CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Turkey”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 3220 -3225.
- SAY, Nuriye Peker ve YÜCEL, Muzaffer, (2006). “Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emission in Turkey: Empirical Analysis and Future Projection Based on Economic Growth”. *Energy Policy* 34, 3870 - 3786.
- SOZEN, Adnan, GULSEVEN, Zafer ve ARCAKLIOGLU, Erol, (2007). “Forecasting Based on Sectoral Energy Consumption of GHGs in Turkey and Mitigation Policies”. *Energy Policy* 35, 6491 -6505.
- Türkiye Cumhuriyeti Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı, 2015, s. 2.
- United Nations, Adoption of the Paris Agreement, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.
- YAN, Xiaoy ve CROOKES, Roy J. (2010), “Energy demand and emissions from road transportation vehicles in China”, *Progress in Energy and Combustion Science* 36, s.651-676.
- YILMAZ, Hamid ve YILMAZ, Mustafa, (2013), “Gri Tahmin Yöntemi Kullanılarak Türkiye’nin CO<sub>2</sub> Emisyon Tahmini”, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 31, 141-148.
- ZHANG, Ming, MU, Hailin, NİNG, Yadong, (2009), “Accounting for energy-related CO<sub>2</sub> emission in China, 1991–2006”, *Energy Policy* 37 (2009) 767–773.
- 767–773.