



Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi

www.hkad.org



Araştırma Makalesi

Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Kirletici Seviyelerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi

Derya BAYTAK ¹✉, Sait C. SOFUOĞLU ³, Onur ALKAN ^{1,2}, Tolga ELBİR ⁴

¹İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Gülbahçe, Urla 35430 İzmir, Türkiye

²73/1 Sk. No: 10/15, Bayraklı 35530, İzmir

³İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü ve Çevre Ar-Ge Merkezi, Gülbahçe, Urla 35430, İzmir, Türkiye

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, Buca 35160 İzmir, Türkiye

Sunuluş tarihi: 18 Eylül 2012, Kabul edilme tarihi: 20 Ocak 2013

ÖZET

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirletici seviyelerinin belirlenmesi özellikle insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkilerinden dolayı önem taşımaktadır. Bu çalışmada CO, CH₄, NMVOC, NO_x, O₃, PM₁₀, ve SO₂ gibi hava kirletici derişimlerinin İzmir'de bir cadde ölçüğünde tahmin edilmesi amacıyla meteorolojik değişkenler ve taşıt sayımları verilerini kullanan Yapay Sinir Ağı (YSA) modelleri oluşturulmuştur. CO haricinde tüm kirleticiler için yüksek sayılabilen korelasyon ve düşük hata oranları elde edilmiştir. Tahmin edilen ve ölçülen konsantrasyonlar arasında en yüksek korelasyon ($r = 0,89$) ve en düşük hata (NMSE = 0,22) ozon için tek katmanlı bir model ile sigmoid fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, veri toplanmış diğer caddelerde de çalışılarak YSA modellerinin İzmir'in hava kalitesi yönetiminde bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağı, hava kalitesi modellemesi, trafik, İzmir

© Tüm yayın hakları Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi'ne aittir.

1. Giriş

Hava kirliliğinin artmasına neden olan başlıca faktörler hızlı nüfus artışı, kentleşme ve endüstriyel faaliyetler olarak sıralanabilir. Son yıllarda birçok ülkede yapılan yasal düzenlemeler nedeniyle evesel ve endüstriyel kaynaklı hava kirliliği seviyeleri önemli ölçüde azalmış, buna rağmen motorlu karayolu taşıtlarının sayılarının artmasıyla birlikte şehir merkezlerinde hava kirliliği seviyelerinde artış gözlenmiştir (Sharma ve Khare, 2001).

Motorlu taşıtlar neden olduğu kirletici miktarı ve kirletici türleri açısından önem taşımaktadır. Benzin ve motorin kullanılan motorlu taşıtlardan atmosfere salınan egzoz gazlarının bileşiminde; parafinler, olefinler ve aromatikler gibi yanmış hidrokarbonlar; aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler gibi kısmen yanmış hidrokarbonlar (HC); karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), kurşun bileşikleri ve partikül maddeler (PM₁₀) bulunmaktadır (Müezzinoğlu, 2003). Hava kirletici derişimlerinin belirlenmesi özellikle insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkilerinden dolayı önem taşımaktadır. Kirleticilerden CO, vücutta oksijen taşımاسının azalmasına neden olarak kalp sağlığını etkile-

mektedir; NO₂ ise yüksek derişimlerde akciğerler üzerinde tahrîse neden olmakta ve solunum yolu hastalıklarına karşı direnci düşürmektedir (Kristina, 1999; WHO 2000). Diğer bir hava kirletici gaz olan SO₂ akciğerlerin fonksiyonunu bozmaktadır (ATSDR, 1998). Hidrokarbonların ise çeşitli kronik-toksik ve/veya kanserojenik etkileri olduğu bilinmektedir (ATSDR, 1995).

Taşıt kaynaklı kirlilik tahmin modelleri anayollara yakın yerlerde egzoz emisyonlarının dispersiyon karakteristiklerini kullanarak hava kirletici derişimlerinin zamana ve yere bağlı olarak değişimlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Hava kalitesi modelleme yaklaşımları deterministik, istatistiksel modeller ile bunların hibritleri ve yapay sinir ağlarının (YSA) da aralarında yer aldığı yapay zeka yöntemlerini içermektedir. YSA modelleri çizgi kaynaklarının modellemesinde oldukça yaygın olarak kullanılmıştır.

Kocaeli şehir merkezinde ölçülen SO₂ and PM₁₀ derişimlerini tahmin etmek amacıyla oluşturulan regresyon ve yapay sinir ağı modellerinde sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem, basınç ve

yağış verileri girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Her iki modelin tahmin kapasiteleri karşılaştırıldığında YSA modellerinin tahmin kapasitesinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. SO_2 ve PM_{10} için oluşturulan YSA modellerinin R^2 değerleri sırasıyla 0,89 ve 0,75 olarak rapor edilmiştir (Özbay, 2012). Diğer bir çalışmada, İstanbul ili Göztepe semtine ait 24 saatlik ortalama SO_2 derişimlerinin tahmini amacıyla üç katmanlı YSA modeli oluşturulmuştur (Akkoynu v.d., 2010). Modelde girdi parametresi olarak bir önceki güne ait SO_2 derişimi ve rüzgar hızı, basınç, sıcaklık gibi meteorolojik veriler kullanılmıştır. Modellerin tahmin kapasiteleri karşılaştırıldığında korelasyon katsayıları kiş, yaz ve tüm data için korelasyon katsayıları sırasıyla 0,783; 0,780 ve 0,792 olarak bulunmuştur. Şahin v.d. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul ilindeki SO_2 derişimlerini tahmin etmek amacıyla üç katmanlı YSA modeli oluşturulmuştur. Bu modelde girdi parametresi olarak SO_2 derişimi ve meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen SO_2 derişimleri arasındaki korelasyon katsayıları eğitimsel ve test veri setleri için sırasıyla 0,999 ve 0,528 olarak bulunmuştur. Test veri seti için ortalama mutlak hata ve karekök ortalama karesel hata ise sırasıyla 14,97 ve 23,13 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak bildirilmiştir.

