SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA KİRLİLİĞİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ VE TAHMİNİ

Fatma KUNT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ABD
Konya, 2007

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA KİRLİLİĞİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ VE TAHMİNİ

Fatma KUNT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 31.07.2007 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M.Emin AYDIN	**Prof. Dr. Kemal GÜR**	**Yrd. Doç. Dr. Şükrü DURSUN**
(Üye)	**(Üye)**	**(Danışman)**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVA KİRLİLİĞİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ VE TAHMİNİ

Fatma KUNT

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şükrü DURSUN

2007, 88 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. M.Emin AYDIN

Prof. Dr. Kemal GÜR

Yrd. Doç. Dr. Şükrü DURSUN

Ülkemizde hava kirliliği, özellikle büyük şehirler için kış aylarında önemli bir problem olarak kendisini göstermektedir. Kirleticilerin atmosfere bırakılma miktarı yanında olumsuz oluşan atmosferik şartlar (stabil veya kararlı durumlar) büyük şehirlerde hava kirliliği olayları oluşmasına sebep olmaktadır. Bu noktadan yaklaşıldığında hava kirliliğinin modellenmesi ve önceden tahmini yerel yönetimler için önemli bir husustur. Özellikle kirliliğin yoğun olarak yaşandığı kış aylarında, meteorolojik koşullara bağlı olarak hava kirliliğinin önceden belirlenerek zamanında tedbir alınması hava kirliliğinin etkisini azaltılmasına önemli derecede katkıda bulunacaktır. Bu nedenle hava kirliliği modellemesi ve önceden tahmini çalışmaları çok önemlidir.

Bu çalışmada, Konya ili ele alınarak, meteoroloji ve çevre uygulamalarında oldukça yeni ve başarılı sonuçlar veren Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile hava kirliliğinin tahmininde, bazı meteorolojik parametreler kullanılarak hava kirliliği modellenme programının hazırlanması amaçlanmıştır. Eğitim ve test periyodları süresince korelasyon katsayısı sırasıyla 0,82 ve 0,70 ‘dir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, modelleme, tahmin, yapay sinir ağları (YSA),Konya.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

ARTIFICAL NEURAL NETWORKS (ANN), WAS USED IN MODELLING AND PREDICTING THE AIR POLLUTION

Fatma KUNT

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Şükrü DURSUN

2007, 88 Pages

Jury: Prof. Dr. M. Emin AYDIN

Prof. Dr. Kemal GÜR

Assist. Prof. Dr. Şükrü DURSUN

Air pollution as an environmental problem emergence recently during winter periods in the bigger cities in Turkey. In addition to released pollutant in the atmosphere, unwanted atmospheric conditions (stable or decisive condition) in the metropolitan cities produce air pollution episodes. Looking from this point, modelling and estimation of the air pollution are an important respect for the local governments. Taking measures from the beforehand estimation air pollution level in relation with the meteorological parameter especially during the winter period had a heavy air pollution will give chance to decrease of air pollution effect on the humans. In this respect, air pollution modelling and estimations studies are very important.

The aim of this study to deal with Konya city, air pollution modelling programme for air pollution estimation will be presented using some meteorological parameters with Artificial Neural Networks (ANN) which are given successful results with meteorology and environmental applications recently During the training and test period, the correlation coefficients (R^2) of ANN are 0.82 and 0.70 respectively.

Keywords: Air pollution, modelling, estimation, artificial neural networks (ANN), Konya.

TEŞEKKÜR

Önceki çalışmalarımda olduğu gibi bu tez çalışmasında da özellikle çalışma metodu açısından kendisinden çok istifade ettiğim danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Şükrü DURSUN'a kalbi teşekkürlerimi iletirim. Ayrıca çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Dr. Dünyamin GÜÇLÜ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihat YILMAZ'a ve Çevre Mühendisliği bölümündeki çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Meteorolojik veriler konusunda yardımlarından ötürü Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve SO_2 verilerini sağladıkları için Konya Halk Sağlığı Müdürlüğü'ne teşekkürü borç bilirim.

Her türlü maddi ve manevi desteklerinden, hoşgörü ve sabırlarından dolayı eşim ve aileme şükranlarımı sunarım.

Fatma KUNT
2007, Konya

İÇİNDEKİLER **Sayfa No**

ÖZET **ii**
ABSTRACT **iii**
TEŞEKKÜR **iv**
İÇİNDEKİLER **v**
ŞEKİLLER LİSTESİ **vii**
ÇİZELGELER LİSTESİ **viii**
TABLOLAR LİSTESİ **ix**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi 1
2. HAVA KİRLİLİĞİ VE KİRLETİCİLER **3**
2.1. Hava Kirliliği Olaylarının Genel Yapısı Ve Hava Kalitesi Kavramı 3
2.2. Hava Kirlenmesi Olaylarının Bileşenleri 4
2.3. Hava Kirlenmesinin Ölçekleri 5
2.4. Hava Kirletici Kaynaklar 6
2.5. Çeşitli Hava Kirleticiler 7
2.5.1. Partikül maddeler 7
2.5.2. Kükürt oksitler 9
2.5.3. Azot oksitler 10
2.5.4. Karbon monoksit 11
2.5.5. Diğer kirleticiler 11
2.6. Fotokimyasal Sis (Smog) 12
3. HAVA KİRLİLİĞİ METEOROLOJİSİ **14**
3.1. Rüzgâr 15
3.2. Atmosferde Yükseklik-Sıcaklık-Basınç İlişkisi 15
3.3. Atmosferik Kararlılık 17
3.4. İnversiyon 19
3.5. Maksimum Karışma Yüksekliği 19
3.6. Basınç Sistemleri 20
3.7. Cephe Sistemi 21
3.8. Dağılım Modelleri 21
3.8.1. Fiziksel modeller
3.8.2. Matematiksel modeller 22
4. KONYA'DA HAVA KİRLİLİĞİNİ OLUŞTURAN SEBEPLER **26**
4.1. Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği 26
4.2. Atmosferik Özelliklerden Kaynaklanan Hava Kirliliği 27
4.3. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği 27
4.4. Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliği 27
4.5. Diğerleri 28
4.5.1. Nüfus artışı ve plansız kentleşme 28
4.5.2. Yeşil alanların azalması 29
5. YAPAY SİNİR AĞLARI **30**
5.1. YSA'nın Tanımı ve Tarihçesi 30
5.2 Literatürdeki YSA Tanımları 31
5.3 YSA'nın Uygulama Alanları 31
5.4 YSA'nın Üstünlükleri 33
5.5 YSA Nasıl Çalışır ? 36

