

İSTANBUL İLİ TROPOSFERİK OZON (O₃) KONSANTRASYONLARININ HÜCRESEL YAPAY SİNİR AĞ YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ

H.Kurtuluş ÖZCAN*, **Ülkü ŞAHİN**, **Cuma BAYAT** ve **O.Nuri UÇAN****

Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, 34320, Avcılar, İstanbul,

*hkozcan@istanbul.edu.tr

** Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, 34320, Avcılar, İstanbul

(Geliş/Received: 24.01.2005; Kabul/Accepted: 16.06.2005)

ÖZET

Son yıllarda özellikle büyük şehirlerde, artan nüfus ve endüstrileşmeyle fotokimyasal smog oluşumu da artmaktadır. Fotokimyasal smog oluşumunda en önemli kirlenici ozon gazıdır. Bu yüzden pek çok çalışma ozon ve ozon öncülerini hesaba katan hava kalitesi modellemesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada 6 farklı kirlenici parametre ve 8 meteorolojik faktör dikkate alınarak, İstanbul ili troposferik ozon konsantrasyonları Hücreli Yapay Sinir Ağ Yöntemiyle modellenmiştir. HYSA modeli ile birlikte istatistiksel indisler hesaplanmış ve model performansı kontrol edilmiştir. Sonuç olarak, model çıktıları ve istatistiksel değerler incelendiğinde HYSA yapısının ozon konsantrasyonu modellemelerinde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Troposferik ozon, hava kirliliği, HYSA.

MODELING OF TROPOSPHERIC OZONE (O₃) CONCENTRATIONS USING CELLULAR NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

In the recent years, formation of photochemical smog is common in metropolitan areas ozone is the most important pollution which causes photochemical smog. So, many studies focus on the air quality modeling accounted ozone and ozone precursors. In this paper, we have applied Cellular Neural Network for future prediction of ozone concentration in the European parts of Istanbul. We have used various real data parameters observed in 6 different air pollution and 8 meteorological parameters. As a result, CNN model results represent the seasonal increment and decrement of observed Ozone and CNN can be considered as a compromising approach in ozone prediction modeling.

Keywords: Tropospheric ozone, air pollution, CNN.

1. GİRİŞ

Ozon (O₃), Dünya atmosferinde eser miktarlarda doğal olarak oluşan reaktif bir gazdır. Atmosferdeki oksitleyici maddelerin en önemlisi ozondur. Stratosfer tabakasında (yer yüzeyinden 12-48 km yukarıda olan tabaka) bulunan ozon dünyayı güneşten gelen zararlı radyasyondan korur. Yer seviyesindeki ozon ise (troposferik ozon) kirlenici kaynaklardan atmosfere atılan bir kirlenici olmayıp, atmosferde VOCs ve NOx gibi çeşitli kirlenicilerin yan etkileriyle ve güneş ışığı gibi faktörlerin yardımıyla oluşur. Ozon ikincil bir kirlenici olduğundan hava kirliliğine etki eden diğer

faktörler ve meteorolojik etkenlerle doğrudan ilişkilidir.

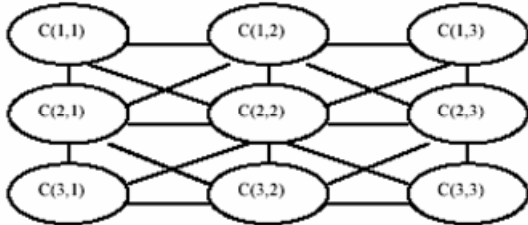
Ozon eğer solunan hava içerisinde yer alıyorsa (troposfer tabakası) hava kirlenicilerden sayılmaktadır. Fotokimyasal sise neden olan troposferik ozonun insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin yanında lastik, plastik ve boyalar üzerinde olumsuz etkileri gözlenmiştir [1]. Bunun dışında atmosferdeki oksitleyici maddeler görüş mesafesini (vizibilite) azaltıcı etkide gösterirler. Ozon, temas süresi ve konsantrasyon miktarına bağlı olarak tüm canlıları ve yapıları etkiler. 60 µg/m³’lük bir konsantrasyona 8

saat süreyle maruz kalma sonucu bitkilerde zarar meydana gelir, 200 µg/m³'lük konsantrasyona 1 saat maruz kalma sonucunda solunum fonksiyonlarında bozulma, burun ve gırtlak tahrişi oluşur [2].