İstanbul ilindeki troposferik ozon derişimlerinin YSA modelleri ile tahmini için gerçekleştirilen diğer bir çalışmada (İnal, 2010), sıcaklık, basınç, bağıl nem, günlük yağış miktarı gibi meteorolojik değişkenler ve SO_2 , PM_{10} , CO , NO , NO_2 ve CH_4 , ortalama ve en yüksek ozon derişimleri gibi hava kirletici derişimleri girdi parametreleri olarak kullanılarak YSA modelleri oluşturulmuştur. Optimizasyon sonucunda 18 girdi parametresi kullanılan, 24 nöron içeren tek katmanlı YSA yapısı için korelasyon katsayısı, ortalama mutlak hata ve karekök ortalama karesel hata, sırasıyla 0,90; 8,78 $\mu\text{g m}^{-3}$ ve 11,15 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur.

Moseholm v.d. (1996), trafik parametreleri ile çok katlı binalarla rüzgara karşı siperlenen bir kavşakta ölçülen CO derişimi arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla YSA modelleme yöntemini kullanmıştır. Diğer bir çalışmada, Arjantin'deki Rosario şehrine ait kentsel bölgede saatlik CO derişimlerini belirlemek amacıyla bir YSA modeli oluşturulmuştur (Drozdowicz v.d., 1997). Bu modelde araç sayısı, rüzgar hızı ve yönü, güneş radyasyonu, nem, basınç, yağmur miktarı ve sıcaklık girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Gardner ve Dorling (1998), çok katmanlı algılayıcı (MLP), YSA modelleri oluşturmak amacıyla Londra merkezinde ölçülen saatlik NO_x ve NO_2 derişimlerini ve meteorolojik verileri girdi parametreleri olarak kullanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları aynı bölge için daha önce oluşturulan regresyon modelleri ile karşılaştırıldığında daha iyi performans sağladığı ortaya çıkmıştır (Shi ve Harrison, 1997). Perez ve Trier (2001), tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada Santiago Şili'de bir trafik kavşağında ölçülen NO ve NO_2 derişimlerini belirlemek için çok katmanlı bir yapay sinir ağı geliştirilmiştir. Bu model, regresyon modelleri ile karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde YSA kullanılarak regresyon modellerine göre

daha yüksek tahmin başarısı ve daha düşük hata oranı elde edilebilmektedir. Bunun yanısıra yaygın olarak kullanılan ve tamamen trafik kökenli kaynaklar için geliştirilmiş olup, iki tarafı yüksek binalarla çevrili caddeler içinde yeterince dağılamayıp zamanla biriken kirleticileri tahmin etmek amacıyla kullanılan Cadde-Kanyon modelleri NO , NO_2 ve CO gibi farklı kirleticiler (Kukkonen v.d., 2000; Gokhale v.d., 2005; Berkowicz v.d., 2008) ve partikül madde için (Bihan v.d., 2002; Ketzel v.d., 2007; Assael v.d., 2008; Elbir v.d., 2011) çeşitli bölgelerde başarı ile kullanılmıştır. Cadde-Kanyon modellerinin performansı ile karşılaştırıldığında ise YSA kabul edilebilir başarı/hata düzeyleri yakalayabilmektedir.

Bu çalışmada İzmir'de bir caddede eş zamanlı olarak ölçülen trafik kaynaklı hava kirletici derişimleri, meteorolojik değişkenler ve taşıt sayımları verileri kullanılarak YSA modelleri oluşturulmuştur. Çalışmanın hedefi; bu cadde örneğinde İzmir geneli için YSA modelleme tekniğinin hava kalitesi yönetimi aracı olarak kullanılabilirliğini çeşitli kirleticiler için belirlemektir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Taşıt sayımı

Bu çalışmada kullanılan taşıt sayımı, hava kalitesi ve meteorolojik ölçümler İzmir'de Cemal Gürsel Caddesi üzerinde 10–16 Ekim 2007 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Cemal Gürsel Caddesi, İzmir Körfezi'nin kuzey kesimindeki Karşıyaka ilçesinin sahil şeridi boyunca uzanan bölünmüş, çift yönlü ve geniş bir yoldur. Alaybey Tersanesi'nin arkasından başlayıp, Bostanlı Vapur İskelesi'ne kadar devam eden bu cadde, yaklaşık 3,2 km uzunluğundadır. Üzerindeki yoğun taşıt trafiğinden dolayı (maksimum 3 533 taşıt sa^{-1}) kent hava kalitesi için önemli bir yoldur.