5.6 YSA'nın Eğitimi ve Testi 37
5.7 Biyolojik Sinir Sistemi 40
5.8 Sinir Hücresi (Nöron) 41
5.9 YSA'nın Yapısı 43
5.9.1 Girdi katmanı 43
5.9.2 Ara katman (gizli katman) 43
5.9.3 Çıktı katmanı 43
5.10 Yapay Sinir Hücresi 44
5.11 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması 45
5.11.1 YSA'ların yapılarına göre sınıflandırılması 45
5.11.1.1 İleri beslemeli ağlar 45
5.11.1.2 Geri beslemeli ağlar 47
5.11.2 YSA'ların öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması 48
5.11.2.1 Danışmanlı öğrenme 48
5.11.2.2 Danışmansız öğrenme 49
5.11.2.3 Takviyeli öğrenme 50
5.11.3 Uygulamaya göre öğrenme algoritmaları 50
5.11.3.1 Çevrim içi (on-line) öğrenme 50
5.11.3.2 Çevrim dışı (offline) öğrenme 50
5.12 Yapay Sinir Ağ Yapıları 51
5.12.1 Bir YSA'nın tasarımı 51
5.12.1.1 YSA ağ yapısının seçimi 52
5.12.1.2 Öğrenme algoritmasının seçimi 53
5.12.1.3 Ara katman sayısını belirleme 54
5.12.1.4 Nöron sayısının belirlenmesi 54
5.12.1.5 Normalizasyon 54
6. YAPAY SİNİR AĞLARININ HAVA KİRLİLİĞİNDE KULLANILMASI 56
6.1. Hava Kirliliği Modellemesinde Yapay Sinir Ağları Uygulamaları ile İlgili Önceki Çalışmalar 56
6.2. YSA Kullanımının Sebepleri 58
6.3. YSA'nın Klasik Yazılımlar İle Karşılaştırılması 59
7. MATERYAL VE METOT 60
7.1.Bölgenin Tanıtılması 60
7.1.1. Bölgenin coğrafi özellikleri 60
7.1.2. Bölgenin topografik özellikleri 60
7.1.3. Bölgenin iklim özellikleri 61
7.1.3.1. Rüzgar 62
7.1.3.2. Basınç 62
7.1.3.3. Sis 63
7.1.3.4. Nem 63
7.1.3.5. Sıcaklık 63
7.1.3.6. Yağış 64
7.2.Metot 64
7.2.1 YSA'da kullanılan veriler 64
7.2.2. Çok katmanlı perceptron (Multi-layer perceptron) 65
7.2.3. Verilerin normalizasyonu 67
7.2.4. Performans kriterleri 68
7.3. YSA' nın Kullanımı Eğitim ve Verifikasyon 69

7.4. SO_2 Verilerinin Kullanıldığı YSA Uygulama Sonuçları 71
7.4.1. Model performansını ve öğrenme aşamasını etkileyen parametrelerin durumu 71

8. SONUÇ ve ÖNERİLER **74**
8.1. Sonuçlar 74
8.2 Öneriler 75

9. KAYNAKLAR **77**

ŞEKİLLER LİSTESİ **Sayfa No**

Şekil 2.1. Hava kirleticilerin kaynağından çökelmesine kadar dağılımı 5
Şekil 2.2. Aerosollerin tane iriliklerine göre sınıflandırılması 8
Şekil 3.1. Gerçek değişme hızları ile kuru adyabatik değişme hızı arasındaki ilişki 17
Şekil 3.2. Kararlılık durumları 18
Şekil 3.3. Maksimum karışma yüksekliği 20
Şekil 3.4. Bir hava kirliliği probleminin modellenebilmesi için gerekli sistem 24
Şekil 5.1. :Yapay sinir ağlarında basamaklar (a, Genelleme; b, Ezberleme; c, İyi Genellemeye Ulaşan; d, Ağlardaki Hata Eğrileri) 39
Şekil 5.2. Merkezi sinir ağı yapısı 41
Şekil 5.3. Biyolojik sinir hücresi 42
Şekil 5.4. Yapay Sinir Ağı modeli 44
Şekil 5.5. İleri beslemeli ağ için blok diyagramı 45
Şekil 5.6 İleri beslemeli 3 katmanlı YSA. 46
Şekil 5.7 Geri beslemeli ağ için blok diyagram 47
Şekil 5.8. Danışmanlı öğrenme yapısı 49
Şekil 5.9 Danışmansız öğrenme yapısı 49
Şekil 5.10 Takviyeli öğrenme yapısı 50
Şekil 7.1. (n:m:p) mimarisine sahip çok katmanlı perceptronun şematik yapısı 66
Şekil 7.2. SO_2 tahmin için geliştirilen YSA modeli ağtopolojisi 70
Şekil 7.3. Saklı katmana ait minimum karesel hata. 70
Şekil 7.4 SO_2 konsantrasyonlarının test setinde beklenen ve bulunan veriler arasındaki korelasyon 72
Şekil 7.5 8-10-1 MLP model yapısı için test verileri için ölçülen ve hesap edilen SO_2 değerleri 72
Şekil 7.6 SO_2 konsantrasyonlarının eğitim setinde beklenen ve bulunan veriler arasındaki korelasyon 73
Şekil 7.7 8-10-1 MLP model yapısı için eğitim verileri için ölçülen ve hesap edilen SO_2 değerleri 73

ÇİZELGELER LİSTESİ **Sayfa No**

Çizelge 7.1 YSA modeli için giriş parametrelerinin değişim aralığı (2003 ve 2004) 65
Çizelge 7.2 MLP modeli 69

TABLOLAR LİSTESİ **Sayfa No**

Tablo 5.1. Ağ türleri ve başırılı oldukları alanların kaşılaştırılması 52
Tablo 5.2. YSA'nın Uygulama alanlarına göre sınıflandırılması 53

1. GİRİŞ

1.1.Çalışmanın Amacı ve Önemi

Hava kirliliği global yönü de olmasına rağmen halen büyük ölçüde bölgesel sebeplere dayanmaktadır. Bundan dolayı çözüm önerilerinin de bölgesel ölçekte ele alınması zarureti bulunmaktadır. Genel olarak bir bölgede hava kalitesi, uzun ve kısa vadeli hedeflerin belirlenmesi, bu hedeflerle uyumlu çevre havası ve emisyon standartlarının konulması, ölçüm şebekesi ile kirleticilerin izlenmesi, bir model vasıtasıyla kirletici kaynakla kirlilik arasındaki ilişkinin tahmin edilmesi, modelin kullanılması ile önleyici stratejilerin belirlenmesi gibi adımları içerir (Alp ve Tunay. 1992).

Hava kalitesi, Hava Kalitesi Değeri, Hava Kirlenmesine Katkı Değeri ve bu ikisinin toplamı olan Toplam Kirlenme Değeri ile temsil edilmektedir. Hava Kalitesi Değeri ile Toplam Kirlenme Değeri ölçüm yolu ile bulunmakta, Hava Kirlenmesine Katkı Değeri ise model kullanılarak hesaplama yoluyla belirlenmektedir. Belirli emisyon kütlesel debilerinin aşılması durumunda Hava Kalitesi Değerinin ölçülmesi ve Hava Kirlenmesine Katkı Değerinin hesaplanması gerekmektedir (Anonim 1986).

