

TÜRKİYE'NİN KARBONİZASYON İNDEKSİNİN TEMEL ENERJİ GÖSTERGELERİNE BAĞLI OLARAK YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TANIMLANMASI

Veysel ÖZDEMİR

Gazi Üniversitesi Atatürk MYO, Çubuk, Ankara
vozdemiir@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 26.08.2010; Kabul/Accepted: 24.01.2011)

ÖZET

Bu çalışma ile Türkiye'nin, karbonizasyon indeksinin (v) temel enerji göstergelerine bağlı olarak analitik bir ifade ile tanımlanması yapılmıştır. Çalışmada analitik ifadelerin elde edilmesinde son yıllarda oldukça sık kullanılan ve bir çok bilimsel alana uygulanma imkanı bulunan, yapay sinir ağları (YSA) yaklaşımı kullanılmıştır. Birim enerji tüketimi başına CO₂ emisyon miktarı olarak tanımlanan karbonizasyon indeksi, Kyoto protokolünü Şubat 2009'da imzalayan Türkiye için önemli bir parametredir. Çok değişkenli analitik ifadelerin türetilmesinde yaklaşımı ve güvenilirliği oldukça yüksek olan YSA kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ampirik olarak formüle edilen karbonizasyon indeksinin doğruluğu $R^2=1$ olarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın çıktıları, çevresel projeksiyon çalışmalarında politika üretenlere faydalı olacaktır.

Anahtar kelimeler: Karbonizasyon indeksi, enerji göstergeleri, yapay sinir ağları.

DETERMINATION OF TURKEY'S CARBONIZATION INDEX BASED ON BASIC ENERGY INDICATORS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

In this study, Turkey's Carbonization Index (v) depending on the basic energy indicator has determined as an analytical equation. In this paper, artificial neural networks (ANN) which is quite often in recent years and the possibility of applying to many fields, are used to obtain analytical expressions. Carbonization Index is defined the amount of CO₂ emissions per energy consumption. This parameter is an important for Turkey because of has signed the Kyoto protocol, February 2009. According to the results, accuracy of the carbonization index formulated empirical was obtained as $R^2= 1$. It is expected that this study will be helpful in demonstrating carbonization index for policy makers.

Keywords: Carbonization index, energy indicators, artificial neural network.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son zamanlarda, iklim değişikliği bilimsel ve politik gündemin en önemli ana konularından biri olarak ortaya çıkmıştır. Çevre sorunlarının yüz milyonlarca insanın yaşam koşullarını ciddi bir şekilde tehdit ettiği, yaygın bir kanıdır [1]. Fosil yakıtlardan oluşan sera gazı salımları nedeniyle oluşan iklim değişikliği riski, çevresel tehdidin temeli olarak kabul edilmektedir [2]. Ülkelerin belirli bir sürede, sera gazı emisyonlarını sınırlandırmalarının resmi prosedürü olan Kyoto Protokolü, pek çok ülke tarafından

imzalanmış tek belgedir [3]. Türkiye'de 17 Şubat 2009'da Kyoto Protokolü imzaladığı için, protokolün öngördüğü emisyon sınırlarına ulaşmak için CO₂ emisyonunu etkileyen temel göstergelerin durumunu gözden geçirmesi ve protokol ile uyum çerçevesinde stratejik çevre ve enerji planları yapması gerekmektedir. Ayrıca, Türkiye AB'ye aday ülke olarak CO₂ emisyonlarını azaltma konusundaki yükümlülüklerini yerine getirme zorunluluğundadır. Bu çalışma, temel enerji girdilerine bağlı olarak Türkiye'nin karbonizasyon indeksinin tanımlanmasına yardımcı olacaktır. Aynı zamanda bu çalışma, Kyoto

çerçevesinde, uluslararası sorumluluklarını yerine getirmek zorunluluğundaki Türkiye'nin çevre politikalarını şekillendirmesine de yardımcı olması bakımından oldukça önemlidir.

