

İZMİR HAVASINDAKİ TOZ DERİŞİMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI MODELİ İLE TAHMİNİ

Sait C. SOFUOĞLU, Gökmen TAYFUR (*), Aysun SOFUOĞLU, Savaş BİRGİLİ

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gülbahçe Köyü, Urla 35430 İzmir

ÖZET

İzmir havasındaki toz derişimlerinin tahmin edilebilmesi amacıyla bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli geliştirilmiştir. Model, meteorolojik değişkenleri (sıcaklık ve rüzgar hızı) ve SO₂ derişimlerini girdi olarak kullanmaktadır. En iyi çalışan modeli ortaya çıkarmak için farklı girdi değişken setleri, ağ topolojileri, ve tasvir fonksiyonları incelenmiştir. Modellerin karşılaştırılmasında model yeterliliğinin bir ölçüsü olan korelasyon katsayısı (R²), tahmin doğruluklarının ölçütü olarak ise Ortalama Kare Hata (OKH) kullanılmıştır. Tek gizli katmanlı, sigmoid fonksiyonunu kullanan, ve sıcaklık ile rüzgar hızının girdi değişkenler olduğu model, R²=0.95 değeriyle en iyi sonucu vermiştir. SO₂ derişimlerinin girdi değişkenler arasına alınması, R-kare değerini artırmasa da, 4.30 olan OKH değerini sigmoid fonksiyonu ve bir gizli katman ile 3.90 değerine (R²=0.91), hiperbolik tanjant fonksiyonu ve iki gizli katman ile 3.64 değerine (R²=0.92) düşürerek model tahminlerinin doğruluğunda iyileşme sağlamıştır. Mevcut verilerin kısıtlılığı dikkate alındığında elde edilen sonuçlardan İzmir havasında toz derişimi tahmini için YSA'nın gelecek vadede bir modelleme yöntemi olduğu anlaşılmaktadır.

ABSTRACT

An Artificial Neural Networks (ANN) model is developed to forecast particulate matter (PM) concentrations in İzmir air. The back-propagation learning algorithm is used to train the networks. The model uses meteorological variables (wind speed and temperature) and measured SO₂ concentrations as input variables. Different topologies, inputs, and transfer functions were experimented with in order to reveal the best performing model. Correlation coefficient (R²) and daily average error are employed as the measures of performance. The best model (R²=0.95) has one hidden layer, uses sigmoid function for transfer, and temperature and wind speed are its input variables. Although inclusion of SO₂ concentration as an input variable does not provide an increase in the correlation coefficient, it reduced daily average error values from 4.30 down to 3.64 (hyperbolic tangent function and two hidden layers, R²=0.92). Considering the limited number of available input variables, model performances show that ANN is a promising method of modeling to forecast SO₂ concentrations in İzmir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava kirliliği, modelleme, Yapay Sinir Ağları, SO₂, toz

* gokmentayfur@iyte.edu.tr

GİRİŞ

Şimdiye kadar hava kirleticilerinin derişimleri hem teorik hem de empirik yaklaşımlar ile modellenmiştir. Belirleyici değişken sayısının çokluğu sebebiyle empirik modeller daha çok tercih edilmiş olup, doğrusal ve çoklu doğrusal regresyon yöntemi bu modeller arasında en çok kullanılanıdır. Ancak, regresyonun sınırlı hesaplama verimliliği ve genelleme kabiliyeti olduğu düşünölmektedir. Son zamanlarda ise karmaşık sistemleri modellemedeki yatkınlığı nedeniyle stokastik modeller kullanılmaya başlamıştır (Gardner ve Dorling, 1998). Yapay Sinir Ağları (YSA) hava kirliliği modellemesinde kullanılan stokastik yöntemlerden birisidir. YSA, havadaki NO_x (Gardner ve Dorling, 1999; Perez ve Trier, 2001), ozon (Jorquera vd., 1998; Spellman, 1999; Soja ve Soja, 1999; Gardner ve Dorling, 2000; Abdul-Wahab ve Al-Alawi, 2002; Wang vd., 2003), ve benzen (Viotti, Liuti, ve Di Genova, 2002) derişimlerinin modellenmesinde kullanılmıştır. Geniş veri tabanlarının mevcudiyeti sebebiyle, sülfür dioksit (SO₂) en çok çalışılan kirleticiler arasındadır (Boznar, Lesjak, ve Mlakar, 1993; Hecq vd., 1994; Mok ve Tam, 1998; Perez, 2001; Chelani vd., 2002; Lu, Fan, ve Lo, 2003). Toz derişimlerinin YSA ile modellenmesi SO₂'ye nazaran sayı itibarıyla daha azdır (Perez, Trier ve Reyes, 2000; Peres ve Reyes, 2002). Bu çalışmada, İzmir havasındaki toz konsantrasyonlarının YSA yöntemi ile modellenmesi ve tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