Hava kirliliğinin önlenmesi konusunda yapılacak çalışmalar içerisinde en önemli adımlardan biri kirlenme olayının bir model içerisinde değerlendirilmesidir. Model, bölgesel coğrafik veriler, bölgesel meteorolojik veriler, emisyon kaynaklarının envanterleri ve diğer bölgelerden taşınımı giriş bilgilerini kullanarak gözlenen konsantrasyonların ve konsantrasyon alanlarının simülasyonunu, konsantrasyonların zamana göre tahminini yapar. Gözlenen ve tahmin edilen konsantrasyonların istatistiği ve modelin geçerliliği sağlandıktan sonra emisyon kaynaklarının planlanması yapılır. Bu suretle de emisyon kaynaklarına müdahale şekli ortaya çıkarılabilir. Böylece, model tahminlerine dayanan değişik tipteki hava kirleticilerin davranışlarının kontrolü ve de hava kirliliğinin önlenmesi konusunda uygun kararların alınabilmesi mümkün hale gelebilecektir. Hava kalitesi modeli, endüstri ve yerleşim bölgelerinin hava kirliliği sorunlarının çözülmesi için gerekli kontrol seviyelerini değerlendirmek ve tanıtmak üzere kullanılabilecektir.

Hava kirliliği modellemesi ve önceden tahmini yerel yönetimler için önemli bir husustur. Özellikle kirliliğin yoğun olarak yaşanacağı kış aylarında, meteorolojik koşullara bağlı olarak hava kirliliğinin önceden (24 saat önceden) bilinmesi zamanında tedbir alınmasına ve hava kirliliğinden en az ölçüde etkilenmeye katkıda bulunacaktır. Bu noktadan bakıldığında hava kirliliği modellemesi ve önceden tahmini çalışmalarının önemi ortaya çıkmaktadır.

Konya örneği ele alınarak yapılan bu çalışmada, günlük düzenli olarak ölçülen meteorolojik parametreler ve SO_2 konsantrasyonları kullanılarak atmosfer uygulamalarında çok yeni ve klasik istatistiksel metotlara kıyasla oldukça başarılı sonuçlar ortaya koyan yapay sinir ağları modelleri kullanılarak kirlilik parametresinin (SO_2) 24 saat sonraki değeri tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. HAVA KİRLİLİĞİ VE KİRLETİCİLER

Hava ortamı, yerküremizin etrafını saran atmosfer adlı gaz tabakasından oluşur. Yer çekiminin etkisiyle yer kabuğuna yakın yerlerde atmosferin yoğunluğu ve üstündeki atmosfer yükü dolayısıyla basıncı daha fazladır. Aynı zamanda güneş ışınlarının yer kabuğu ve yoğun olan alt atmosferde daha fazla absorplanıp ısıya dönüştürülmesi nedeniyle, doğal olarak atmosferin alt kısımlarında sıcaklık daha yüksektir. Alt atmosferde sıcaklık yükseklikle belirgin bir hızla azalır. Yükseklik-sıcaklık-yoğunluk-basınç ilişkileri havanın ideal gaz kanunlarına uyum gösterdiği varsayımıyla belirlenebilir (Müezzinoğlu 2000).

Hava kirliliği ve kontrol çalışmalarını yürütmeye yönelik ilk adım atmosferin kompozisyonunu ve yapısını anlamaktır. Atmosfer troposfer, stratosfer, mezosfer ve termosfer olmak üzere 4 ana katmandan oluşmaktadır. Troposferdeki soluduğumuz hava kabaca % 78 azot (N_2), % 21 oksijen (O_2), % 1 argon (Ar) ve % 0.03 karbondioksit (CO_2) ve çoğu inert olan iz miktarlarda diğer gazlardan oluşmaktadır. Kirlilik kontrolünde en önemli katman, çoğu canlının yaşadığı katman olan troposferdir (Peavy 1985).

Akım özellikleri nedeniyle yerden itibaren 11-20. kilometreler arasında bir yükseklikte yer alan bir sınır tabakasının (tropopoz) altındaki atmosfer tabakası troposfer adını alır. Bunun hemen üstünde 60. kilometrelere kadar bir tabaka olan stratosfer bulunur (Müezzinoğlu 2000).

2.1. Hava Kirliliği Olaylarının Genel Yapısı Ve Hava Kalitesi Kavramı

Hava kirlenmesi, bina dışı açık havada bir veya daha fazla türden kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamına; ticari veya kişisel eşyalara ve yaşamaktan zevk duyulabilecek bir çevre kalitesine zarar veren miktarda belli bir sürenin üstünde bulunmasıdır. Toz, duman, (yapay) sis, buhar, iri partiküller, gazlar ve (kötü) kokulu maddeler kirleticilere birer örnektir.

Yer kabuğuna yakın atmosfer katında yerdeki doğal veya yapay fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlardan kaynaklanan nem ve karbondioksitin yanı sıra; daha çok insan etkinlikleriyle ilişkili olan kükürt oksitler, karbon monoksit, azot

oksitler, ozon, hidrokarbon buharları ve havada askıda durabilen katı veya sıvı damlacıkları (partikül maddeler ve aerosoller) bulunur. Bu maddelerin havadaki miktarları azot ve oksijen gibi sabit olmayıp zaman ve mekan içinde değişkendir. Havada yalnızca milyonda bir kısım mertebelerinde bulunan bu gibi gaz, sıvı veya katı maddeler yerel koşullara bağlı olarak hava kirlenmesine neden olurlar.

Diğer ortamlardan farklı olarak hava çok hızlı akabilir. Dolayısıyla uygun koşullar altında havaya bırakılan kirletici gaz ve tozların dağılmasıyla kirlenmenin seyreltilerek giderilme şansı vardır. Diğer taraftan kısmen seyrelmiş haldeki kirleticiler bazı durumlarda kütlesel hava hareketleri ile ülkeler, hatta kıtalar arasında dolanabilir. Bu nedenle atmosferdeki yarılanma ömrü uzun olan bazı kirleticilerin yarattığı hava kirlenmesinin ulaşım mesafesi de çok uzun olabilmektedir (Müezzinoğlu 2000).

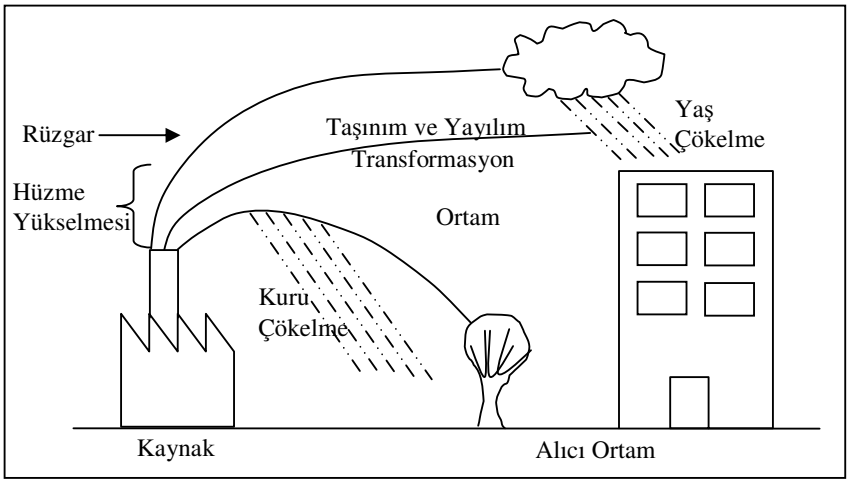
2.2. Hava Kirlenmesi Olaylarının Bileşenleri

Kirletici maddelerin havaya karışması ile ortaya çıkan hava kirlenmesinde en az bir kaynak bir taşıyıcı ortam (alt atmosfer) ve bir alıcı bulunur (Şekil 2.1). Bütün bu bileşenlerin aynı ortamda birden fazla sayıda bulunması halinde karmaşık sonuçlar doğar. Alıcı tarafından algılanan dış hava kompozisyonu hava kalitesi olarak bilinir.