Karbonizasyon indeks (v), birim enerji tüketim başına CO₂ emisyon miktarı olarak tanımlanmaktadır. İklim değişikliği ile ilgili, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için önemli bir parametredir. Genelde bir ton eşdeğer petrol (tep) değerinde enerji tüketimine karşılık oluşan CO₂ emisyonu (ton) biriminde kullanılır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin karbonizasyon indeksi, temel enerji göstergelerine bağlı olarak YSA ile ampirik olarak ifade edilmiştir. YSA son yıllarda birçok uygulama alanı bulmuş olup bilimsel çalışmalarda popüler bir teknik olarak seçilmektedir. Bu çalışmalardan bazıları; Sera gazı emisyonları ve bölgesel açısından AB ülkeleri ile Türkiye'nin karşılaştırılması [4], veri çıkarım yaklaşımı ve bulanık sistem entegrasyonu ile elektrik talep fonksiyonu tahmininin iyileştirilmesi yaklaşımı[5], son yirmi yılda, Türkiye'nin enerji tüketimi ve ekonomik büyümesi [6], Türkiye'deki birincil enerji talebinin tahmini [7], Türkiye'deki benzin talebinin tahmini [8], Türkiye'deki net enerji tüketiminin sektörel bazda tahmini [9] 'dir. YSA, çok parametrelili problemlerin tanımlanmasında yüksek hassasiyetli yaklaşımlar sağlayabilmektedir.

2. TÜRKİYE'NİN ÇEVRESEL ATIK KARAKTERİSTİĞİ (TURKEY'S ENVIRONMENTAL WASTE CHARACTERISTICS)

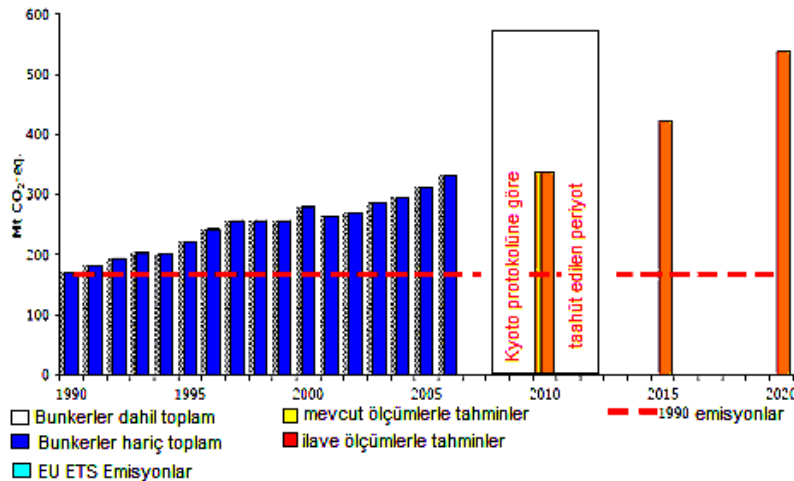
Türkiye Şubat 2009'da, Kyoto protokolünü imzaladığı için protokolün gereğini yerine getirmek zorundadır. Kyoto protokolüne göre, AB ülkeleri, 2008-2012 yılları arasında sera gazı emisyonlarını 1990 yılındaki seviyelerinin % 8 oranında azaltmayı kabul etmişlerdir. Kuvvetle muhtemel AB adayı olan,

Türkiye'nin Kyoto ile belirlenen değere ulaşması gerekmektedir. 2006 yılında Türkiye'nin sera gazı ve CO₂ emisyonu sırasıyla 331,8 (milyon ton karbon eşdeğeri=Mt) ve 273,7 (MT) idi[1], ayrıca, 1990 yılında emisyon değerleri 170,06 (Mt) ve 139,59 (MT) idi. Kyoto Protokolü'ne göre, 1990 yılında Türkiye emisyon seviyelerini %8 oranında azaltması gerekmektedir. Şekil 1' den de görüldüğü gibi Türkiye'nin %211 ve % 213'lük sera gazı ve CO₂ emisyon fazlalıkları bulunmaktadır[4]. Bu fazlalıkları azaltmak için ciddi bir azaltma politikası uygulamak oldukça zor olacaktır.