YSA İLE MODELLEME

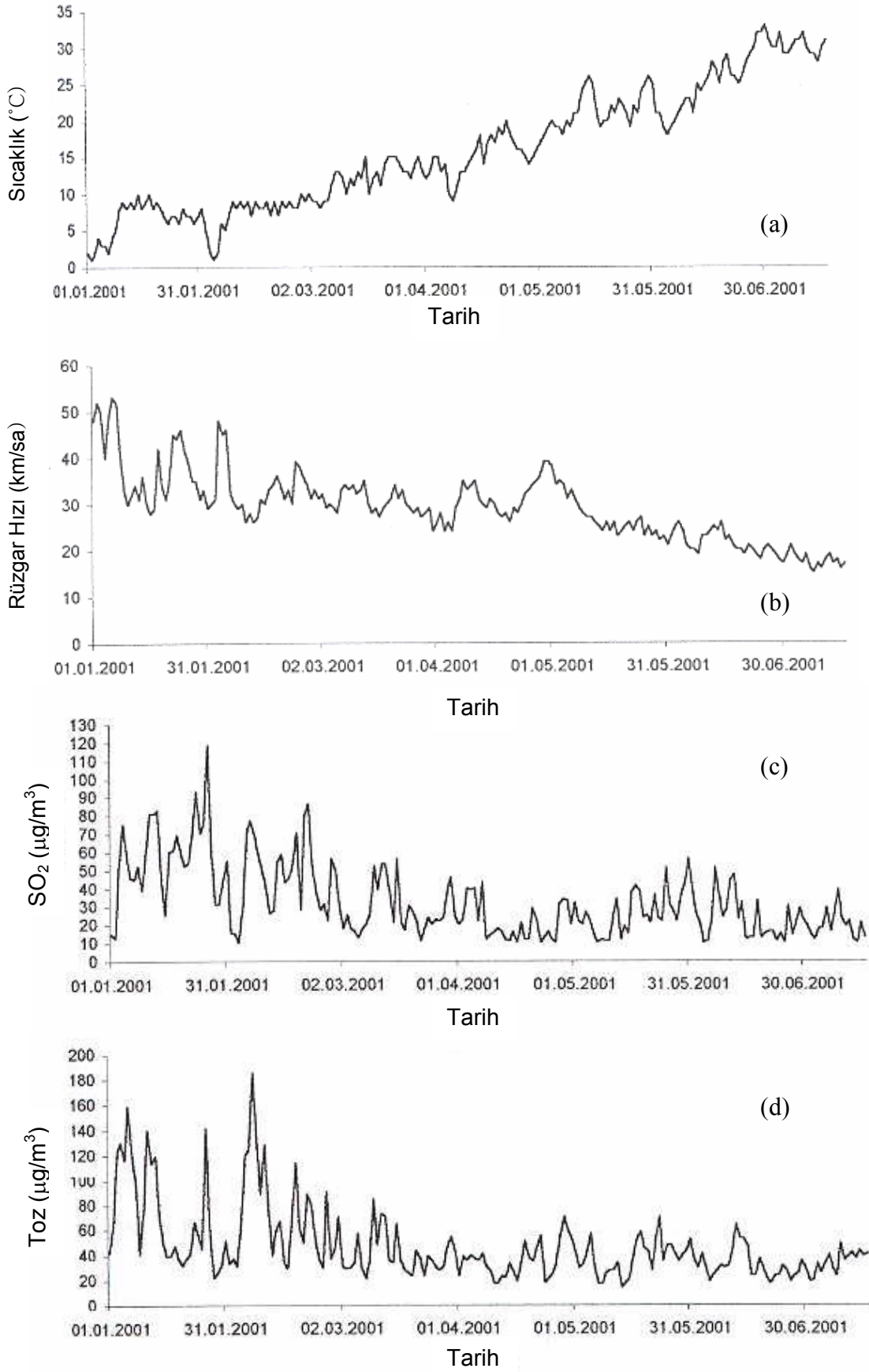
Geleneksel modelleme yöntemlerinden farklı olarak YSA, verilerin yönlendirdiği, bir kaç ön kabul gerektiren, kendi kendini uyarlayan bir yöntemdir. En kullanışlı olduğu durumlar ise karmaşık sistemlerin tasvirinde, halihazırda mevcut olmayan ve özel bilgi gerektiren ancak yeterli sayıda verinin bulunduğu durumlardır. Genellikle bu durumlarda, eğer yeterli derecede eğitilebilmiş ise, YSA bir anakitlenin normalde görölemeyen bir özelliğini yakalayabilir ve herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğruluk derecesinde bu özelliğe yakınlaştırabilir.