Cadde üzerinde hareket halinde bulunan taşıtların sayımı bir araştırma projesi (Elbir v.d., 2008) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Taşıt sayımları için Metrocount firmasının "Vehicle Classifier System – 5600 Series" modeli otomatik taşıt sayımlı ve sınıflandırma cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar yol üzerine birbirine paralel yerleştirilen 2 adet pnömatik (havalı) hortum üzerinden geçen taşıtların hava basıncı etkisiyle sayılması ve sınıflandırılması esasına dayanan taşınabilir cihazlardır. Metrocount trafik sayımlı ve sınıflandırma cihazları ile her bir taşıta ait ölçüm tarihi ve zamanı, taşıt sayımlı numarası, hareket yönü, aks sayısı, yol şeridi numarası, taşıt tipi, hızı, bir önce geçen taşıt ile arasındaki zaman (saniye) farkı ve ölçümün geçerliliği gibi bilgiler kaydedilerek, taşıtlar motosiklet, otomobil, minibüs + kamyonet, ve otobüs + kamyon olarak 4 ana kategoriye ayrılarak sayılmıştır. Sayımlar hava kalitesi ölçümleri ile eşzamanlı olarak caddenin gidiş-geliş yönleri için ayrı ayrı ve aynı anda kesintisiz olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Hava kalitesi ölçümleri

Proje kapsamında taşıt sayımı yapılan cadde üzerinde İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne ait bir mobil dış hava kalitesi ölçüm istasyonu ile hava kalitesi seviyeleri ölçülmüştür. Motorlu

taşıtlardan kaynaklanan temel kirleticilerin başında gelen azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), havada asılı partikül madde (PM_{10}), kükürt dioksit (SO_2), ozon (O_3) ve metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC), rüzgar yönü, rüzgar hızı, nem, sıcaklık ve basınç gibi parametrelerin tamamı istasyonda ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Hava kirleticileri ölçen cihazlar Thermo Inc. marka olup EPA onaylı cihazlardır. Bu cihazlar, PM_{10} ölçümünde beta işini adsorpsiyon yöntemi, CO ölçümünde infrared yöntemi, NO_x ölçümünde kemilüminesans yöntemi, CH_4 ve NMVOC ölçümü için alev ionizasyon detektörlü gaz kromatografi yöntemi kullanmıştır.

Mobil ölçüm istasyonu cadde üzerinde yol ile arasında engel olmayacak şekilde taşıtların etkisinin doğrudan izlenebileceği yola yakın ve gün boyu güvenliğinin sağlanabildiği ve elektrik ihtiyacının karşılanabileceği bir noktaya yerleştirilmiştir. Mobil istasyon, ölçüm noktasında bir hafta içindeki günlük ve saatlik değişimleri görebilmek için 10–16 Ekim 2007 tarihleri arasında 7 gün boyunca sürekli olarak işletilmiştir.

2.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları sinir hücrelerinin birbirleriyle etkileşim halinde çalışması prensibini kullanan modelleme yöntemidir. Bu modeller nonlineer veya dinamik sistemlerin ayrıntılı bir uygulamasıdır (Karunanithi vd., 1992). YSA belirli sayıda katman ve bu katmanlarda bulunan birbirine bağlı nöronlardan oluşmaktadır.

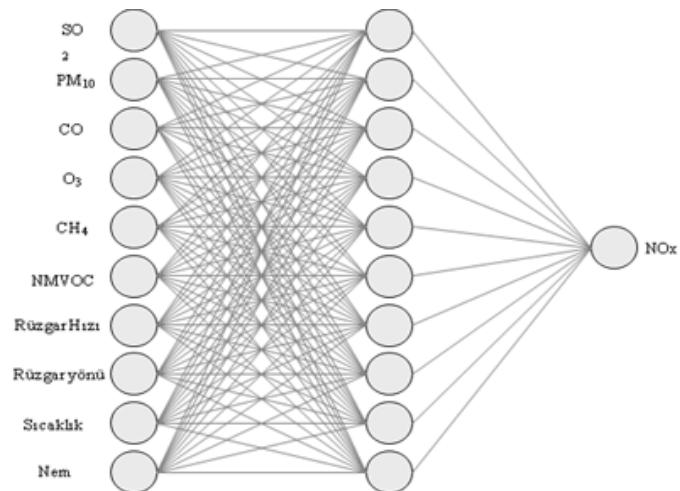
Yapay sinir ağlarında en çok kullanılan sinir ağı yapısı ileriye beslemeli ve geriye hata yayılmıştır. İleri beslemeli sinir ağlarında girdi, çıktı ve ara katmanlar bulunmaktadır. Girdi katmanında bulunan nöronlar diğer katmanlardaki nöronlarla bağlantı ağırlıklarıyla ilişkilendirilmiştir. Bir katmandaki işlem elemanlarına gelen veriler bu bağlantı ağırlıklarıyla ilişkilendirilerek tüm nöronların ağırlıkları toplanır ve bir sonraki katmana iletilerek öğrenme işlemi gerçekleştirilir. YSA’nda öğrenme aşamasında verilerin işlenmesi için doğrusal, eşik fonksiyon veya sigmoid fonksiyon gibi aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, YSA modellerinin oluşturulmasında Neuro Solutions 5.0 yazılımı kullanılmıştır. Meteorolojik parameteler, hava kirleticilerin derişimleri ve taşıt sayıları girdi nöronları olarak kullanılmıştır. Çıktı katmanında ise kirletici derişimini belirten tek bir nöron bulunmaktadır. İkinci katman olan gizli veya saklı katmanda ise çeşitli nöron sayıları denenerek optimum nöron sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant (HTF) ve sigmoid fonksiyonları (SF) denenmiştir. Fonksiyon matematiksel ifadeleri SF için Eşitlik-1, HTF içinse Eşitlik-2’de gösterilmiştir.