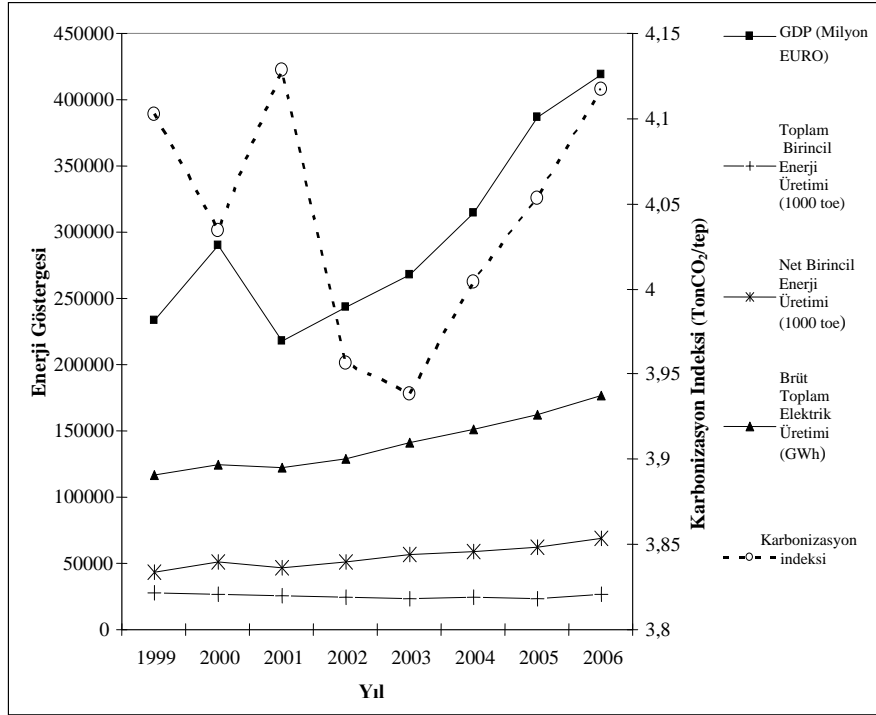
Türkiye'nin sera gazı emisyonları (özellikle CO₂), enerji tüketimi ile birlikte büyümüşür. Enerji tüketim sektörlerinin tamamı (enerji, sanayi, konut ve ulaşım) sera gazı emisyon yükünün artmasına yol açmaktadır. Her ne kadar ülkenin enerji talebi hızla artsa da, Türkiye'nin küresel CO₂ emisyonuna katkısı AB ülkelerinin ortalamasının oldukça altındadır. Endüstriyel CO₂ emisyonu yılda% 7.2 'lik bir oranda büyümekte ve bu durumda 2000 yılında(64.4 mt/yr) %30.5 olan CO₂ emisyonunun, 2025 yılında (362.2 mt/yr) %42'ye çıkacağı hesaplanmaktadır [11]. Doğal gaz kullanımındaki artış nedeniyle, enerji sektöründeki CO₂ emisyonlarının%5.5'un altında bir oranda büyümesi beklenmekte ve 2000-2025 dönemlerinde 72,7 Mt den 275,8 Mt'e ulaşacağı düşünülmektedir [11].

Türkiye'nin bu çalışma için seçilen temel enerji göstergeleri ile karbonizasyon indeksinin değerleri Şekil 2 'de verilmiştir. Türkiye'nin karbonizasyon indeks değeri yıllar itibarıyla değişiklikler gösterse de 4 civarındadır.