Bu çalışmada kullanılan veriler iki ana kısma ayrılmıştır. YSA'nın eğitimi için 197 adet veri, denenmesi için ise 76 adet verinin yeraldığı iki veri seti kullanılmıştır. Bu veriler günlük ortalama hava sıcaklığı, rüzgar hızı, SO₂ ve toz derişimleridir. Eğitim setinde bulunan veriler Şekil 1a, b, c, ve d'de gösterilmiştir. Girdi değişkenler ile çıktı değişken arasındaki herhangi bir andaki ilişkiyi, tasvir ya da aktivasyon fonksiyonu belirler. Bu çalışmada tasvir fanksiyonu olarak sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılmıştır. Sigmoid fonksiyonu bir değişkenin eksi sonsuz ila artı sonsuz arasında aldığı değerleri 0 ila +1 aralığına yerleştirir. Sigmoid fonksiyonunun (Eşitlik 1) geriyayılma algoritmalarında kullanılmasının sebeplerinden birisi bu fonksiyonun diferansiyelinin alınabilmesidir.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

Hiperbolik tanjant fonksiyonu (Eşitlik 2) da sıkça kullanılan bir fonksiyondur. Türevi sürekli olan bu fonksiyon, değişken değerlerini -1 +1 aralığına yerleştirir.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (2)$$



Şekil 1. Eğitim Seti Verileri: (a) Hava Sıcaklığı, (b) Rüzgar Hızı, (c) SO₂, (d) Toz Derişimi

Ağ geometrisi, genelde ağ içinde yeralan gizli katman sayısı ve her katmandaki hücre sayısı ile tanımlanır. Topoloji kullanılan parametre sayısı ile ilintilidir. Eğer parametre sayısı yeterli değilse, ağlar eğitim verilerine yeterli derecede uyum sağlayamayabileceğinden eğitim sırasında birleşimin gerçekleşmesi zor olabilir. Tersi durum olan eğitim verilerine göre gereğinden fazla parametre kullanımında ise ağ genelleme yeteneğini kaybedebilir. Bir gizli katmanı olan YSA –bağımsızlık derecesi yeterli ise– çoğunlukla her türlü sürekli fonksiyona yaklaşımı sağlayabilir. Bu çalışmada iki farklı topoloji: bir gizli katman ve iki gizli katman denenmiştir.

Bu çalışmada model performansı iki ayrı ölçüt ile değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki olan korelasyon katsayısı, geleneksel çalışmalar ile karşılaştırma imkanından dolayı genellikle tercih edilir ve ölçülen ile tahmin edilen derişimler arasındaki korelasyonu gösterir. Diğer performans ölçütü ise tahminlerin doğruluğudur. En çok kullanılan ölçütlerden birisi olan Ortalama Kare Hata (OKH), bu çalışmada, tahmin doğruluğunun ölçütü olarak kullanılmıştır. En iyi performansı gösteren modelin tespit edilmesi için girdi değişkenler, topolojiler, ve tasvir fonksiyonlarının çeşitli kombinasyonları denenmiş, performansları ise yukarıda bahsedilen iki ölçüt ile değerlendirilmiştir.