$$f_{(net\ j)} = \frac{1}{1 + e^{-net_j}} \quad (1)$$

$$f_{netj} = \frac{2}{1 + e^{-2netj}} - 1 \quad (2)$$

Geçmişte yapılan hava kirliliği modellemesi çalışmalarında, hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunun lojistik sigmoid fonksiyonuna göre saklı katman nöronları arasındaki non-lineeriteyi daha hızlı ve etkili bir şekilde eşlestirdiği ortaya çıkmıştır (Gardner ve Dorling, 1998). Toplam veri sayısı 168 olup saatlik ortalama değerlerdir. Bu verilerin 42 adeti öğrenme veri seti, 42 adeti test verisi ve 84 adeti de doğrulama verisi şeklinde rastlantısal olarak ayrılmıştır. Öğrenme, test ve doğrulama veri setleri oluştururken, öğrenme veri setinin tüm veri seti aralığı içerisinde kalmasına dikkat edilmiştir. Saklı katmandaki işlem elemanı sayısı, momentum ve öğrenme hızı gibi öğrenme algoritması parametresinin optimize edilmesinde kullanılan yazılım içinde bir seçenek olarak sunulan genetik algoritma uygulaması kullanılmıştır. Şekil 1’de NO_x için oluşturulan bir YSA modeline ait yapıyapı sinir ağı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1: NO_x tahmini için oluşturulan, tüm değişkenleri girdi olarak kullanan, tek gizli katmanlı YSA modeli yapısı.

Modellemede karşılaştırma amaçlı kullanılan girdi değişkenleri iki gruba ayrılmıştır: (1) Kirletici derişimleri, meteorolojik değişkenler ve araç sayılarını içeren tüm veri seti, (2) meteorolojik veriler ve taşıt sayıları. Girdi değişkenleri arasındaki ilişki düzeyi bir Pearson korelasyon matrisi kurularak kontrol edilmiştir. İstatistiksel olarak geçerli ilişkiler bulunmasına rağmen tüm korelasyon katsayıları değerleri $< 0,7$ olarak bulunduğu için tüm değişkenlerin bağımsız adaledilebileceği ve modele girdi olarak kullanılabilen kabul edilmiştir. Her bir YSA için hiperbolik tanjant ve sigmoid fonksiyonlarının performansları belirlenmiştir. YSA modellerinin performanslarının değerlendirilmesinde ölçülen ile tahmin edilen derişimler arasındaki korelasyon katsayısi (r) ve normalize edilmiş ortalama hata (NMSE) değerleri kullanılmıştır. NMSE Eşitlik-3’teki gibi hesaplanmaktadır.

$$NMSE = \frac{P \cdot N \cdot MSE}{\sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N d_{ij}^2 - (\sum_{i=0}^N d_{ij})^2} \quad (3)$$

Burada, P : çıktı işlem elemanı sayısı, N : veri setindeki data sayısı, MSE : ortalama karesel hata, d_{ij} : j . işlem elementindeki i . veriye ait beklenen çıktı değeridir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Araç sayıları, kirletici derişimleri ve meteorolojik değişkenler

Bu çalışmada kullanılan girdi değişkenleri olan hava kirleticiler ile meteorolojik veriler ve taşıt sayıları için hesaplanan tanımlayıcı istatistikler sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de

Tablo 1. Hava kirleticiler için tanımlayıcı istatistikler

	SO_2 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM_{10} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	CO ($\mu\text{g m}^{-3}$)	NO ($\mu\text{g m}^{-3}$)	NO_2 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	NOx ($\mu\text{g m}^{-3}$)	O_3 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	CH_4 (ppb)	NM VOC* (ppb)
Öğrenme veri seti	Ortalama	6,51	48,6	638	31,6	40,0	71,5	48,8	302
	En düşük	0,00	0,00	255	0,00	7,20	7,60	3,30	17,5
	En yüksek	33,8	262	2051	277	97,3	361	158	1666
	Standart sapma	6,76	38,8	288	42,9	22,9	61,2	33,4	257
Test veri seti	Ortalama	7,24	46,9	600	35,8	42,5	78,1	45,2	281
	En düşük	0,00	0,00	255	0,00	7,60	7,80	3,60	55,4
	En yüksek	31,1	167	2051	162	95,4	239	120	890
	Standart sapma	7,75	38,7	319	37,1	23,8	63,7	31,6	222
Doğrulama veri seti	Ortalama	6,79	52,4	618	37,1	41,7	78,9	46,0	319
	En düşük	0,00	0,00	352	0,10	8,70	8,60	4,30	53,9
	En yüksek	33,8	223	1273	232	97,3	328	142	1247
	Standart sapma	5,93	33,1	224	44,5	23,6	64,3	31,6	237

* Metan dışı uçucu organik bileşikler

Tablo 2. Meteorolojik değişkenler ve araç taşıt sayıları için tanımlayıcı istatistikler

	Rüzgar Hızı (m s^{-1})	Rüzgar Yönü (°)	Sıcaklık (C°)	Nem (%)	Basınç (mbar)	Motosiklet	Otomobil	Minibüs/ Kamyona	Otobüs/ Kamyon
Öğrenme veri seti	Ortalama	2,33	162	19,5	66,6	1016	13	1563	134
	En düşük	0,20	6,00	12,1	34,2	1011	0	62	1
	En yüksek	7,10	359	25,6	83,8	1026	40	3291	373
	Standart sapma	1,35	107	3,70	12,4	4,67	11	1031	96
Test veri seti	Ortalama	2,32	169	19,5	66,8	1015	14	1639	126
	En düşük	0,20	9,10	12,2	39,9	1010	0	62	4
	En yüksek	6,40	340	25,5	83,7	1025	38	3275	264
	Standart sapma	1,32	106	3,84	12,3	4,77	10	1035	86
Doğrulama veri seti	Ortalama	2,27	159	19,4	66,5	1016	13	1465	117
	En düşük	0,30	7,60	12,3	37,7	1011	0	86,0	14
	En yüksek	6,20	332	25,1	82,5	1025	39	2967	291
	Standart sapma	1,25	108	3,80	12,7	4,77	10	1027	85