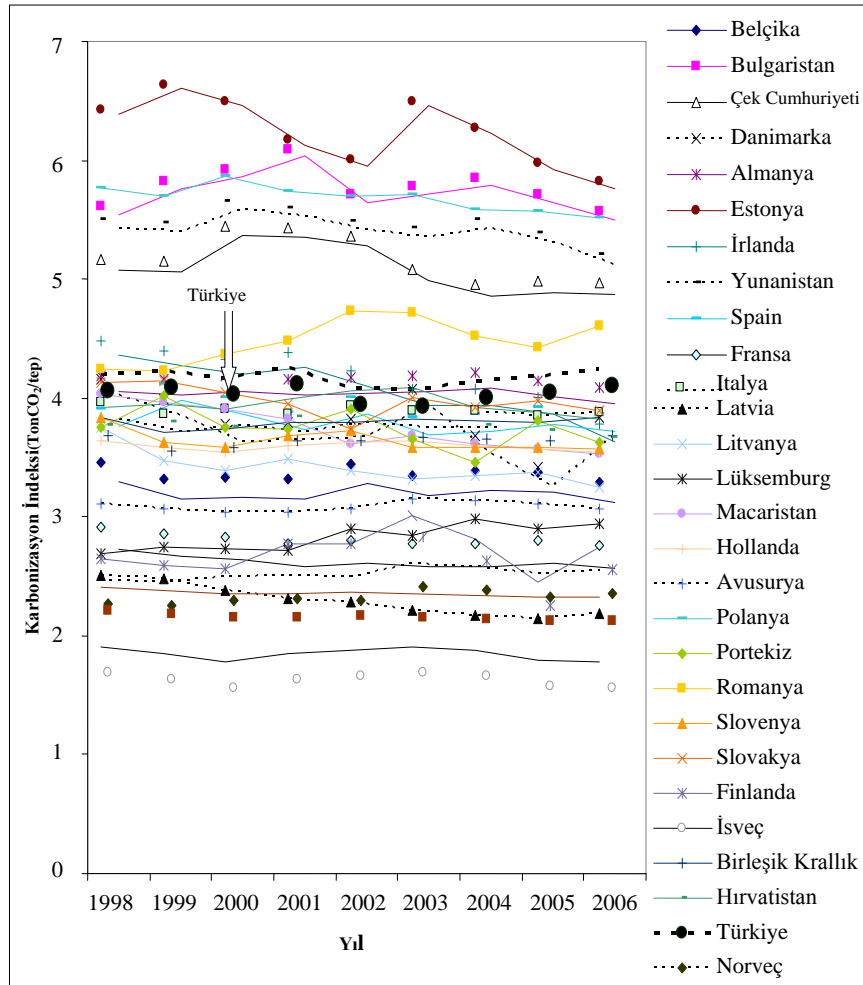
Türkiye ile AB ülkeleri arasındaki karbonizasyon indeks değeri ise Şekil 3'de verilmiştir. Türkiye AB ülkelerine göre orta sıralarda yer almaktadır. En büyük karbonizasyon indeksi Estonya'ya en düşük ise İsveç'e aittir.



Şekil 1. Türkiye'nin sera gazı emisyonları ve tahminleri (GHG emissions and projections of Turkey) [10]



Şekil 2. Bu çalışmada Türkiye için kullanılan ana enerji göstergeleri (Energy indicators used in this study for Turkey) [10]



Şekil 3. Türkiye ve AB ülkelerindeki karbonizasyon indeks değişimi (Carbonization index for all countries used in this study) [1]

3. YAPAY SİNİR AĞLARI (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını tam olarak modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece Yapay Sinir Ağları denen yeni ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. Yapay sinir ağları; yapısı, bilgi işleme yöntemindeki farklılık ve uygulama alanları nedeniyle çeşitli bilim dallarının da kapsam alanına girmektedir.

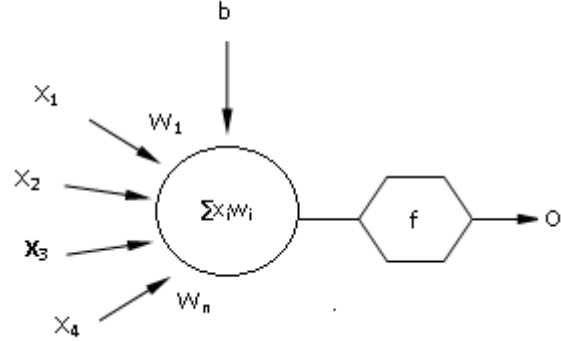
Genel anlamda YSA, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle yada bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder.

Son yıllarda YSA'ları, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan yada ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. YSA'ları çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmakla birlikte genel bir sınıflandırma ile YSA'nın uygulama alanları aşağıdaki gibi 6 grup içerisinde toplanabilir.

- Arıza Analizi ve Tespiti
- Tıp Alanında
- Savunma Sanayi
- Haberleşme
- Üretim
- Otomasyon ve Kontrol

Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli aşağıdaki şekilde görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını

hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlinear) bir fonksiyondur. Şekil 4'te görülen b bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir.



Şekil 4. Temel yapay sinir ağı hücresi (Basic artificial neural network)

Çıkış, $o = f(wx + b)$ şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki w ağırlıklar matrisi, x ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$w = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$$

$$x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

Şeklinde yazılabilir. Formülize edersek;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(net)$$

$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \text{ şeklinde de yazılabilir.}$$

Her türlü yaklaşım belirli bir istatistiksel hata içerir. Burada yaklaşımın doğruluğu varyansın (R^2) mutlak kısmı ve ortalama mutlak hata yüzdesi olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