Ozon konsantrasyonlarının ve hava kirliliğinin modellenmesinde Yapay Sinir Ağ (YSA) yapısı bir çok çalışmada kullanılmış olmasına rağmen [3-10], YSA'nın özel bir çeşidi olan Hücresel Yapay Sinir Ağ (HYSA) bu alanda fazla kullanılmamıştır.

Hücresel Yapay Sinir Ağ (HYSA), ilk olarak 1988 yılında Chua ve Yang [11] tarafından önerilen, iki boyutlu veri işleme de YSA'dan başarısı yüksek olan, sınırlı sayıda katsayı kullanarak YSA'nın işlevini yerine getiren bir yöntemdir. HYSA'nın YSA'lara göre en önemli farkı, bu yapıdaki bir hücrenin komşuluk tanımı uyarınca sadece kendi komşu hücreleriyle bağlantılara sahip olması ve iki boyutlu hücrenin bileşenleri arasındaki bağlantı ağırlıklarının değişmez bir bağlantı ağı oluşturmasıdır. İki boyutlu yapılarından dolayı HYSA'lar pratikte görüntü işleme ve görüntü tanımlama konularında oldukça fazla uygulama alanı bulmuşlardır [12-14].

İki boyutlu bir dizi oluşturacak şekilde sıralanmış hücrelerden meydana gelmiş olan bu yapılarda, bilinen yapay sinir ağlarının aksine buradaki her hücre yakın komşuluğundaki hücrelerle belli bir komşuluk ilişkisi altında bağlantı halindedir. Şekil 1 her bir hücrenin sadece çevresindeki hücrelerle bağlantı halinde olduğu 3x3 boyutunda bir HYSA'nı göstermektedir.



Şekil 1. İki boyutlu (3x3), HYSA gösterimi

HYSA'nın temel fonksiyonu, herhangi bir giriş görüntüsünü istenilen amaca uygun bir çıkış görüntüsüne dönüştürmektir. HYSA ile elde edilen çıkış görüntüsünün her bir pikseli -1 veya +1 değerleri ile sınırlandırılır. Giriş resmi ise, istenirse renkli, istenirse gri seviyelerine de sahip olabilir. HYSA'dan geçirilen bir gerekli başlangıç ve diğer koşulların sağlanması durumunda her zaman kararlı sabit bir durum noktasına yaklaşır. HYSA'larda her bir hücre ağırlıklı toplama yapan doğrusal bir giriş birimi, doğrusal bir dinamik ara birimi ve n parçalı (genellikle üç parçalı) orijine göre simetrik bir çıkış biriminden oluşur.

HYSA ağları devre elemanları ile gösterilir ve bir hücreye karşılık gelen elektrik devresinde u giriş, x durum ve y çıkışı tanımlamaktadır.

Bu $H(i,j)$ hücrelerine ait v_{xij} durum geriliminin, başlangıç koşulu ile giriş gerilimi olan v_{uij} 'nin 1 den küçük veya eşit olduğu kabul edilmiştir. v_{yij} ise çıkış gerilimidir. Bir hücresel devrenin eşitliği aşağıdaki gibi gösterilmektedir. Burada Eij bir bağımsız gerilim kaynağını, I bir bağımsız akım kaynağını, C bir doğrusal kapasite, R_x ve R_y iki doğrusal direnç ifadeleridir.

$$\text{Durum eşitliği: } 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (1)$$

$$C \frac{dv_{xij}(t)}{dt} = \frac{1}{R_x} V_{xij}(t) + \sum_{C(k,l) \in Nr(i,j)} A(i,j;k,l) v_{ykl}(t) + \sum_{C(k,l) \in Nr(i,j)} B(i,j;k,l) v_{ukl}(t) + I$$

Çıkışı eşitliği:

$$V_{yij}(t) = 1/2 (|v_{xij}(t)+1| - |v_{xij}(t)-1|), 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (2)$$

Giriş eşitliği:

$$V_{uij}(t) = Eij, 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (3)$$

Kısıtlama durumları:

$$|v_{xij}(0)| \leq 1, 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (4)$$

$$|v_{uij}| \leq 1, 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (5)$$

Parametrik kabuller:

$$A(i,j;k,l) = A(k,l;i,j); 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (6)$$