Hava kalitesi ile ilgili kriter ve standartlara uyabilmek için kaynak performansı ve ortam koşullarına ilişkin iki ana grup değişkenin mühendislik uygulamalarıyla birleştirilerek düzenlenmesi gereklidir. Bunlardan kaynağın performansına ilişkin olanlar; yakıt türü, yakma teknolojisi ve hava kirliliği önleme cihaz ve teknikleriyle ilgilidir. Endüstri kaynaklarında bacalardan veya çalışma ortamlarından atılan maddeler kalite ve miktarca önem taşırlar.

Ortama ilişkin değişkenler ise duman hüzmesinin davranışını belirler. Dumanın kütlesel davranışı, incelenen yörenin o andaki meteorolojik özelliklerine bağlıdır. Ayrıca kirletici maddelerin dolaylı yoldan iklimsel ve meteorolojik faktörlerle ilgili olan bozunabilirliği, dispersiyon ve taşınım özellikleri de alıcıya ulaşabilen kirletici derişimlerini etkiler. Bu nedenlerle alıcı ortamın meteorolojik özellikleri, gerek yörede hava kalitesinin oluşmasında ve gerekse bu kalitenin matematik dağılım

formülleri (dispersiyon modeli) yardımıyla belirlenmesinde büyük önem taşır (Müezzinoğlu 2000).



Şekil 2.1. Hava kirleticilerin kaynağından çökelmesine kadar dağılımı (Stern ve ark. 1984)

2.3. Hava Kirlenmesinin Ölçekleri

Hava kirlenmesi, kirleticilerin ulaşması söz konusu olan mesafelere ve etkili olabilme sürelerine göre sınıflandırılır.

a) Makro Ölçek: Ekvatorda ısınan ve yükselen havanın yerini kutuplardan akan soğuk hava kütlesi alır ve ılıman iklim kuşağında yere yakın katmanlarda kutuplardan ekvatora doğru esen makro ölçekli rüzgarları oluşturur. Bu hava hareketleri dünyanın batı-doğu yönünde kendi etrafında dönme hareketlerinden de etkilenir, örneğin kuzey yarıkürede hafifçe sağa doğru (yani kuzeybatıdan güneydoğuya doğru) eser.

b) Sinoptik Ölçek: Kıtalararası hava hareketlerinin ölçeğidir. Sabit yüksek ve alçak basınç merkezleri, cephe sistemleri ve buna benzer hareketlerle kirletici taşınması sinoptik ölçekli olaylardır.

c) Mezo Ölçek: Bölgesel boyutlardaki kara-deniz esintileri, dağ-vadi hava akımları gibi daha yerel hava hareketleri ile taşınan kirleticilerin yarattığı hava kirlenmeleridir. Kent ve sanayi bölgelerinin planlaması, baca tasarımı

gibi çalışmalar sırasında mutlaka göz önünde bulundurulması gereken bir ölçektir.

d) Mikro Ölçek: Yere yakın hava tabakasında meydana gelen hava hareketleriyle ilgili kirlenmenin taşınma ölçeğidir. Örneğin bina çevrelerindeki hava akımları ve çevrintiler, ağaçlık yerlerdeki hava hareketleri vb.

Hava kirlenmesi olaylarını incelerken boyutlarını da göz önünde bulundurmak gereklidir. Aksi halde pratik olmayan sonuçsuz önlemlerle, çok kıymetli olan para ve zaman kaybı ortaya çıkar (Müezzinoğlu 2000, Atlı 2002).

2.4. Hava Kirletici Kaynaklar

Hava kirleticilerin havaya atıldığı yere veya faaliyete kirletici kaynak adı verilmektedir. Kirlilik kaynağı; orman yangını, volkan püskürmesi vb. doğal kaynaklar veya evsel ısınma aracı, sanayi kuruluşu, taşıt gibi yapay kaynaklar şeklinde olabilir. Hava kirleticiler atmosfere ulaşıp, önceleri bir duman hüzmesi ya da bulutu şeklinde taşınırken, bir taraftan da seyrelerek, çökelerek veya atmosferde reaksiyona uğrayarak uzaklaşarak kaybolurlar. Bu mekanizmalar kaynağın kirleticileri üretme fonksiyonuna zıt bir tüketim alanı oluşturdukları için rezervuar (sink) olarak tanımlanırlar. Rezervuar olarak toprak, yeşil bitki örtüsü, yüzeysel sular ve atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar, yağışla yıkanarak veya kuru kuruya çökelerek toprağa inme (depozisyon) sayılabilir. Bir kirletici maddenin kaynaktan yayınlandığı andan havada yok oluncaya kadar geçen sürenin en iyi ölçüsü kirleticinin yarılanma ömrüdür. En sık rastlanan hava kirleticilerin saat veya gün mertebesinde yarılanma ömrüne sahip oldukları bilinmektedir. Bu da bize bu maddelerin atmosferde oldukça hızlı ve etkin uzaklaştırma mekanizmalarına sahip olduklarını göstermektedir (Müezzinoğlu 2000, Atlı 2002).

2.5. Çeşitli Hava Kirleticiler

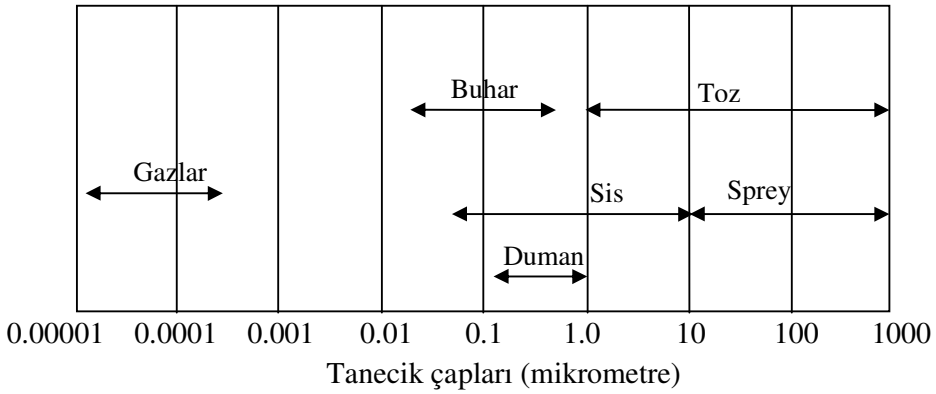
Sıklıkla karşılaştığımız hava kirleticileri genel bir sıralamayla askıda partikül maddeler (tozlar ve aerosoller), kükürt oksitler, organik maddeler, azot oksitler, karbon monoksit, halojenler, radyoaktif maddeler şeklinde sayabiliriz. Sayılan bu kirletici maddelerin bazıları doğrudan doğruya kirletici kaynaktan atıldıkları şekilde havada bulunurlar. Bunlar birincil kirleticilerdir. Diğer bir kısım kirleticiler ise, havaya karışan bu birincil maddelerin, havada mevcut diğer bazı türlerle atmosferde reaksiyona girmesiyle oluşan reaksiyon artıklarıdır. Bunlara da ikincil kirleticiler denir.