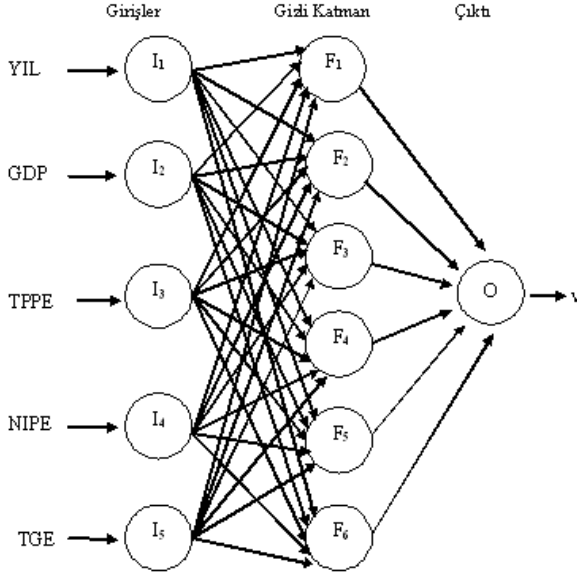
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad (1)$$

4. KARBONİZASYON İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ VE ELDE EDİLEN DEĞERLER (DETERMINATION OF CARBONIZATION INDEX AND VALUES)

YSA yapıları Şekil 5'te gösterilmiştir. Çalışmada LM eğitim algoritması kullanılmıştır. Giriş ve çıkışlar (0, 1) aralığında normalize edilmiştir. Giriş katmanındaki nöronlar hiçbir transfer fonksiyonu içermez. Öğrenme algoritmasında Fermi transfer fonksiyonu kullanılmıştır. En basit şekilde, ürünler ve önyargılar basitçe özetlendikten sonra sonuç üreten transfer

fonksiyonuna dönüştürülür ve nihayetinde çıktı elde edilir.

Gayri safi yurt içi hasılasının, toplam birincil enerji üretimi gibi temel enerji göstergeleri ağın giriş tabakasında kullanılmıştır. Karbonizasyon indeksi (v) çıkış katmanıdır. Gizli tabakalar dört nöronludur. Çıktılar için Temel enerji göstergelerine bağlı Yeni formülasyon Eşitlik 2'de verilmiştir. Farklı temel enerji göstergeleri kullanan denklem Türkiye'de karbonizasyon indeksinin (v) tahmini için kullanılabilir.



Şekil 5. YSA yapısı (ANN architectures)

$$v = \left[I + e^{-4 \begin{pmatrix} -2.679224 F_1 + 3.188391 F_2 \\ -0.446096 F_3 - 0.196244 F_4 + 3.108369 F_5 \\ -0.816621 F_6 - 0.5 \end{pmatrix}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Burada; F_i ($i = 1-6$) Denklem 3'e göre Fermi fonksiyonuyla hesaplanabilir. Türkiye'nin v tahmin denklemleri (Denklemler 1, 2), Denklem 4'te görülen temel enerji göstergelerine bağlıdır. Enerji göstergelerine dayanan Eşitlik 3'teki E_i ($i = 1-4$), Eşitlik 4 ile verilir.

$$F_i = \left[I + e^{-4(E_i - 0.5)} \right]^{-1} \quad (3)$$

$$E_i = C_{1i} * I1 + C_{2i} * I2 + C_{3i} * I3 + C_{4i} * I4 + C_{5i} * I5 \quad (4)$$

Eşitlik 4'teki sabitler (C_{ij}) Tablo 1 de verilmiştir.