Bahsedilen modelleme çalışmasına ek olarak, bir kısa dönem öngörü çalışması gerçekleştirilmiştir. Son yedi günün verileri kullanılarak, sekizinci günün toz derişimi öngörülmüştür. Yedi ve sekizinci günlerin seçimi ise bir deneme yanılma süreci sonunda elde edilmiştir. Bu süreçte iki ila on gün arasında değişen dönemler için YSA modelleri kurularak öngörüler yapılmış ve bu dönemler içinde en başarılı öngörüler yedi-sekiz gün dönemi için elde edilmiştir. Burada, başarı ölçütü olarak, hata değeri kullanılmıştır. Hatayı minimize eden dönemin bulunmasında ana modelin kurulması için on bin deneme hatayı minimize etmek için ise bin iterasyon içeren bir proses çalıştırıldı.

Öğrenme hızı, bu çalışmada yeralan tüm denemelerde 0,02 değerine sabitlenmiştir. Ağların eğitimi için geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Bu algorithmada, eğitim yöntemi olarak 'Batch Gradient Descent Rule' kullanılmış, ve ağırlıklar ve yanılıklar aktivasyon fonksiyonunun negatif gradyanı yönünde yenilenmiştir. Bu işler, deneme sayısı 10.000'de tutulan MATLAB 6.0 Sınır Ağları Toolbox'ı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YSA'nın kullanımına dair daha detaylı bilgiler literatürden elde edilebilir (Birgili, 2002).

TOZ VE SO₂ DERİŞİMLERİ

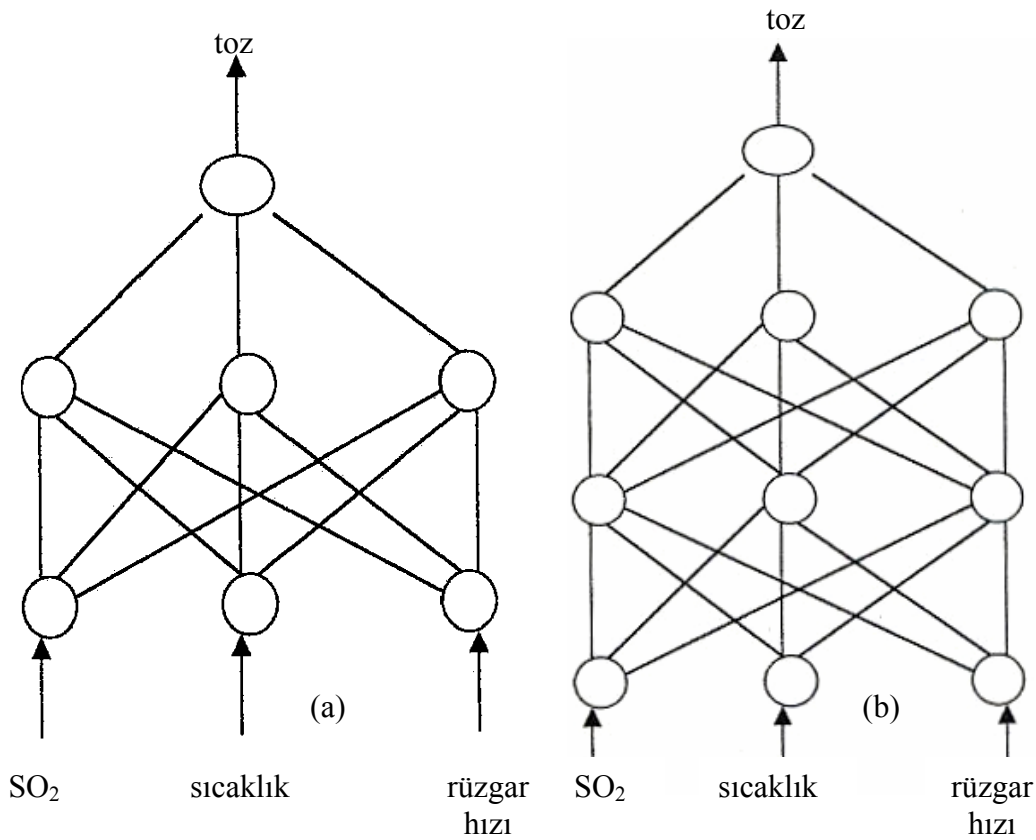
Toz ve SO₂ derişimleri İzmir'de dört noktada Büyükşehir Belediyesi'nce izlenmektedir. İzmir'in havası, hem evsel hem de endüstriyel fosil yakıt kullanımının etkisi altındadır. Örnekleme ağının da bulunduğu şehir merkezi, çoğunluğu metropol alanının dışında bulunan sanayi tesislerinin etkisi altındadır (Elbir, 2003). Şehir merkezini etkisi altında tutan emisyonların yüzde 91'i sanayilerden gelmektedir, ki bunların da yüzde 93'ü şehir merkezi dışında kurulmuş olanlardır (Elbir, 2003).