$$C > 0, R_x > 0 \quad (7)$$

HYSA'nda ki bir hücrenin dinamiklerini çıkış geri beslemesinin etkisini belirleyen $A(i,j;k,l)$ parametresi ile girişin kontrol etkisini belirleyen $B(i,j;k,l)$ parametreleri oluşturur. Bu parametreler ayrıca $A(i,j;k,l)$ geri besleme ağırlık katsayısı ve $B(i,j;k,l)$ giriş ağırlık katsayısı olarak da adlandırılırlar.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışma alanı olarak seçilen İstanbul şehri 41°N ve 29°E'e yerleşmiş olan, 5700 km²'lik alana sahip bir metropoldür. Modelleme çalışmasında İstanbul ili Aksaray ilçesi hava kirliliği ölçüm istasyonunda kaydedilen ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü'nden temin edilen, 2003 yılına ait hava kirliletiçi parametreler kullanılmıştır. Modelde kullanılan meteorolojik parametreler ise İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden temin edilen, Florya meteoroloji istasyonuna ait verilerdir. Kullanılan 8 meteorolojik ve 6 kirliletiçi parametrenin 2003 yılına ait günlük ortalama, minimum, maksimum değerleri ile her bir

değişkenini birimi ve kısaltmaları Tablo 1’de verilmiştir. 2003 yılı boyunca ölçülen veriler HYSA yapısı eğitim ve test aşamalarında kullanılmak üzere düzenlenmiş ve Sinir Ağ Model Yapısı MATLAB 6.5 programı kullanılarak çalıştırılmıştır.

Tablo 1’de belirtilen tüm parametreler kullanılarak bir gün sonraki O₃ konsantrasyonu HYSA modelleme tekniği ile tahmin edilmiştir. Çalışmada o günün verileri giriş değişkenleri ertesi günün ozon değerleri ise çıkış değişkeni olarak kullanılmıştır. Veriler 1 Ocak 2003 ve 30 Aralık 2003 tarihleri arasında sıralanmış ve temin edilen bu değişkenlerin eksik verileri çıkarılarak hepsinin bulunduğu toplam 321 veri eğitim ve test işlemlerinde kullanılmıştır. Eğitim için giriş matrisi 14x172 boyutunda, test için ise 14x149 boyutundadır. Günlük ozon tahminleri için eğitim ve test aşamalarında kullanılan model yapısı Tablo 2’de verilmiştir.

2.1. İstatiksel Parametreler

İstatiksel parametreler, Hücrel Yapay Sinir Ağ modellerinin tahminlerinin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmada beş farklı istatistiksel ifade tanımlanmıştır. Bunlar: ortalama mutlak hata (MAE), ortalama hata karesi kökü (RMSE), ortalama hata eğilimi (MBE), yaklaşım indeksi (d) ve korelasyon katsayısı (r) ifadeleridir ve gözlenen- tahmin edilen değerler arasında yapılan hesap sonucu bulunurlar. İstatiksel hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmışlardır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{O}_i - T_i| \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{O}_i - T_i|^2} \quad (9)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{O}_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{O}_i - \bar{\hat{O}})^2}} \quad (10)$$

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{O}_i - T_i) \quad (11)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{O}_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\left| \bar{\hat{O}} - T_i \right| + \left| \bar{\hat{O}} - \hat{O}_i \right| \right)^2} \quad (12)$$

Burada, $\hat{O}_i$ ve T_i i. günde ölçülen ve tahmin edilen konsantrasyonu, $\bar{\hat{O}}$ ise ölçülen değerlerin ortalamasını ifade etmektedir.

3. BULGULAR

Modelde kullanılan ozon konsantrasyonlarının Ocak 2003 – Aralık 2003 tarihleri arasında ölçülen değerlerinin zamansal değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Ozon parametresinin tahmin edilmesi için kullanılan bütün değişkenlerin kendi aralarında ve ozon ile ilişkileri SPSS 11.5 istatistik programı ile hesaplanmış ve Tablo 3’de verilmiştir.

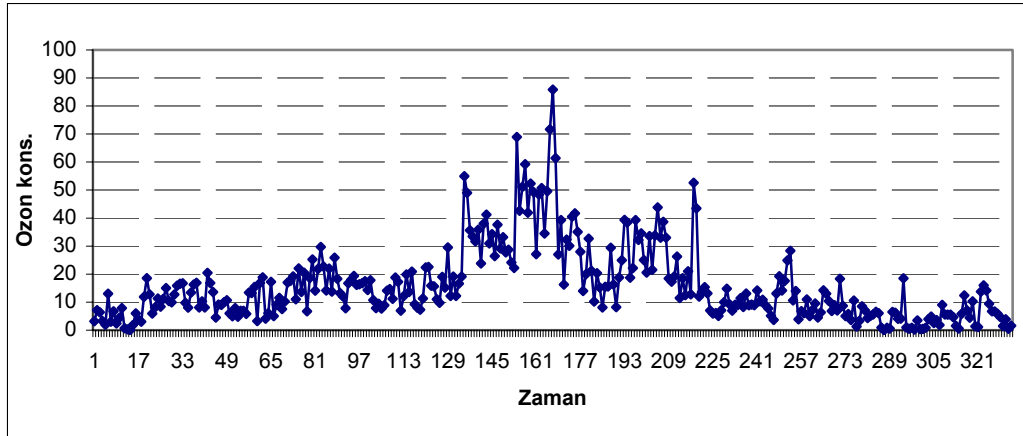
Tablo 1. Modelde kullanılan parametrelerin ölçülen minimum, maksimum ve ortalama değerleri