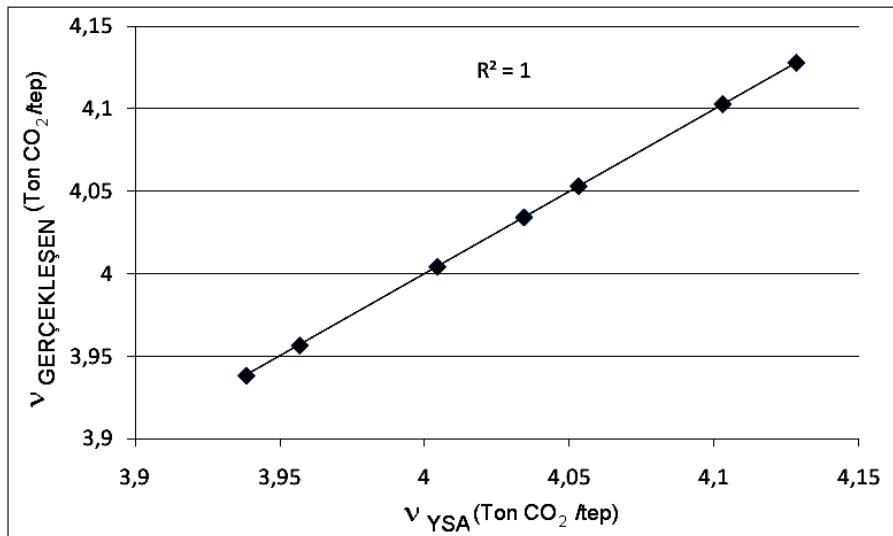
YSA ile elde edilen v değerleri, gerçek değerlere çok yakın olduğu için grafikte üst üstedir ve birlikte görülememektedir. Bu nedenle, sapma değerleri aşağıdaki Eşitlik 5'den hesaplanmakta ve grafik olarak gösterilmektedir.

$$dv = \frac{V_{GERÇEKLEŞEN} - V_{ANN}}{V_{GERÇEKLEŞEN}} \quad (5)$$

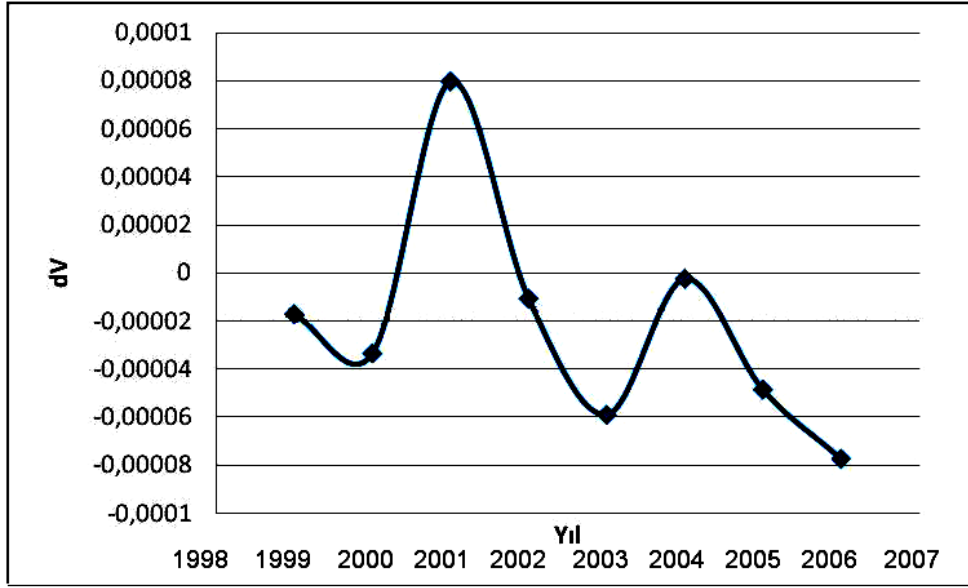
Eğitilen veride kullanılmak üzere, Şekil 6 her bir model için, v 'nun YSA performansını göstermektedir. Yüksek doğrulukta v elde etme açısından, seçilen modeller arasında bir seçim yapmak zordur. Genel bir bakışla, elde edilen sonuçlara göre, dv , Tablo 2 de

Tablo 1. Eşitlik 4'teki sabitler. (Table 1. Constants in Eq. 4)