2.5.1. Partikül maddeler

Sıvı veya katı taneciklerin gaz ortamda askıda halde durmasıyla oluşan toz veya partikül madde diye adlandırılan kirletici türü, ister doğal isterse yapay kaynaklı olsun; çeşitli iklimsel ve hijyenik etkileriyle önem kazanmaktadır. Bu asılı maddelerin çok ince olup da havada kolloidal süspansiyon oluşturanlarına aerosol denir. Doğal sis ve kirlenmeye bağlı yapay sis (smog) olaylarında aerosoller etkili olmaktadır.

Hava ortamında askıda duran partikül halindeki maddeler, iriliklerine ve yoğunluklarına bağlı olarak ancak belirli bir süre için bu hali sürdürebilirler. Bu sürenin sonunda yere çökelerek atmosferden uzaklaşırlar. Havada yüzer halde bulunan bu tanecikler, tane iriliklerine ve kimyasal yapılarına bağlı olarak toz, buhar, sis, duman, sprey gibi çok çeşitli isimler alırlar. Tozlar katı maddelerdir ve doğrudan endüstri veya ısınma tesislerinin atık gazlarıyla havaya atılan kül, kömür, çimento tozları, kum, talaş, toprak gibi maddeler bu sınıfa girer. Buharlar ise kimyasal veya fiziksel reaksiyonlar sonucu havaya bırakılan daha çok metal veya organik madde buharları ile bunların süblime olması sonucu oluşan çok ince sıvı zerreleridir. Sis yoğuşmuş maddelerin oluşturduğu ince sıvı damlalarından meydana gelir ve su buharı etkisiyle doğal sis, diğer buharların etkisiyle ise smog şeklinde görülür. Duman, karbonlu maddelerin tam yanmaması sonucu havaya bırakılan katı

taneciklerce zengin atık gazların adıdır. Sprey ise bir sıvının basınçlı bir taşıyıcı gaz ile birlikte havaya püskürtülmesiyle oluşan atomize sıvı taneciklerinden meydana gelir. Çeşitli sınıflara giren bu aerosollerin tane irilikleri Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Aerosollerin tane iriliklerine göre sınıflandırılması

Çökelme eğilimleri yüzünden havada yaklaşık 40 mikrondan daha iri partikül maddeye pek rastlanmaz. Aerosollerin alt sınır ise molekül ölçeği olup Şekil 1.2'de sol tarafta görülen gazlar ayrık moleküllerden ibarettir. Sağlık etkileri açısından 10 mikrondan iri aerosoller burundan, 5 mikrondan iri olanlar ise üst solunum yollarından kolayca geçemediğinden, insan sağlığına doğrudan etkileri önemsizdir. Oysa 3 mikrondan ince olan tozlar aynı nedenle sağlık etkileri en büyük olan kirleticilerdir. Özellikle duman, buhar gibi mikron-altı ölçeklerde olabilen, solunum yollarından geçerek akciğerlerimizin alveol adı verilen keseciklerine kadar girmekte ve olumsuz sağlık etkileri yaratmaktadır (Müezzinoğlu 2000).

Partiküler maddelerin kimyasal yapı ve özellikleri çok değişkendir. Partiküler maddeler organik ve inorganik yapıda olabilir. Hava kirlenmesinde önem taşıyan inorganik bileşenler sülfat, nitrat, kurşun, demir, mangan, çinko ve vanadyum; organik bileşenler ise çeşitli hidrokarbonlar ile fenoller, organik asitler ve alkollerdir. Partiküler maddelerin bir kısmı biyolojik partiküller olarak adlandırılan mikroorganizmalardır (Atlı 2002).

Ortalama gaz molekül büyüklüğü olan 0.0002-0.0003 μm çaptan iri olan ve havada bir süre askıda kalabilen katı veya sıvı her türlü madde partikül sınıfına girer. Tane iriliği 0.1 μm'den ince olan tozlar, moleküllerin yaptığı serbest Brown hareketlerine benzer hareketler yaparak veya gaz ortamındaki kinetik enerji etkisiyle

birbirleriyle çarpışıp yapışma yoluyla büyüyebilirler. Sadece çapı 20 μm'den iri olan tozlar çökelmeyle durgun havadan etkili bir şekilde ayrılabilirler.

Havanın tozlu olması, yani doğal veya yapay partikül maddelerle dolu olması;

- görüş mesafesini kısaltır,
- güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarından etkili olarak gelen enerji akışını değiştirir,
- insan, hayvan ve bitki sağlığına olumsuz etki yapar (Müezzinoğlu 2000).

2.5.2. Kükürt oksitler

SO_2'nin havada gaz fazda veya katı partiküller ya da su damlacıkları üzerinde karmaşık reaksiyonlarla oksitlendiği, SO_3'e dönüştüğü ve bundan sonra da ıslak veya kuru çökelmeyle atmosferden ayrılan sülfatları oluşturduğu belirlenmiştir. SO_x gazları SO_2 eşdeğeri şeklinde ifade edilir.

Havadaki kükürt oksitler (SO_x) içerisinde en önemli pay kükürt dioksit (SO_2) gazına aittir. Kükürtdioksit renksiz bir gaz olup, havadaki 0.3-1 ppm seviyelerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır. Atmosferde oldukça hızlı bir oksitlenmeyle kükürt trioksit (SO_3) ve sülfatlara dönüşür. Kükürt trioksit sülfürik asidin anhidriti olup; yağmur veya yoğuşmuş nem (sis) damlalarıyla birleşerek havada bu asidin damlacıklarının oluşmasına yol açar. Sülfatlar ise çoğunluğu 0.2-0.9 μm çapa sahip katı tanecikler şeklinde olup, görünür ışığın 0.4-0.7 μm olan dalga boyları ile girişim yaparak görüş mesafesini azaltır ve güneş radyasyonunu engelleyerek yerel iklimlerde soğumaya yol açar. Bu yüzden kent atmosferinde SO_2'nin tipik seviyelerinde, bağıl nemin de % 50'den fazla olduğu günlerde önemli görüş kayıpları ortaya çıkar.