Parametre	Kısaltma	Birim	Max	Min	Ort
Kükürt dioksit	SO ₂	µg/m ³	82	0	15
Partikül Madde	PM	µg/m ³	198	14	66
Karbon monoksit	CO	µg/m ³	9575	36	1646
Azot oksit	NO	µg/m ³	690	7	104
Azot dioksit	NO ₂	µg/m ³	127	9	59
Ozon	O ₃	µg/m ³	86	0	16
Sıcaklık	SIC	°C	28,8	-0,8	14,4
Nem	NEM	%	95,7	43,3	72,2
Basınç	BA	mbar	1025,3	100,3	1006,6
Güneş Süresi	GSÜR	Saat	13,8	0	6,7
Kapalılık	KAP	-	10,0	0	4,49
Ort Rüz. Yönü*	RYÖN	-	-	-	K.Batı
Ort Rüz. Hizi	RHIZ	m/s	6,2	0,4	2,6
Yağış	YAĞ	mm	31,8	0	1,7

*Ortalama rüzgar yönü değerleri rüzgar gülleri kullanılarak sayısal hale getirilmiştir.

Tablo 2. Hücrel Yapay Sinir Ağ (HYSA) modellemesinde kullanılan veri setleri ve model yapıları

Model	Giriş veri seti	Çıkış verisi
HYSA	SIC _(t) , RHIZ _(t) , GSÜR _(t) , RYÖN _(t) , BA _(t) , AP _(t) , YAG _(t) , CO _(t) , SO _{2(t)} , NO _{2(t)} , NO _(t) , PM _(t) , EM _(t) , O _{3(t)}	SIC _(t+1) , RHIZ _(t+1) , GSÜR _(t+1) , RYÖN _(t+1) , BA _(t+1) , KAP _(t+1) , YAG _(t+1) , CO _(t+1) , SO _{2(t+1)} , NO _{2(t+1)} , NO _(t+1) , PM _(t+1) , NEM _(t+1) , O _{3(t+1)}



Şekil 2. Model çalışmasında kullanılan ozon konsantrasyonlarının (µg/m³), günlük ortalamalarının zamansal değişimi

Tablo 3. Modelleme çalışmasında kullanılan bütün parametrelerin birbirleri ile olan korelasyonları

	<i>O₃</i>	<i>SO₂</i>	<i>PM</i>	<i>CO</i>	<i>NO</i>	<i>NO₂</i>	<i>SIC</i>	<i>KAP</i>	<i>NEM</i>	<i>BAS</i>	<i>GSÜR</i>	<i>RYON</i>	<i>RHIZ</i>	<i>YAG</i>
<i>O₃</i>	1	-0,436	-0,124	-0,203	-0,349	-0,127	0,574	-0,458	-0,458	-0,034	0,601	-0,014	-0,006	-0,142
<i>SO₂</i>	-0,436	1	0,325	0,297	0,418	0,329	-0,416	0,193	0,147	0,023	-0,347	-0,092	-0,117	0,042
<i>PM</i>	-0,124	0,325	1	0,286	0,541	0,450	-0,057	-0,221	-0,037	-0,068	0,094	-0,125	-0,387	-0,200
<i>CO</i>	-0,203	0,297	0,286	1	0,354	0,127	-0,338	0,097	0,104	-0,041	-0,226	0,093	0,047	0,013
<i>NO</i>	-0,349	0,418	0,541	0,354	1	0,482	-0,101	-0,094	0,042	-0,032	-0,093	0,024	-0,344	-0,073
<i>NO₂</i>	-0,127	0,329	0,450	0,127	0,482	1	-0,152	-0,140	0,013	-0,056	0,020	0,004	-0,251	-0,150
<i>SIC</i>	0,574	-0,416	-0,057	-0,338	-0,101	-0,152	1	-0,596	-0,564	-0,013	0,732	-0,081	-0,208	-0,332
<i>KAP</i>	-0,458	0,193	-0,221	0,097	-0,094	-0,140	-0,596	1	0,665	-0,075	-0,892	0,121	0,359	0,380
<i>NEM</i>	-0,458	0,147	-0,037	0,104	0,042	0,013	-0,564	0,665	1	-0,004	-0,697	0,090	0,041	0,308
<i>BAS</i>	-0,034	0,023	-0,068	-0,041	-0,032	-0,056	-0,013	-0,075	-0,004	1	0,047	-0,049	-0,067	0,003
<i>GSÜR</i>	0,601	-0,347	0,094	-0,226	-0,093	0,020	0,732	-0,892	-0,697	0,047	1	-0,133	-0,241	-0,381
<i>RYON</i>	-0,014	-0,092	-0,125	0,093	0,024	0,004	-0,081	0,121	0,090	-0,049	-0,133	1	-0,043	0,140
<i>RHIZ</i>	-0,006	-0,117	-0,387	0,047	-0,344	-0,251	-0,208	0,359	0,041	-0,067	-0,241	-0,043	1	0,274
<i>YAG</i>	-0,142	0,042	-0,200	0,013	-0,073	-0,150	-0,332	0,380	0,308	0,003	-0,381	0,140	0,274	1