verilmiştir. Çalışmada ölçülen atmosferik kirleticiler içerisinde en düşük ve en yüksek derişime sahip olan kirleticilerin SO_2 ve CO olduğu bulunmuştur. SO_2 'nin yakıt safsızlığına bağlı bir kirletici olması nedeniyle ölçülen seviyelerinin düşük olmasının nedeni, TÜPRAŞ'ın motorin içindeki kükürt seviyelerini ppm düzeylerine indirmiştir ve İzmir'de hem sanayide hem de evsel isınmada önemli oranda doğal gaza geçirilmesi olarak açıklanabilir. SO_2 için belirlenen ortalama değer Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yürütmeliğinde (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008) belirtilen yıllık ve kış dönemi ortalama değerinin ($20 \mu\text{g m}^{-3}$) altında olduğu bulunmuştur.

Hava kalitesi yönetmeliğinde NO için bir sınırlama olmayıp NO₂ için insan sağlığının korunması amacıyla saatlik ($200 \mu\text{g m}^{-3}$) ve yıllık ortalamada ($40 \mu\text{g m}^{-3}$), NO_x için de sadece vejetasyonun korunması amaçlı olarak yıllık ortalama sınır değer ($30 \mu\text{g m}^{-3}$) verilmiştir. Buna göre ortalama NO_x derişimi yönetmelikte belirtilen yıllık ortalama limit değerlerden daha yüksek, NO₂ için hesaplanan ortalama derişimin ise yıllık ortalama limit değere eşit olduğu görülmüştür. Karbon monoksit seviyeleri için belirlenen yıllık ortalama değer $638 \mu\text{g m}^{-3}$ olup mevcut sınır değerlerin oldukça altındadır.

3.2. YSA modellemesi

Yapay sinir ağları modellerinin optimizasyonu amacıyla genetik eğitme veri setleri için veri sayısı 1 000, populasyon boyutu 10, maksimum döngü sayısı 10, maksimum döngü zamanı 60 dakika, belirtme katsayıısı 0–1, momentum opti-

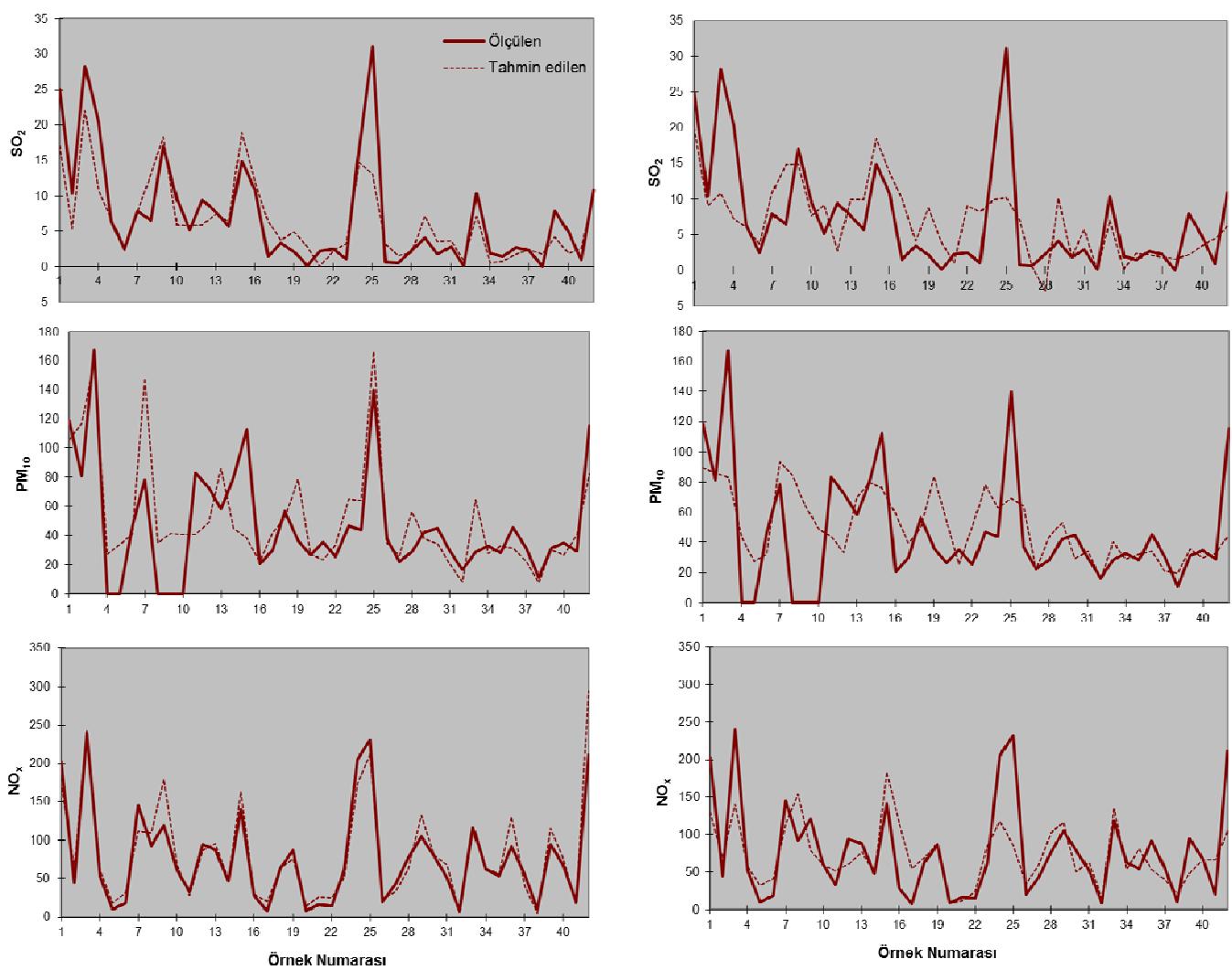
mizasyonu 0–1, işlem elemanı optimizasyonu 0–20 olarak seçilmiştir.