SO_2'nin solunum yolu rahatsızlıkları yarattığı, özellikle akciğer yetmezliği ve solunum sistemi hastaları için öldürücü olabildiği düşünülmektedir. SO_x grubu gazlar daha çok teknolojik malzemeye ve bitkilere verdikleri zararla tanınırlar. Metal yüzeylerin korozyonla aşınmasına yol açarlar. Boyanın ömrünü azaltırlar. Ayrıca kireç, mermer ve sıva gibi yapı malzemesini de kısa sürede tahrip ederler. Ama yaptıkları en ciddi etki asit yağışlarıyla bitki örtüsünü ve ormanları tahrip etmeleridir.

Asit yağışı SO_x'ların yanı sıra NO_x moleküleriyle de meydana gelir ve suyla birleşince şiddetli asit oluşturan gaz kirleticilerin bulutlar içerisinde tutulup, asit damlaları halinde yere inmesine verilen addır. Kirletici olarak havada bulunan SOx ve NO_x atmosferde sıvı damlacıkları tarafından adsorplanıp oksitlenerek ve daha sonra şiddetli asitler olan sülfürik ve nitrik asit damlacıklarına dönüşerek şiddetli asidik yağışlara yol açmaktadır.

Asit yağışlarının başlıca iki dolaylı kötü etkisi bilinmektedir. Bunlardan biri yere düşen asitli yağış sularının yüzeysel akış sonunda karıştıkları alıcı su ortamında doğal dengeyi bozmalarıdır. Diğer bir zarar ise toprakta ve bitkilerde kendini gösterir. Asidik yağışlarla yıkanan topraktaki besin maddeleri suda daha çok çözünerek suyla birlikte topraktan kaçıp giderler. Toprağın üzerindeki bitki örtüsünde ise doğrudan veya su-toprak ilişkileriyle dolaylı zararlar meydana gelir. Asit yağışları sanat ve kültür yapılarına zarar vermekte, özellikle mermerden yapılan tarihi yapı ve antik eserlerin yıpranmasına neden olmaktadır.

2.5.3. Azot oksitler

Azot oksitler (NO_x) havadaki en önemli kirletici gazlardandır. Yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan NO ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan NO_2 gazlarının toplamından oluşur. Asit yağışlarına katkılarından başka, fotokimyasal sisin oluşumunda da başlıca etkenlerden sayılırlar. Ayrıca, NO_2 gerek insan sağlığı, gerekse bitki örtüsünde doğrudan zehir etkisi yapan bir gazdır. NO_x gazları NO_2 eşdeğeri ile tanımlanır. Yanma kaynaklı olan bu gazlardan asıl zehirli olanı NO_2'dir. NO daha çok NO_2 hammaddesi olduğu için önem taşır. Her iki gaz da doğal azot çevriminin birer parçasıdır. Atmosferdeki yarılanma ömürleri düşük olup, normalde dünya atmosferinde 1 ppb'den daha az konsantrasyonda olmaları beklenir. Oysa kentsel atmosferde bu derişimler 40-80 ppb hatta 300-1400 ppb değerlere kadar yükselmektedir.

2.5.4. Karbon monoksit

Karbon monoksit (CO) renksiz, kokusuz ve havanın ortalama mol ağırlığına yakın mol ağırlığında bir gaz olup, hem kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, hem de renksiz ve kokusuz olması dolayısı ile varlığı farkedilemeyen bir kirleticidir. Atmosferdeki yarılanma ömrü oldukça uzundur.

Karbon monoksitin insan sağlığı üzerindeki etkisi, kanın alyuvarlarındaki hemoglobinin karbon monoksitle tercihli olarak bir kompleks (COHb=karboksihemoglobin) yapıp, dokulara oksijen iletimini engellemesi şeklinde görülür. Ayrıca karboksihemoglobinin dokulara ulaşabilen oksihemoglobin kompleksinin hücrelerde oksijeni serbest hale getirebilmesini zorlaştırdığı belirlenmiştir.

2.5.5. Diğer kirleticiler

Gaz haldeki hidrokarbonların (HC) yerel boyuttaki doğrudan sağlık etkilerinin yanında, atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar sonunda oluşturdukları ürünler büyük önem taşır. Atmosferde güneş ışığı etkisiyle ortaya çıkan fotokimyasal reaksiyonların ürünleri bazen bu organik maddelerin kendilerinden de daha etkili ve zararlı olabilmektedir.

Metan ile başlayan bu gruptaki organik maddelerin metan eşdeğeri ile ifade edildiği hafif alkanlardan meydana gelen bir alt grubu mevcuttur. Metan daha çok sera gazı etkisiyle tanınır. Çünkü metan molekülünün de karbondioksit gibi güneş radyasyonunu yutarak ısıya dönüştürme özelliği bulunmakta, üstelik yine onun gibi atmosferdeki derişimi insan eliyle sürekli arttırılmaktadır.

Havadaki hidrokarbon gaz ve buharları genelde uçucu organik karbon (VOC) bileşikleri olarak tanınır. (NMVOC) veya sadece VOC şeklinde kısaltma ile ifade edilen bileşikler metan dışı tüm organik buhar ve gazları kapsar. VOC'lerde zincir yapısında düz karbon iskeletleri taşıyan (alkil) veya benzen halkaları taşıyan (aril) kökler içeren, doymuş veya doymamış haldeki maddeler ile aldehit, keton veya asit grupları taşıyabilen organik maddeler yer almaktadır. Bunların bir bölümü örneğin

benzen, formaldehit gibi çok yaygın türler havada yüksek derişimlerde bulunduğunda kanser yapar, bir kısmı ise zehirlidir.

Daha büyük moleküller halinde bulunan ve katran, zift gibi sıvı veya katı fazlarda olabilen hidrokarbonlar ise kanser yapıcı oldukları kuşkusuyla üzerinde çok sayıda araştırma yapılan hava kirleticilerdir. Petrol veya kömür kaynaklı olan ve çok sayıdaki benzen halkasını içeren polinükleer aromatik hidrokarbon (PAH) bileşikleri ise, çok az miktarlarda havada bulunsalar bile, kanserojen olmaları sebebiyle önemle üzerinde durulması gerekli bir gruptur.

Fotokimyasal oksitleyiciler denince akla ozon (O_3) başta olmak üzere, bazı organik (peroksiasil veya peroksiaril) nitratlar gelir. Havada fotokimyasal süreçler sonunda meydana gelen peroksiasetil nitrat (PAN) ve peroksibenzoil nitrat (PBzN) ile bazı oksitleyici özellik taşıyan radikaller topluca fotokimyasal oksitleyiciler olarak adlandırılırlar. Hepsi de zararlı olan ve bir kısmının kanser yapıcı olduğu bilinen veya kuşku duyulan bu maddelerin kent havasında oluşan fotokimyasal sis içerisinde önemli yerleri vardır.

Florürlü maddeler, partikül yapısındaki florür ile havaya gaz halde bırakılan florürlerin toplamıdır. Bu maddeleri içeren atık gazlar veya süspanse maddeler, bitki ve hayvanlar için zehir etkisi yaparlar. Etkileri ekleniktir.