Tablo 3'den de görüleceği gibi güneşlenme süresi ile ozon arasında 0,601 gibi yüksek bir korelasyonla bulunurken, rüzgar hızı düşük -0,06 gibi düşük bir korelasyona sahiptir. Tablo 3'de ki değişkenlerin ozon ile olan korelasyonları :

$$B = \begin{bmatrix} -0,0194 & -0,0151 & -0,0106 \\ -0,0081 & 0,0091 & -0,0081 \\ -0,0106 & -0,0151 & -0,0194 \end{bmatrix}$$

$$I = [0,0091]$$

GSÜR>SIC>NEM>KAP>SO₂>NO>CO>YAG>NO₂>PM>BAS>RYON>RHIZ

şeklinde oluşmaktadır. HYSA model yapısı, oluşturulan P ve T matrisleri ile istenilen çıkış değerlerinin elde edilmesi amacıyla eğitilmiştir. Komşuluk, $r = 1$ seçilerek model çalıştırılmış ve eğitim sonucunda elde edilen A, B, ve I katsayıları aşağıda sunulmuştur.

$$A = \begin{bmatrix} 0,0024 & 0,0136 & 0,0277 \\ 0,0060 & 1,0845 & 0,0060 \\ 0,0277 & 0,0136 & 0,0244 \end{bmatrix}$$

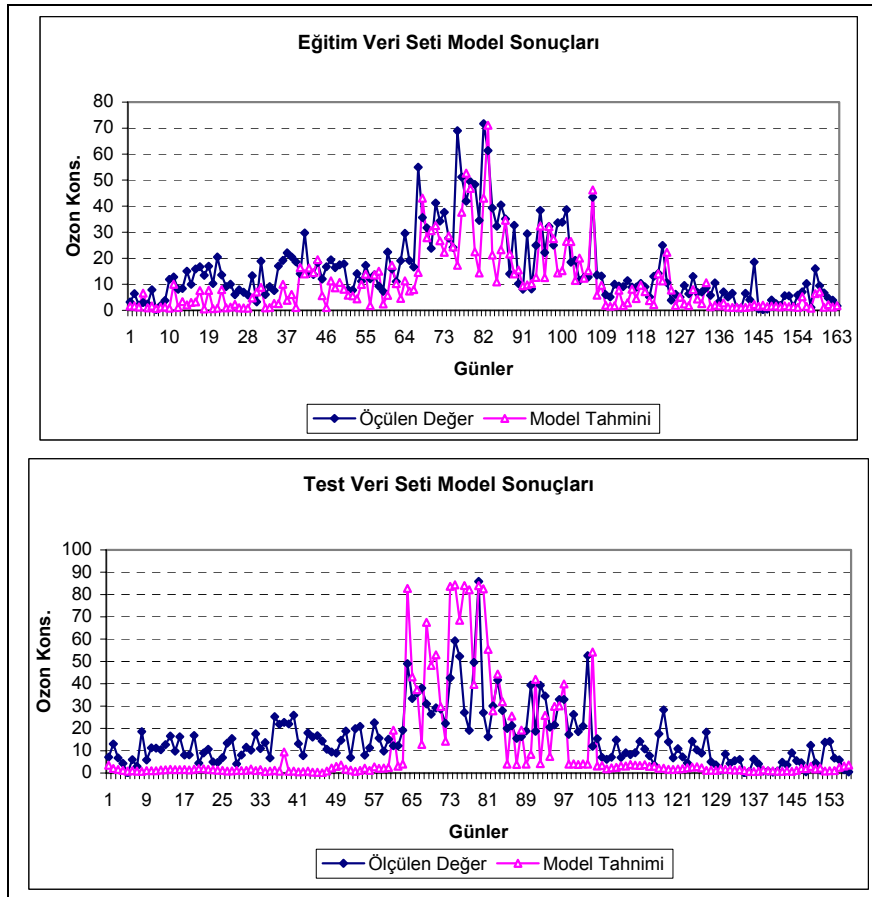
Elde edilen bu katsayılar test setine uygulanmış ve test veri seti için model sonuçlarına ulaşılmıştır (Şekil 3).