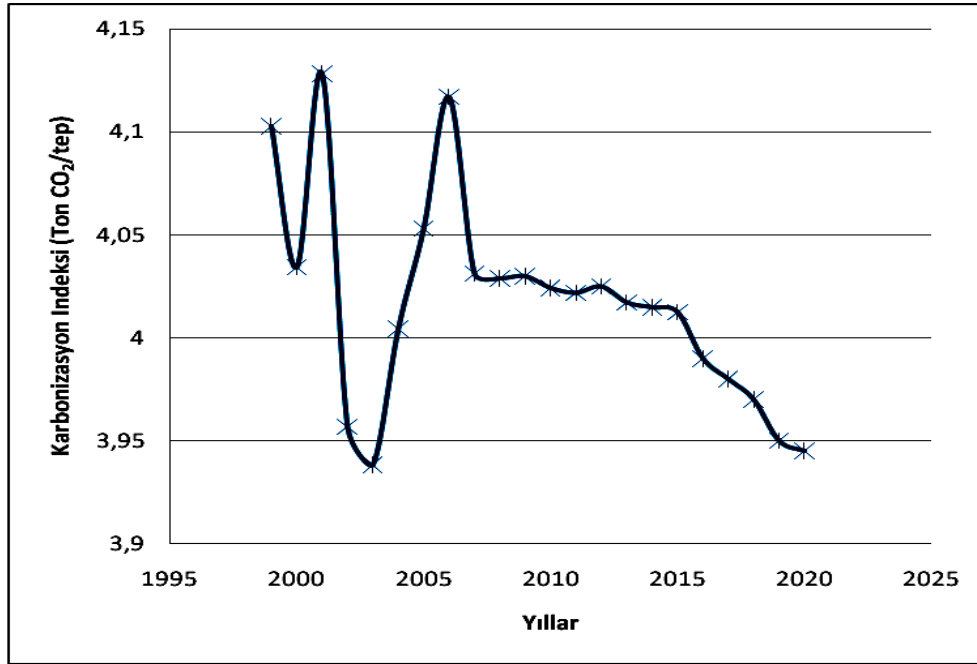
i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}	C_{5i}	C_{6i}
1	-0,962287	-0,997190	-1,197300	-0,083830	-0,894301	0,548146
2	0,758095	1,706945	-0,102081	-0,039349	0,758050	-0,657271
3	0,773017	-1,502742	-0,253761	-0,603064	3,683422	-1,293481
4	3,195198	0,012660	-0,958991	-0,310639	-1,269769	0,136817
5	-0,661668	1,531284	-0,264574	-0,950073	1,084793	-0,385964



Şekil 6. $v_{GERÇEKLEŞEN}$ ve v_{YSA} 'nın karşılaştırılması (Comparison of v_{ACTUAL} and v_{ANN} data)



Şekil 7. Karbonizasyon indeksindeki sapmaların (dv) yıllara göre değişimi (According to the years variation of deviations (dv) in carbonization index)



Şekil 8. Karbonizasyon indeksi için projeksiyon değerleri (Estimation of carbonization index)

verildiği gibi tüm yıllarda $\pm\%$ 0.01 aralığında olup Şekil 7'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Farklı modelleri için istatistiksel değerler (Statistical values for different models)

İstatistiksel değerler	
Ortalama hata (%)	0,000444
R ²	1

Şekil 8 elde edilen karbonizasyon indeks bağıntısı kullanılarak (Eş.2) 2020 yılına kadar Türkiye için projeksiyon değerleri verilmiştir. Projeksiyona bakıldığında Türkiye önümüzdeki yıllarda

karbonizasyon indeksindeki salımları azaltarak karbonizasyon değerini küçültme eğilimine girecektir. Bu da Kyoto Protokolünün imzalanması ve protokolün gereklerini yerine getirmede yapılacak yasal düzenlemeler sonucunda ortaya çıkacaktır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Türkiye'nin, karbonizasyon indeksinin (v) temel enerji göstergelerine bağlı olarak analitik bir ifade ile tanımlanması yapılmıştır. Çalışmada son yıllarda bir çok uygulamada kullanılan yapay sinir ağları (YSA) yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 7 ve Tablo 2'den görüleceği üzere karbonizasyon indeksin gelecek yıllar için tahmini YSA ile bulunan

denklemlerden yüksek doğrulukla tahmin edilebilecektir.

Cumhuriyetin 100. yılına doğru gelişmesini hızlandırmak isteyen Türkiye, durum değerlendirmesini sağlıklı yaparak, doğru verilerden hareket ederek, ülke içi koşullara ve yerli kaynaklara önem vererek, teknolojik-ekonomik-sosyal-çevresel faktörleri optimize eden bir stratejisi geliştirmek zorunluluğunu ancak sayısal verilerden elde edeceği somut dayanaklarla mümkün kılacaktır. Türkiye'nin AB giriş sürecinde henüz açılmayan Enerji ve Çevre başlığı adı altında AB ülkeleri arasındaki konumunun tespit edilmesi temel enerji ve çevre göstergelerindeki eksikliklerinin ve fazlalıklarının belirlenmesi için akademik bir ortamda, bilimsel yaklaşımlarla somut sonuçlar elde etmek gerekmektedir. Bu problem çok değişkenli olup demografik, ekonomik, enerji ve çevre parametrelerini içeren karmaşık bir problemdir. Bu tip karmaşık ve çok değişkenli tahmin modelleri ancak yapay zeka tekniklikleri ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada sunulan analitik tahmin modeli, ülkemiz koşullarına uygun bir enerji-çevre modelinin geliştirilmesi için somut analitik bir veri olma özelliği taşımaktadır. Bu temel üzerine ileriye dönük projeksiyon çalışmaları kolaylıkla yapılabileceği için alternatif politikaların fayda ve maliyetleri incelenme imkanı bulacak ve böylelikle kısa, orta ve uzun vadede hangi politikaların uygulanmasının ülkemiz açısından uygun olacağı tespit edilebilecektir.