YSA modellerinin optimizasyonu amacıyla girdi değişkeni olarak iki ayrı veri seti kullanılmıştır. Birinci veri seti tüm girdi değişkenlerini, ikinci veri seti ise sadece meteorolojik parametreleri ve taşıt sayılarını içermektedir. HTF ve SF fonksiyonları aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılarak ve bir ve iki gizli katman denenerek herbir kirletici parametre için dört farklı YSA modeli oluşturulmuştur. Bu modellere ait korelasyon katsayıları ve NMSE değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Birer örnek olarak, tüm değişkenleri ve sadece meteorolojik ve taşıt sayısı verilerini girdi değişkeni olarak kullanan SO₂, PM₁₀ ve NO_x modellerine ait test veri seti için tahmin edilen ve ölçülen derişimleri gösteren grafikler Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 3. YSA modelleri için optimizasyon sonuçları

Çıktı değişkeni	Model	1-HL		2-HL	
		r	NMSE	r	NMSE
SO ₂	1	0,85	0,30	0,74	0,47
	2	0,73	0,47	0,89	0,26
	3	0,59	0,65	0,50	0,78
	4	0,47	0,80	0,65	0,60
	1	0,76	0,47	0,74	0,56
	2	0,98	0,62	0,72	0,59
	3	0,49	0,78	0,44	0,88
	4	0,41	0,86	0,40	0,88
PM ₁₀	1	-0,09	1,10	-0,22	1,11
	2	-0,03	1,07	-0,23	1,01
	3	0,49	0,78	0,44	0,88
	4	0,41	0,86	0,40	0,88
CO	1	0,92	0,16	0,95	0,11
	2	0,94	0,12	0,95	0,11
	3	0,17	1,01	0,31	0,94
	4	-0,15	1,15	-0,14	1,05
O ₃	1	0,92	0,16	0,95	0,11
	2	0,94	0,12	0,95	0,11
	3	0,85	0,31	0,80	0,40
	4	0,89	0,22	0,61	0,68
CH ₄	1	0,79	0,57	0,72	0,86
	2	0,76	0,47	0,65	0,73
	3	0,69	0,63	0,63	0,73
	4	0,65	0,74	0,64	0,84
NMHTC	1	0,67	0,67	0,63	0,96
	2	0,51	0,87	0,60	0,78
	3	0,48	0,95	0,37	1,08
	4	0,61	0,77	0,53	0,82
NO _x	1	0,95	0,12	0,90	0,22
	2	0,85	0,41	0,83	0,47
	3	0,69	0,62	0,66	0,59
	4	0,67	0,56	0,63	0,62

r: Korelasyon katsayıısı; NMSE: Normalize edilmiş ortalama hata, Model 1: Tüm girdi değişkenleri ve HTF; Model 2: Tüm girdi değişkenleri ve SF; Model 3: Meteorolojik değişkenler-taşit sayıları ve HTF; Model 4: Meteorolojik değişkenler-taşit sayıları ve SF



Şekil 2: Test veri seti için tek saklı katmanlı model ile tahmin edilen ve ölçülen konsantrasyonlar ($\mu\text{g m}^{-3}$)
(sol kolon: tüm değişkenler girdi, sağ kolon: sadece meteorolojik ve taşıt sayısı değişkenleri girdi).

SO₂ için oluşturulan YSA modelleri içerisinde, tüm girdi değişkenlerinin kullanıldığı, SF ve iki gizli katman içeren modele ait korelasyon katsayısı 0,89 ve NMSE değeri de 0,26 olarak hesaplanmıştır. Sofuoğlu vd. (2006) tarafından İzmir'de SO₂ derişiminin PM₁₀, sıcaklık ve rüzgar hızına bağlı olarak tahmin edildiği model için elde edilen r^2 değerleri (0,76–0,94) ile karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen r^2 değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Şahin vd. (2005) çalışmasında SO₂ derişimin tahmini için oluşturulan YSA modelinde test veri seti için hesaplanan korelasyon katsayısı ($r = 0,53$) bu çalışmada bulunan tüm değişkenlerin girdi olarak kullanıldığı SO₂ modellerine ait korelasyon katsayılarına (0,73–0,89) kıyasla düşük, sadece meteorolojik ve taşıt sayısı değişkenlerinin girdi olarak kullanıldığı modeller ile ise benzer (0,47 ve 0,65) olduğu görülmüştür. Akkoyunlu (2010) tarafından yapılan çalışmada SO₂ derişimi için oluşturulan YSA modelleriyle karşılaştırıldığında bu çalışmada SO₂ modellerinin tüm değişkenler girdi olarak kullanıldığından daha yüksek tahmin kapasitesine sahip olduğu, sadece meteoroloji ve taşıt verileri girdi olarak kullanıldığından ise daha düşük tahmin kapasitesi olduğu görülmüştür. Bu karşılaştırmadan, Akkoyunlu (2010) tarafından

girdi olarak kullanılan bir önceki zaman dilimindeki SO₂ derişimin tahminden meteorolojik ve taşıt verilerine göre daha etkili olduğu ancak bu etkinin diğer kirleticilerin etkisi kadar yüksek olmadığı sonucunu çıkarabiliriz.