Model tahminleri ile gerçek değerler arasındaki sapmalar esas alınarak hesaplanan istatistiksel performans değerlendirme parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Model yapısı için model tahmin hatalarının frekans dağılımları Şekil 4'te gösterilmiştir. Frekans dağılımları incelendiğinde HYSA modellemesi ile bulunan konsantrasyonların hata frekanslarının normal bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

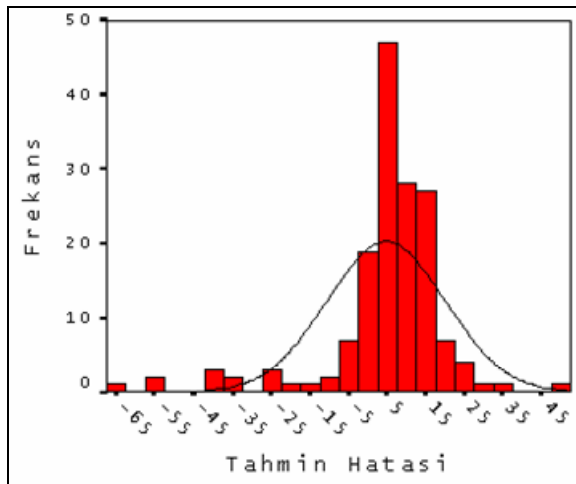
Model sonuçlarının geliştirilmesi amacıyla eğitim

Tablo 4. HYSA modelinin tahmin sonuçları ile gerçek ölçüm sonuçları arasındaki yakınlığın istatistiksel değerlendirmesi

Model Yapısı	<i>r</i>	<i>ORT</i>	<i>BİAS</i>	<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	<i>d</i>
HYSA	0,68	15,48	4,63	11,48	256,9	0,76



Şekil 3. HYSIA modellemesi eğitim ve test çalışması sonucu tahmin edilen ozon konsantrasyonlarının 2003 yılı süresince günlük değişimi