Türkiye'nin çevre konusunda yapması gereken çok işi ve alması gereken çok uzun bir yolu olduğu açıktır. Fakat her şeyden önce, Türkiye'nin uzun verimli, kararlı, tutarlı ve çevre hamlelerini cesaretle ve hatta radikal kararlarla yön verebilecek bir çevre politikasına ve stratejisine gereksinimi vardır. Sürdürülebilir ve toplum çıkarlarını gözeten, çevreye saygılı, temini güvenli olan enerji kaynaklarına dayanan, stratejik yapısı güçlendirilmiş ve sağlam bir enerji-çevre sistemi Türkiye'nin ÇEVRE Modelinin geliştirilmesiyle sağlanacaktır.

Kyoto protokolünün gereklerini yerine getirme de önemli indekslerden biri olan karbonizasyon indeksinin temel enerji göstergelerine bağlı olarak analitik ifadelerle tanımlanması, hükümetlerin enerji ve çevre politikalarına uygulanarak önemli faydalar sağlayacaktır.

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

TPPE Toplam birincil enerji üretimi (Total production of primary energy) (1000 tep)
 NIPE Net birincil enerji ithalatı (Net imports of primary energy) (1000 tep)
 TGE Toplam brüt elektrik üretimi (Total gross electricity) (GWh)
 GDP Gayri safi yurtiçi hasıla (Gross domestic production)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sözen, A., Alp, İ., Özdemir, A., "Assessment of Operational and Environmental Performance of Thermal Power Plants in Turkey by Using Data Envelopment Analysis", **Energy Policy**, 38(10), 6194-6203, 2010.
2. Demirbaş, A., "Energy And Environmental Issues Relating To Greenhouse Gas Emissions In Turkey", **Energy Conversion and Management**, 44: 203-213, 2003.
3. Tunç, G.İ., Aşık, S.T., Akbostancı, E., "CO2 Emissions Vs. CO2 Responsibility: An Input-Output Approach For The Turkish Economy", **Energy Policy**, 35: 855-868, 2007.
4. Sözen, A., Alp, İ., "Comparison of Turkey's Performance of Greenhouse Gas Emissions and Local/Regional Pollutants with EU Countries", **Energy Policy**, 37(12), 5007-5018, 2009.
5. Azadeh, A., Saberi, M., Ghaderi, S.F., Gitiforouz, A., Ebrahimipour, E., "Improve Destination Of Electricity Demand Function By Integration Of Fuzzy System And Data Mining Approach", **Energy Conversion and Management**, 49, 2165-2177, 2008.
6. Balat, M., "Energy Consumption And Economic Growth In Turkey During The Past Two Decades", **Energy Policy**, 36(1), 118-127, 2008.
7. Ediger, V.S., Tatlıdil, H., "Forecasting The Primary Energy Demand In Turkey And Analysis Of Cyclic Patterns", **Energy Conversion and Management**, 43, 473-487, 2002.
8. Ediger, V.S., Akar, S., "ARIMA Forecasting Of Primary Energy Demand By Fuel In Turkey", **Energy Policy**, 35(3), 1701-1708, 2007.
9. Hamzaçebi, C., "Forecasting Of Turkey's Net Electricity Energy Consumption On Sectoral Bases", **Energy Policy**, 35(3), 2009-2016, 2007.
10. <http://ec.europa.eu/eurostat>, ve http://www.tuik.gov.tr/jsp/duyuru/upload/faaliyet_raporu.pdf
11. Conzelmann, G., "Analysis of GHG Mitigation Issues in Turkey", **Ankara Climate Change Conference**, 1., 2004.