Havada buhar halinde veya partikül yapısında bulunabilen iz elementlerin çoğu zehirli maddeler olup, düşük hatta iz konsantrasyonlarda bile çok uzun süre maruz kalınması halinde kronik zararlar doğurduklarına kesin gözüyle bakılmaktadır. Havada en çok incelenip, üzerinde en çok etki araştırması yapılmış olan iz element, bir ağır metal olan kurşundur. Kurşunun toksik etkileri uzun sürede vücuttaki seviyelerinin eklenmesiyle meydana gelen eklenik etkilerdir. Bu nedenle uzun vadede çeşitli kaynaklardan küçük dozlarda alınan kurşun, kısa vadeli ancak daha yüksek dozlar kadar etkili olabilmektedir.

2.6. Fotokimyasal Sis (Smog)

Atmosferde insan faaliyetleri sonucu yapay sis oluşumuna smog adı verilir. Kirlenme nedeniyle görüş mesafesinin kısalması, diğer bir deyimle bulanıklık artışı,

renkli gazlar ve ince aerosollerin çekirdek görevi üstlenmesiyle yoğuşan hava nemi de doğal olmayan sislerin oluşmasına yol açar. Smog, atmosferde oksitleyici maddelerle hidrokarbonlar arasında gün ışığı etkisiyle süren fotokimyasal reaksiyonlar şeklinde ortaya çıkarsa fotokimyasal smog adını alır.

Atmosferde oksitleyici maddelerin miktarca en önemlisi ozondur. Ozon, kirletici kaynaklardan atmosfere atılan çeşitli kirleticilerin güneşin morötesi (UV) ışınlarının yardımıyla meydana getirdiği reaksiyonların ürünüdür (Müezzinoğlu 2000).

3. HAVA KİRLİLİĞİ METEOROLOJİSİ

Kirlilik problemleri atmosferik kirleticiler, olumsuz meteorolojik koşullar, ve zaman zaman, bazı topografik koşulların birleşiminden kaynaklanmaktadır. Hava kirliliği episodları, kirleticilerin yayılımını sınırlayarak onların zararlı seviyelerde birikmesine yol açan meteorolojik koşullardan etkilenmektedir. Hava kirliliği ve bazı atmosferik koşullar arasında yakın ilişki olduğu için, meteoroloji konusunun iyi bilinmesi gerekmektedir (Peavy 1985).

Meteoroloji, içinde yaşadığımız alt atmosferin hava durumu ve iklimsel değişimleri yaratma sürecini belirlemeye yardımcı olan sıcaklık, basınç, rüzgar hızı ve yönü, nem, yağış, görüş uzaklığı, güneş radyasyonu gibi parametreleri ile ilgilenen bir bilimdir. Hava kütlelerinin makro, mezo ya da mikro ölçekteki yer değiştirmeleri bir yerdeki hava kalitesi açısından çok önemli olduğundan, meteorolojik veriler ve kestirim yöntemleri de aynı derecede önem taşır. Episod dediğimiz, hava kirlenmesinin uzun vadeli kronik etkilerinden çok, kısa vadeli ancak yüksek dozlu (akut) etkileriyle belirdiği olaylarda, o günlerdeki özel meteorolojik koşullar da rol oynar. Bu nedenle, bir yörede hangi meteorolojik koşulların ne derecede hava kirlenmesi yaratacağının önceden bilinmesi ve bu koşulları yaratan emisyon ve meteoroloji verilerinin derlenip değerlendirilerek, kirlenme olasılığının önceden değerlendirilmesi gerekir.

Meteorolojik olayları belirleyen faktörlerden en önemlileri ısı akısı, basınç, rüzgar ve nemdir. Bunlar birbirinden bağımsız değişkenler değildir ve hepsi de atmosfer dışından gelen bir etken olan güneş radyasyonu ile ilişkilidir (Müezzinoğlu 2000).

Meteoroloji dünya ölçeğindeki olayları inceleyen makrometeoroloji, 100 km'ler boyutundaki olayları inceleyen mesometeoroloji ve 1 km'ye kadar küçülebilen alanlardaki olayları inceleyen mikrometeoroloji olmak üzere üç kategoride ele alınır. Hava kirlenmesinde her üç kategori de önem taşır. Örneğin ozon tabakası, sera olayı gibi etkiler makrometeoroloji, asit yağmuru gibi oluşumlar mesometeoroloji, kentsel hava kirlenmesi incelemeleri de mikrometeoroloji çerçevesinde değerlendirilir (Atlı 2002).

3.1. Rüzgâr

Hava kirleticilerin taşınması, difüzyonu ve seyrelmesinde en önemli etkenlerden biri rüzgardır. Rüzgâr havanın yatay doğrultudaki kütlesel akma hareketi olarak tanımlanabilir. Yere çok yakın kısımdaki sürtünme bölgesinde çok azalan hız ve laminer akıma sahip bölgenin üstünde olan rüzgar akışı başlıca iki hakim kuvvetin etkisindedir.

1. Coriolis kuvveti
2. Basınç değişimine bağlı kuvvetler

Yerkürenin dönüşüyle ilgili olan Coriolis kuvveti vektörel bir büyüklüktür. Bu vektörün doğrultusu yatay düzlemde rüzgâr doğrultusuna dik, şiddeti ise rüzgâr hızıyla doğru orantılıdır. İkinci gruptaki kuvvetler ise basınç değişiminin şiddetine bağlıdır. İzobar çizgileri arasındaki açıklıklar arttıkça azalan, izobarlar birbirine yaklaştıkça artan şiddette rüzgârlar ortaya çıkar. Bu rüzgârlar yüksek basınçtan alçak basınca doğru ve Coriolis kuvveti etkisiyle kuzey yarımkürede sağa doğru çarpıtılmış olarak eserler.

Bir noktada ölçülen rüzgârın hızı, o noktada salınan bir kirleticinin, alıcının bulunduğu yere yatay olarak taşınma zamanını hesaplamaya yarar. Bu nedenle projelendirmeler için güvenilir rüzgâr verileri aranır. Meteoroloji istasyonlarında yapılan rüzgâr yön ve hızı ölçümleri, ölçülen noktaya ait rüzgâr gülünün çiziminde kullanılır. Rüzgârın doğrultusu ve hızı, bir noktada yükseklikle olan değişiminin dışında, yerel olarak topografik ve coğrafi etkilerle değişir (Müezzinoğlu 2000).

3.2. Atmosferde Yükseklik-Sıcaklık-Basınç İlişkisi

Bir moleküldeki ısı veya enerji artışı, bu moleküllerin kinetik enerjisi, yani titreşimlerini arttırır. Bu artan molekül titreşimleri ise elektromanyetik dalgalar halinde çevreye etki yapar. Bu etkiye sıcaklık denir. Sıcaklık cismin içindeki moleküllerin ortalama enerjisidir.