Şekil 4. HYSIA model yapısı için ozon tahminleri hatalarının frekans dağılımı

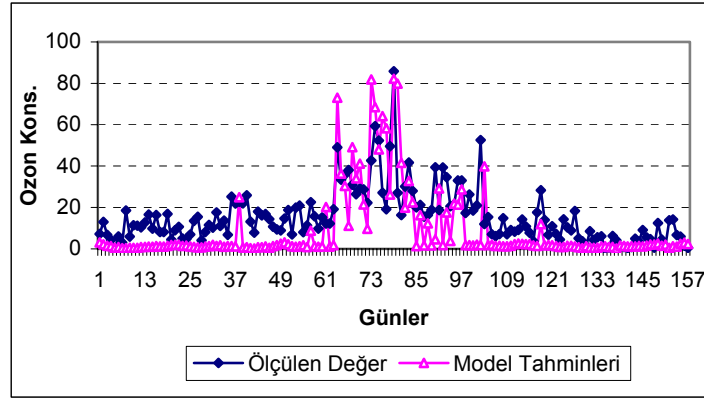
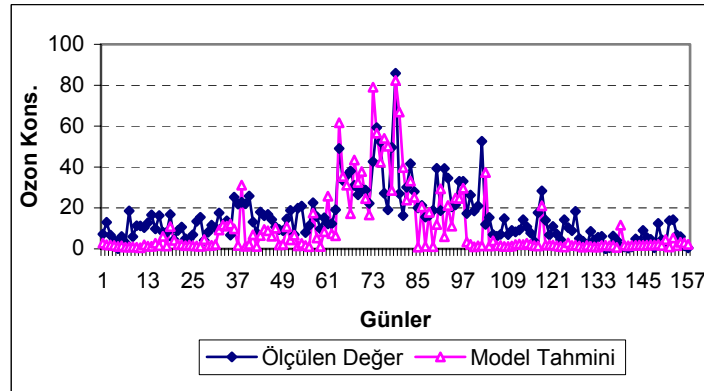
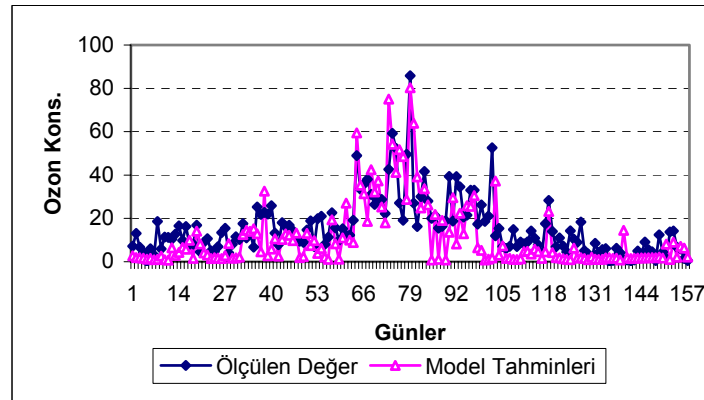
aşaması sonucunda elde edilen A geri besleme matrisi farklı değerler denenerek test veri seti çalıştırılmıştır. Bu amaçla $A_{22} = 1,05$, $A_{22} = 1,01$, $A_{22} = 1,0$ değerleri ile model test edilmiştir. Bu durumlar için model çıktıları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de görülmektedir.

Şekil 5, 6 ve 7 incelendiğinde A_{22} matrisinin değeri küçüldükçe modelin tahmin oranının arttığı görülmektedir. $A_{22} = 1,0$ değeri için, $A_{22} = 1,05$ ve

$A_{22} = 1,01$ şartlarından daha iyi bir model çıktısı elde edilmiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, önemli bir hava kirletici olan ozon, başlıca kirletici parametreler ve meteorolojik faktörler ile hücrel yapay sinir ağ (HYSIA) yapısı kullanılarak modellenmiştir. Şekil 3, 5, 6 ve 7 de ki model çıktıları ve Tablo 4’deki istatistiksel ifadeler veri işlemede kullanılan HYSIA tekniğinin hava kirliliği modellemelerinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ozon tahmininde kullanılan atmosferik parametrelerin 1 yıllık değişimleri modelde dikkate alınmıştır. Veri kayıt süresinin arttırılmasının modelin duyarlılığıyla doğru orantılı olması muhtemeldir. Fakat bu çalışmada modelin hatalarını en aza indirmek için 4 mevsimi ve tüm atmosfer şartlarını sağlayacak şekilde veri modele girilmiştir. Her türlü (kış, yaz ve bahar dönemlerine ait) atmosferik ve meteorolojik değişkenin uygulanmış olması modelin tutarlılığı açısından önem teşkil etmektedir. Çalışmada modelin tahmin kabiliyetini ifade eden r değeri 0,68 olarak bulunmuştur (Tablo 4). Spellman, İngiltere’nin Londra, Harwell, Birmingham ve Leeds kentleri için yaptığı ozon tahminlerinde YSA yapısını kullanmış ve elde ettiği sonuçlardaki r (korelasyon katsayısı) değerini, Londra için 0,77, Harwell için 0,72,

Şekil 5. $A_{22} = 1,05$ için HYSA model çıktısıŞekil 6. $A_{22} = 1,01$ için HYSA model çıktısıŞekil 7. $A_{22} = 1,0$ için HYSA model çıktısı

Birmingham için 0,53 olarak bulmuştur [6]. Gardner tarafından yapılan bir ozon modellemesi çalışmasında ise korelasyon katsayıları 0,40-0,60 arasında değişen değerlerde bulunmuştur [5]. Literatürde ozon konsantrasyonlarına yönelik modelleme çalışmaları incelendiğinde bu çalışmada elde edilen korelasyon katsayısının ($r = 0,68$) literatürle uyumlu ve iyi bir modellemeyi ifade ettiği görülmektedir.