Toz derişimleri, 24 saatlik entegre filtre örneklerinin refraktometrik yöntem ile incelenmesi sonucu belirlenmiştir. SO₂ derişimleri ise asidimetrik titrasyon yöntemiyle ölçülmektedir. Bu çalışmada, hem tahmin hem de öngörü modellerinin kurulmasında, 1 Ocak 2001'den 30 Eylül 2001'e kadar, dört istasyonda ölçülen günlük ortalama kirletici derişimlerinin ortalaması kullanılmıştır. Tüm İzmir için bir ortalama değeri kullanılmasının sebebi örnekleme istasyonlarında meteorolojik değişkenlerin ölçülmemesidir. Meteorolojik veriler

Cumaovası'ndaki Adnan Menderes Hava Limanı Meteoroloji İstasyonundan elde edilmiştir. Dört istasyonun ortalaması kullanılarak, meteorolojik veriler ile eşleşme sorununun etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Eğitim setinde yer alan 197 günlük döneme ait Toz ve SO₂ derişimleri –sırasıyla– Şekil 1d ve 1c'de sunulmuştur. Derişimler, tüm hava şartlarını içeren kış, bahar, ve yaz günlerinde ölçülmüş ve geniş bir aralığa yayılmıştır (Toz: 20-200 µg m⁻³, SO₂: 10-120 µg m⁻³). Aynı durum, meteorolojik veriler içinde geçerlidir. Eğitim setinde yer alan hava sıcaklıkları 1 ila 30 °C, rüzgar hızları ise 15 ila 55 km sa⁻¹ arasında değişmektedir.

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Toz derişimlerinin tahmini için iki farklı ağ topolojisi denenmiştir. İlkinde bir gizli katman ve üç hücre (Şekil 2a), ikincisinde ise iki gizli katman ve her katmanda üç hücre (Şekil 2b) bulunmaktadır. Şekillerde gösterilen ağlar her üç girdi değişkeni de içermektedir.



Şekil 2. (a) Bir gizli katman için, (b) iki gizli katman için ağ topolojileri

Performansı en yüksek modelin bulunması için yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 1'de sunulmaktadır. İki veya daha fazla değişken girdi olarak kullanıldığında, bütün R² değerleri 0,85'ten büyüktür. Kurulan modellerin yarısından fazlasında (11/20), R² değeri 0,90'a eşit veya daha büyüktür. R² değeri açısından en başarılı model 0,95 ile sıcaklık ve rüzgar hızını girdi değişken olarak kullanan, tek gizli katmanı olan, ve sigmoid fonksiyonunu tasvir fonksiyonu olarak kullanan modeldir. Hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılan modellerde, ağ topolojisinin yükseltilmesi R² değerinde bir artış ve OKH değerinde bir azalma sağlamaktadır. Ancak bunun aynısını sigmoid fonksiyonunu kullanan modeller için söylemek –genelde doğru