PM₁₀ için yapılan optimizasyon işlemi sonucunda tek katmanlı HTF fonksiyonu kullanılan model en iyi korelasyon katsayısı (0,76) ve en düşük NMSE değerini (0,47) vermiştir. CO derişiminin tahmini amacıyla oluşturulan en başarılı model sadece meteorolojik veriler ve taşıt sayılarını içeren iki katmanlı, HTF kullanılan modeldir ($r = 0,31$ ve NMSE = 0,94). Diğer kirleticilerle karşılaştırıldığında neden CO için çok daha düşük tahmin başarısı olduğu konusunun daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Nagendra ve Khare (2004), meteorolojik değişkenlerin girdi parametresi olarak kullanıldığı tek katmanlı YSA modelleri ile bu çalışmada bulunandan biraz daha yüksek r^2 değerleri (0,35–0,36) elde etmiştir. Ancak, girdi değişkeni olarak daha çok sayıda meteorolojik değişken kullanılmışlardır. NO_x derişiminin tahmin edilmesi için oluşturulan modelde tek gizli katman ve HTF fonksiyonu kullanılarak yüksek korelasyon ($r = 0,94$) ve düşük hata (NMSE = 0,12) elde edilmiştir. Tüm kirleticiler

icin oluşturulan modeller içerisinde en yüksek r değerine sahip olması nedeniyle NO_x modeli bu ölçüte göre en iyi performansı sahip model olarak ortaya çıkmıştır.

O₃ derişiminin tahmini için oluşturulan modeller içerisinde iki gizli katman ve HTF fonksiyonu kullanılan model ($r = 0,96$; NMSE=0,08); CH₄ için oluşturulan YSA modelleri içerisinde tek katmanlı ve HTF fonksiyonu içeren model için korelasyon katsayısı ve NMSE değeri sırasıyla 0,79 ve 0,57 olarak hesaplanmıştır. NMVOC optimizasyonu sonucunda, tek gizli katman ve HTF aktivasyon fonksiyonu kullanılan YSA modeli ($r = 0,67$; NMSE = 0,67) en iyi sonuçları vermiştir. Abdul-Wahab ve Al-Alawi (2002) troposferik ozon derişimi tahmini için oluşturdukları YSA modelinde girdi değişkenler olarak birincil kırleticiler ve meteorolojik koşullar kullanmışlardır ve test veri seti için $r^2 > 0,9$ düzeyinde başarı elde etmişlerdir.

4. Sonuçlar

Elde edilen sonuçlara göre SO₂ ve CO dışındaki tüm modellerde tek katmanlı modellere ait korelasyon katsayılarının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Buna göre ikinci saklı katmanın beklenenin tersine tahmin gücünü artırmadığı görülmüştür. PM₁₀ ve O₃ modeli dışında tüm girdi değişkenleri ve HTF kullanılan modellerin daha yüksek r değerine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen YSA modelleri içerisinde, iki katmanlı, tüm girdi değişkenleri ile SF kullanılan PM₁₀ modelinin en yüksek korelasyon katsayısı (0,98) ve en düşük NMSE değerine sahip olduğu görülmüştür. CO haricinde düşük hata oranlarıyla elde edilen yüksek sayılabilecek tahmin başarıları sebebiyle proje çerçevesinde veri toplanmış diğer caddeler de modellenerek, İzmir'in hava kalitesi yönetiminde bir rol almak üzere geliştirilecek YSA modellerinin kullanılabileceğini göstermektedir. Bu modelleme teknığının en avantajlı özelliklerinden birisi, yeni verilerle sürekli otomatik güncelleme yapılmasıın mümkün olmasına.

Teşekkür

Veri analizine katkılarından dolayı Ziya Çağın Sönmez'e teşekkür ederiz. Bu çalışma 106Y009 nolu TÜBİTAK araştırma projesi kapsamında üretilen veriler kullanılarak yapılmıştır.