Hava Kirliliği alanında uygulanan bu modelin amacı, ozon konsantrasyonlarına meteorolojik faktörlerin ve diğer kirlenici parametrelerin etkilerini belirlemektir. Çalışmanın diğer bir hedefi de, İstanbul kenti verileri ile kurulan modelin farklı günler için, farklı zaman

periyotlarında ozon konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde kullanılmasıdır. Sonuç olarak; 8 farklı meteorolojik ve 6 kirlenici parametre değerleri ile O_3 konsantrasyonu değişiminin HYSA modeli ile başarılı bir şekilde temsil edildiği ortaya konmuştur.

Literatürde ozon konsantrasyonlarının modellenmesi konusunda yapılmış çalışmalar yapay sinir ağları (YSA) uygulamalarına yöneliktir [4-7, 9, 10, 15]. Literatür taramamız sonucunda; görüntü ve veri işlemede oldukça fazla kullanılan hücresel yapay sinir ağlarının (HYSA), hava kirliliği modellenmesinde rastlanan bir uygulama alanı olmadığı gözlenmiştir. Bu kapsamda çalışmanın yeni ve geliştirilebilir bir

konu ve bu konuda çalışan araştırmacılara örnek olabilecek bir uygulama alanı olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Eryılmaz, E., **İstanbul'da Gece Ozonu**, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
2. Tecer, L., **İstanbul Kenti Fotokimyasal Smog Mekanizmasının Modellenmesi** Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, 2000.
3. Tirabassi, T., Pelliccioni, A. ve Garazzo, C., "Coupling of Neural Network and Dispersion Models: a Novel Methodology for Air Pollution Models", **Int. J. Environment and Pollution**, Cilt 20, No.1-6, 136-146, 2003.
4. Wahab-Abdul, S.A. ve Al-Alawi, S.M., "Assessment and Prediction of Tropospheric Ozone Concentration Levels Using Artificial Neural Networks", **Environmental Modeling & Software**, Cilt 17, pp 219-228, 2002.
5. Gardner, M.W., Dorling S.R., "Statistical Surface Ozone Models; an Improved Methodology to account for Nonlinear Behavior" **Atmospheric Environment**, Cilt 34, 21-34, 2000.
6. Spellman G., "An Application of Artificial Neural Networks to the Prediction of Surface ozone Concentrations in the United Kingdom", **Applied Geography**, Cilt 19, 123-136, 1999.
7. Comrie A. C., "Comparing Neural Networks and Regression Model for Ozone Forecasting", **Journal of Air and Waste Management Association** Cilt 47, 653-663, 1997.
8. Jorquera H., Ricardo P., Cipriano A., Espejo A., Letelier M.V., and Acuna G., "Forecasting Ozone Daily Maximum Levels At Santiago, Chile", **Atmospheric Environment**, Cilt. 32, 1267-1271, 1998.
9. Elkamel A., Wahab-Abdul S.A., Bouhamra W., Alper E., "Measurement and Prediction of Ozone Levels Around a Heavily Industrialized Area; A Neural Network Approach", **Advanced in Environmental Research**, Cilt 5, 47-59, 2001.
10. Ruiz -Suarez J.C., Mayora-Ibarra O.A., Torres-Jimenes J. ve Ruiz -Suarez L.G., "Short Term Ozone Forecasting by Artificial Neural Networks", **Advances in Engineering Software**, Cilt 23, 143-149, 1995.
11. Chua L.O., Yang L., "Cellular Neural Networks" **Application, IEEE Transactions on Circuits and Systems** Cilt 35 (10), 1273-1290, 1988.
12. Şahin U., Uçan O.N., Tolluoğlu O., ve Bayat C., "İstanbul'un Hava Kirliliğinin Hücresel Yapay Sinir Ağ ile Modellenmesi", **TAINN'04 Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks**, 2004 Izmir, Turkey
13. Albora, A.M., Ucan, O.N., Ozmen, A., ve Ozkan, T. "Separation of Bouguer Anomaly Map Using Cellular Neural Network", **Journal of Applied Geophysics** Cilt 46, 129-142, 2001.
14. Cimagalli, V. "Cellular Neural Networks A Review", **Proceedings of Sixth Italian Workshop on Parallel Architectures and Neural Networks**, Vietri Sul Mare, May 12-14, 1993, Italy
15. Özcan H.K., Şahin Ü., Bayat C., Uçan O.N "İstanbul Şehir Atmosferindeki Troposferik Ozon (O₃) Kirliliğinin Yapay Zeka İle Modellenmesi", **HİTEK'05 Havacılıkta İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Hava Harb Okulu, İstanbul, 2005.