Tablo 1. Toz Derişimlerinin Tahmininde YSA Model Performansları

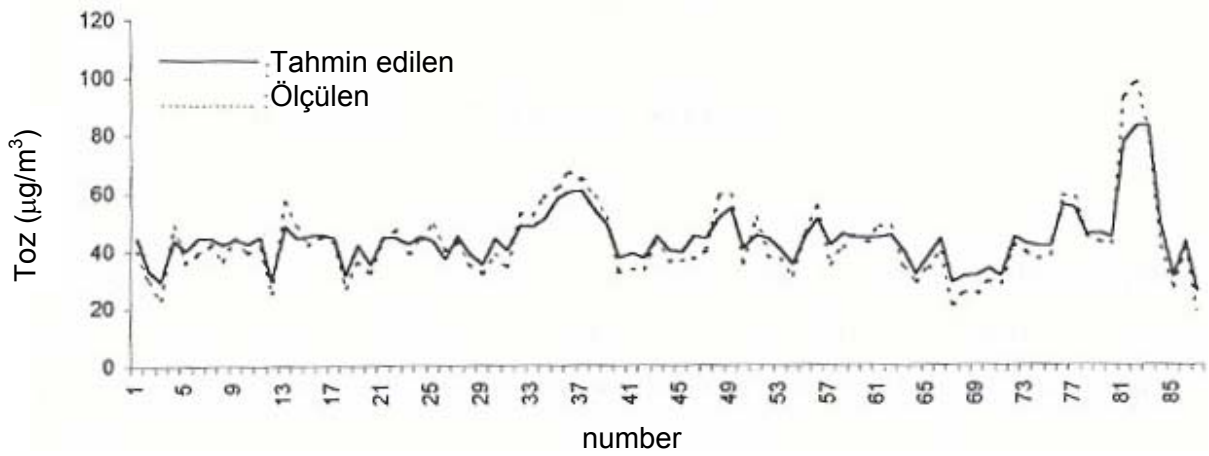
Girdi Değişken(ler)	Gizli katman ve her katmandaki hücre sayısı	Tasvir Fonksiyonu	R ²	OKH (µg/m ³)
SO ₂ Sıcaklık Rüzgar Hızı	2 (3-3-3-1)	HTF	0,92	3,64
		SF	0,91	4,08
	1 (3-3-1)	HTF	0,90	4,09
		SF	0,91	3,90
Sıcaklık Rüzgar Hızı	2 (2-3-3-1)	HTF	0,91	4,02
		SF	0,90	4,15
	1 (2-3-1)	HTF	0,90	4,07
		SF	0,95	4,30
SO ₂ Rüzgar Hızı	2 (2-3-3-1)	HTF	0,91	3,67
		SF	0,89	3,95
	1 (2-3-1)	HTF	0,86	4,62
		SF	0,80	4,54
SO ₂ Sıcaklık	2 (2-3-3-1)	HTF	0,92	3,70
		SF	0,92	3,51
	1 (2-3-1)	HTF	0,87	4,42
		SF	0,86	4,86
SO ₂	2 (1-3-3-1)	HTF	0,81	4,91
		SF	0,81	4,93
	1 (1-3-1)	HTF	0,80	5,16
		SF	0,84	5,57