Kaynaklar

- Abdul-Wahab, S.A., Al-Alawi, S.M., 2002. Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neural networks. *Environmental Modeling and Software* 17, 219–228.
- Akkoyunlu A., 2010. A neural network-based approach for the prediction of urban SO₂ concentrations in the Istanbul metropolitan area. *International Journal of Environment and Pollution* 40, 301–317.
- ATSDR, 1995. Toxicological Profie for polycyclic aromatic hydrocarbons, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- ATSDR, 1998. Toxicological Profie for Sulfur Dioxide. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Assael, M.J., Delaki, M., Kakosimos, K.E., 2008. Applying the OSPM model to the calculation of PM₁₀ concentration levels in the historical centre of the city of Thessaloniki. *Atmospheric Environment* 42, 65–77.
- Berkowicz, R., Ketz, M., Jensen, S.S., Hvidberg M., Raaschou-Nielsen, O., 2008. Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations. *Environmental Modeling and Software* 23, 296–303.
- Bihan, O.L., Wahlin, P., Ketz, M., Palmgren, F., Berkowicz, R., 2002. Application of dispersion modelling for analysis of particle pollution sources in a street canyon. *Water Air Soil Pollution* 2, 395–404.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008. <http://www.cevre.org.tr/Tcm/Yonetmelikler/hava%20kalitesi%20degerlendirme.htm>, erişim: 30 Haziran 2012.
- Drozdowicz B., Benz S.J., Santa Cruz, A.S.M., Scenna, N.J.A., 1997. Neural network based model for the analysis of carbon monoxide contamination in the urban area of Rosario. *Fifth International Conference on Air Pollution Modelling, Monitoring and Management, Air Pollution V*. Boston: Computational Mechanics Publications, 677–684.
- Elbir, T., Bayram, A., Seyfioglu, R., Altıok, H., Dumanoglu, Y., 2008. Büyük Kent Merkezlerinde Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi, TÜBİTAK 106Y009 nolu proje raporu, İzmir, 163pp.
- Elbir, T., Kara, M., Bayram, A., Altıok, H., Dumanoglu, Y., 2011. Comparison of predicted and observed PM₁₀ concentrations in several urban street canyon. *Air Quality Atmosphere and Health* 4, 121–131.
- Gardner, M.W., Dorling, S.R., 1998. Artificial neural networks: the multilayer perceptron: exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling. *Atmospheric Environment* 41, 9370–9385.
- Gokhale, S.B., Rebours, A., Pavageau, M., 2005. The performance evaluation of WinOSPM model for urban street canyons of Nantes in France. *Environmental Monitoring and Assessment* 100, 153–176.
- İnal, F., 2010. Artificial Neural Network Prediction of Tropospheric Ozone Concentrations in İstanbul, Turkey. *Clean—Soil Air Water* 38, 897–908.
- Karunanithi, N., Whitely, D., Malaiya, Y.K., 1992. Using neural networks in reliability prediction. *IEEE Software*, 53–59.
- Ketz, M., Omstedt, G., Johansson, C., Düring, I., Pohjola, M., Oettl, D., Gidhagen, L., Wahlin, P., Lohmeyer, E., Haakana, M., Berkowicz, R., 2007. Estimation and validation of PM_{2.5}/PM₁₀ exhaust and non-exhaust emission factors for street pollution modelling. *Atmospheric Environment* 41, 9370–9385.
- Kristiina, M., 1999. Personal exposure to nitrogen dioxide and health effects among preschool children, Publications of National Public Health Institute A 22/1999, Helsinki, 61pp.
- Kukkonen, J., Valkonen, E., Walden, J., Koskentalo, T., Karppinen, A., Berkowicz, R., Kartastenpa, R., 2000. Measurements and modelling of air pollution in a street canyon in Helsinki. *Environmental Monitoring and Assessment* 65, 371–379.

- Moseholm, L., Silva, J., Larson, T., 1996. Forecasting carbon monoxide concentrations near a sheltered intersection using video traffic surveillance and neural networks. *Transport Research* 1, 15–18.
- Müezzinoğlu, A., 2003. *Atmosfer Kimyası*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, pp. 147–155.
- Nagendra, S., Khare, M., 2004. Artificial neural network approach for modelling nitrogen dioxide dispersion from vehicular exhaust emissions. *Ecological Modelling* 190, 99–115.
- Özbay, B., 2012. Modeling the effects of meteorological factors on SO₂ and PM₁₀ concentrations with statistical approaches, *Clean—Soil, Air, Water* 40, 571–577.
- Pérez, A., Trier, A., 2001. Prediction of NO and NO₂ concentrations near a street with heavy traffic in Santiago, Chile. *Atmospheric Environment* 35, 1783–1789.
- Sharma, P., Khare, M., 2001. Modeling of vehicular exhaust—a review. *Transportation Research* 6, 179–198.
- Shi, J.P., Harrison, R.M., 1997. Regression modelling of hourly NO_x and NO₂ concentration in urban air in London. *Atmospheric Environment* 31, 4081–4094.
- Sofuoğlu, S.C., Sofuoğlu, A., Birgili, T., Tayfur, G., 2006. Forecasting Ambient Air SO₂ Concentrations Using Artificial Neural Networks. *Energy Sources, Part-B* 1, 127–136.
- Şahin, U., Ucan, O.N., Bayat, C., 2005. Modeling of SO₂ distribution in İstanbul using artificial neural networks. *Environmental Modeling and Assessment* 10, 135–142.
- WHO (World Health Organization), 2000. Air Quality Guidelines for Europe, Regional Publications, European Series, No. 91, 273 pp.



Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi

www.hkad.org



Research Article

Prediction of Air Quality from on-road Traffic by Artificial Neural Networks

Derya BAYTAK ^{1✉}, Sait C. SOFUOĞLU ³, Onur ALKAN ^{1,2}, Tolga ELBİR ⁴

¹ Izmir Institute of Technology, Department of Chemical Engineering, Gülbahçe, Urla 35430 Izmir, Turkey

² 73/1 Street, No.10, Apt. 15, Bayraklı 35530 Izmir, Turkey

³ Izmir Institute of Technology, Department of Chemical Engineering and Environmental Research Center, Gülbahçe, Urla 35430 Izmir, Turkey

⁴ Dokuz Eylül University, Department of Environmental Engineering, Kaynaklar, Buca 35160 Izmir, Turkey

Received: September 18, 2012; Accepted: January 20, 2012

ABSTRACT

Prediction of traffic related air pollutant concentrations is an important issue due to their potency. In this study we constructed Artificial Neural Network (ANN) models to predict CO, CH₄, NMHTC, NO_x, O₃, PM₁₀, and SO₂ concentrations on a street in Izmir. Meteorological variables and vehicle count data were used as input variables. Performance for all the pollutants were high except for CO. The highest performing model (had one hidden layer and used sigmoid function) was for ozone with a correlation coefficient (between modeled and measured concentrations) of 0.89 and a low error level (NMSE = 0.22). In conclusion, ANN models can be used in air quality management in City of Izmir if other streets are studied, for which data are available.

Keywords: Artificial neural network, air quality modeling, traffic, Izmir

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.