HTF: Hiperbolik tanjant fonksiyonu, SF: Sigmoid fonksiyonu

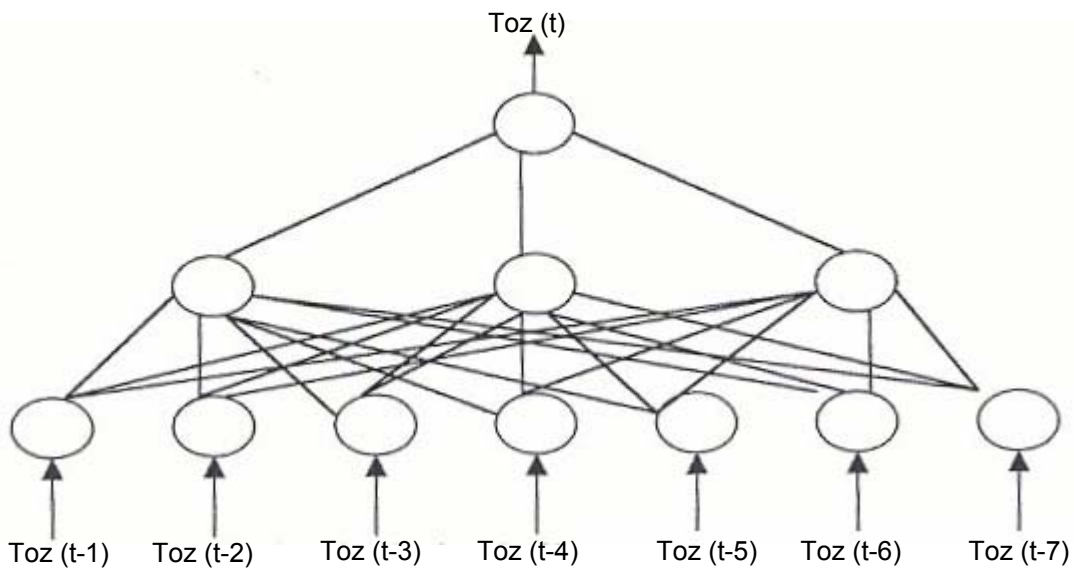
olsa da– mümkün değildir. Sigmoid fonksiyonu kullanılarak kurulan beş modelden üçünde topolojinin artırılması sebebiyle sistem kararsızlığı ortaya çıkmıştır. Bu durum, iki modelde R² değerinin azalması, bir modelde de OKH değerinin artması şeklinde ortaya çıkmıştır. Kullanılan girdi değişken sayısındaki artış, tahmin performansını da artırmaktadır; bu, sistemlerin daha kolay genelleme yapabilmesinin, böylece potansiyel hataların sistem içinde dağıtılmasının ve en az etkiyi yapacak şekilde minimize edilmesinin sonucudur. En yüksek korelasyon katsayısı (R²=0,95), sıcaklık ve rüzgar hızını girdi değişken olarak, sigmoid fonksiyonu tasvir fonksiyonu olarak kullanan tek gizli katmana sahip ağ modeli ile elde edilmiş olsa da bu modelin OKH=4,30 değeri, R² değeri 0,92 olup girdi değişken olarak sıcaklık ve SO₂ derişimini, tasvir fonksiyonu olarak sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarını kullanan iki gizli katmanlı iki model ile, her üç değişkeni girdi olarak, tasvir fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanan bir modelin OKH değerlerinden – sırasıyla 3,51 3,70 ve 3,64– oldukça yüksektir. Bu sebeple, adı geçen son üç model, en yüksek performansı gösteren modeller olarak takdim edilebilir. Şekil 3’de bunlardan sonuncusu gösterilmiştir.

Son yedi günün verilerini kullanarak sekizinci günün toz konsantrasyonunu öngören modelin ağ topolojisi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu yedi-sekiz gün kurulumu, deneme - yanılma yöntemi ile çeşitli varyasyonların sınanması sonucu elde edilmiş bir çözümdür. Öngörü modeli, tasvir fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunu kullanmaktadır. Performans ölçütlerinin değerleri: $R^2=0,93$ ve $OKH=4,32$ 'dir (Şekil 5).

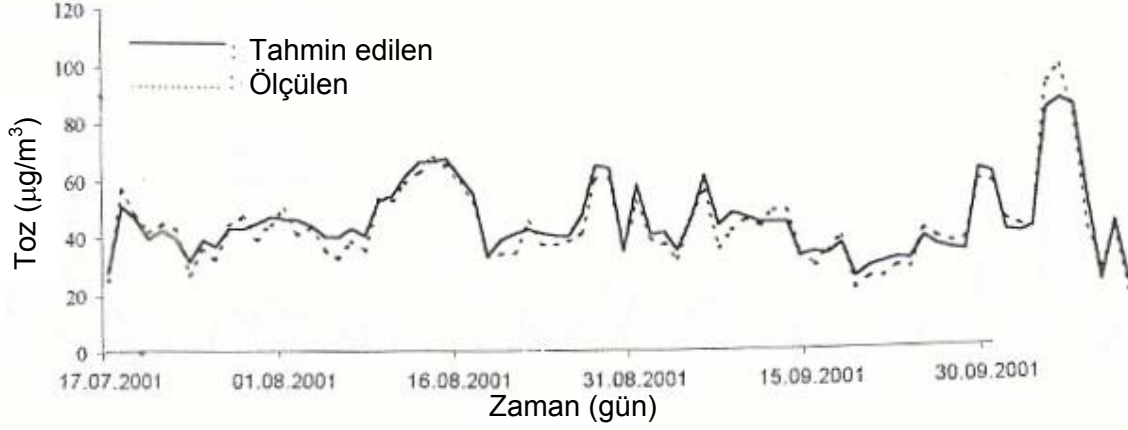
Bu çalışma ile, Yapay Sinir Ağları'nın, İzmir havasındaki toz derişimlerinin tahmini ve öngörüsü için çok başarılı bir modelleme yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gerek tahmin, gerekse öngörü amacıyla kurulan YSA modellerinin R^2 değerleri $>0,92$ 'dir.



Şekil 3. Üç girdi değişken ve iki gizli katman ile yapılan toz derişimi tahminleri



Şekil 4. Son yedi günün verileri ile toz derişimi öngörüsü için YSA mimarisi



Şekil 5. Son yedi günün verileri ile yapılan toz derişimi öngöröleri

KAYNAKLAR

Abdul-Wahab, S.A. ve Al-Alawi, S.M. Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neural networks, *Environ Model Software*, 17, 219-228, 2002.

Birgili, S. Artificial Neural Networks model for air quality in the region of Izmir, MSc Thesis, Izmir Institute of Technology, Izmir, 2002.

Boznar, M. Lesjak, M. ve Mlakar, P. A neural network based method for short term predictions of ambient SO₂ concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain, *Atmos Environ*, 27B, 221-230, 1993.

Chelani, A.B. et al., Prediction of sulphur dioxide concentration using artificial neural networks, *Environ Model Software*, 17, 161-168, 2002.

Elbir, T. Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in Izmir, Turkey, *Atmos Environ* 37, 2149-2157, 2003.

Gardner, M.W. ve Dorling, S.R. Artificial neural networks (the multi-layer perceptron) – a review of applications in atmospheric sciences, *Atmos Environ*, 32, 2627-2636, 1998.

Gardner, M.W. ve Dorling, S.R. Neural network modeling and prediction of hourly NO_x and NO₂ concentrations in urban air in London, *Atmos Environ*, 33, 709-719, 1999.

Gardner, M.W. ve Dorling, S.R. Statistical surface ozone models: an improved methodology to account for non-linear behaviour, *Atmos Environ*, 34, 21-34, 2000.

Hecq, W. Borisov, Y. Debever, C. Dupierreux, J-M. An empirical hybrid model for the assessment of daily SO₂ concentrations in an urban environment, *J Environ Manage*, 42, 181-198, 1994.

Jorquera, H. et al., Forecasting ozone daily maximum levels at Santiago, Chile, *Atmos Environ*, 32, 3415-3424, 1998.

Lu, W.Z., Fan, H.Y., ve Lo, S.M. Application of revolutionary neural network method in predicting pollutant levels in downtown area of Hong Kong, *Neurocomputing*, 51, 387-400, 2003.

Mok, K.M. ve Tam, S.C. Short-term prediction of SO₂ concentration in Macau with artificial neural networks, *Energy and Buildings*, 28, 279-286, 1998.

Perez, P. Prediction of sulfur dioxide concentrations at a site near downtown Santiago, Chile, *Atmos Environ*, 35, 4929-4935, 2001.

Perez, P. Trier, A. ve Reyes, J. Prediction of PM_{2.5} concentrations several hours in advance using neural networks in Santiago, Chile, *Atmos Environ*, 34, 1189-1196, 2000.

Perez, P. ve Reyes, J. Prediction of maximum of 24-h average of PM₁₀ concentrations 30h in advance in Santiago, Chile, *Atmos Environ*, 34, 4555-4561, 2002.

Perez, P. ve Trier, A. Prediction of NO and NO₂ concentrations near a street with heavy traffic in Santiago, Chile, *Atmos Environ*, 35, 1783-1789, 2001.

Soja, G. ve Soja, A-M. Ozone indices based on simple meteorological parameters: potentials and limitations of regression and neural network models, *Atmos Environ*, 33, 4299-4307, 1999.

Spellman, G. An application of artificial neural networks to the prediction of surface ozone concentrations in the United Kingdom, *Applied Geography*, 19, 123-136, 1999.

Viotti, P. Liuti, G. ve Di Genova, P. Atmospheric urban pollution: applications of an artificial neural network , ANN to the city of Perugia, *Eco Model*, 148, 27-46, 2002.

Wang, W. et al., Prediction of maximum daily ozone level using combined neural network and statistical characteristics, *Environ Int*, 1049, 1-8, 2003.