Hava sıcaklığı güneş enerjisinin bir sonucudur. Bir çok fiziksel olay, buharlaşma ve suyun katılaşması, bazı maddelerin genişlemesi veya daralması,

fizyolojik ve patolojik birçok olaylar, terleme ve daha bir çok olaylar hava sıcaklığına bağlıdır. Hava durgun olduğu zaman sıcaklığı dış etkilere bağlıdır. Yani yer ısınınca üzerindeki hava da ısınır. Aslında troposferde düşey hava hareketleri vardır ve hava alçalıp yükseldikçe, çevrenin etkisi olmadan ısınıp soğuyabilir. Bilindiği gibi gazların bir iç enerjisi, yani kinetik enerjisi vardır ve bu, basınca ve sıcaklığa bağlıdır. Fizik kanunu gereğince, yükselen bir hava kütlesi daha az yoğun basınca maruz kalacağından genişler ve bunun sonucu soğur. Bunun aksi halde alçalan havanın sıcaklığı artar (Atlı 2002).

Hava kirlenmesi meteorolojisinde, hava sıcaklığının yükseklikle azalma hızı (lapse rate), kirleticilerin düşey dağılma olasılığını etkileyen çok önemli bir bilgidir. Meteorolojik bilgilerden yararlanarak ve hava ortamını termodinamik bir sistem gibi düşünüp hava sıcaklığının yükseklikle azalma hızına bakarak, kirleticileri içeren hava kütlesinin düşey hareketlerinin olup olamayacağı ve dispersiyonun önemi hakkında karar verilir. Alt atmosferde bir hava paketinin düşey doğrultuda yükselmesi onun soğumasına, alçalması da ısınmasına yol açar (Müezzinoğlu 2000).

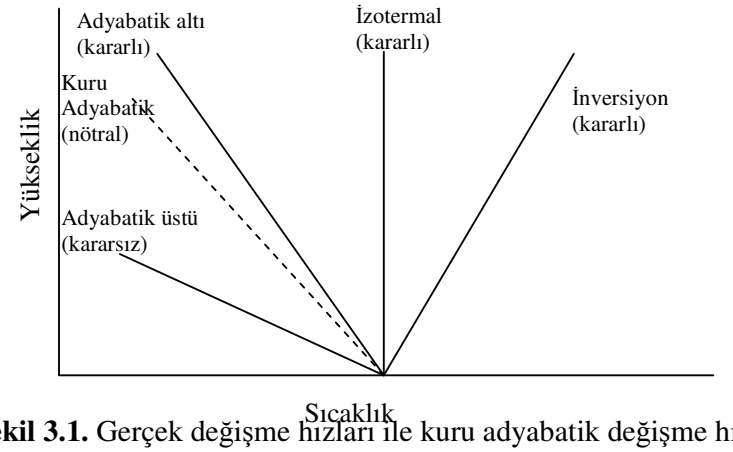
Kirleticilerin düşey doğrultuda yayılması, yer yüzeyi ile temas halinde olan ısınmış havanın yükselmesi sebebiyle olur. Isınmış olan hava kütlesi, etrafını çevreleyen soğuk hava moleküllerine nazaran daha düşük basınca sahiptir ve ortamın kaldırma kuvveti ile yükselir. Bu yükselme sırasında yükselen hava kütlesinin (parselin) sıcaklığı azalır.

Bu sıcaklık değişimlerinin hesabında yükselen hava parseli ile ortam havası arasında -sınırlarda- bir ısı alışverişi olmadığı kabul edilmiştir (Termodinamiğin temel kanunları uygulanarak bu ısı alışverişinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu gösterilmiştir). Termodinamik bir sistemde adyabatik olarak hareket eden bir kuru hava paketi, kuru havanın adyabatik sıcaklık profili denilen teorik bir eğime uyacak şekilde sıcaklık kaybeder. Kuru havanın adyabatik sıcaklık düşme hızının değeri $0.98^{\circ}C/100$ m'dir. Bu durum ise hava sıcaklığının her 100 metrede yaklaşık olarak $1^{\circ}C$ azalacağını gösterir. Yükselen hava parselinin sıcaklığının yükseklik ile değişme hızına "adyabatik değişme hızı" adı verilir. Gerçekte hava sıcaklığının yükseklikle değişimi farklı hızlarda olabilir. Çünkü adyabatik koşulları varsaymak gerçeğe tam uygun olmadığı gibi, daha önemlisi yatay hava hareketleri de sıcaklıkları etkiler.

Sıcaklığın yükseklikle olan değişimi (gerçek değişme hızı), adyabatik değişme hızından büyükse buna "süper adyabatik" veya "adyabatik üstü" veya "yüksek değişme hızı" adı verilir. Bu durumda atmosfer yüksek oranda kararsızdır ve sıcaklığın yükseklikle değişimi >1 °C/100 m'dir. Gerçek (çevresel) değişme hızı ile adyabatik değişme hızı eşitse, atmosfer nötraldır. Gerçek değişme hızının adyabatik değişme hızından küçük, yani 1 °C/100 m'den küçük olması haline ise "adyabatik altı" veya "düşük değişme hızı" adı verilir. Adyabatik altı değişme hızının sınır değeri "inversiyon" adını alır. Bir atmosfer tabakası boyunca hava sıcaklığı sabitse, gerçek değişme hızı sıfırdır, bu durumda atmosfer tabakası izotermal olarak tanımlanır, ve atmosfer kararlıdır (Atlı 2002).

Nemli havada belli bir basınç düşmesine karşılık gelen sıcaklık düşmesi kuru hava için hesaplanandan daha az olur. Islak adyabatik sıcaklık profili eğrileri kuru adyabatik eğrilerden daha dik olur. Yani nem yükseklikle sıcaklık kaybını yavaşlatan bir etki yapmaktadır ve nemli atmosfer kuru atmosferden daha kararlı olacaktır (Müezzinoğlu 2000).

Gerçek sıcaklık değişme hızları ile kuru havanın adyabatik sıcaklık değişme hızı arasındaki ilişki Şekil 3.1'de görülmektedir (Peavy 1985).

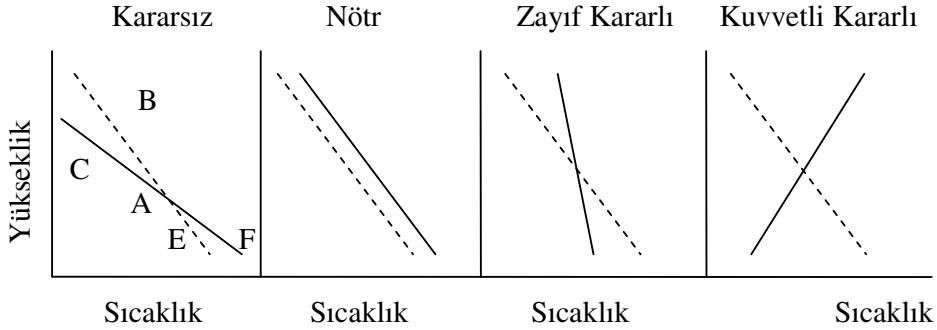


Şekil 3.1. Gerçek değişme hızları ile kuru adyabatik değişme hızı arasındaki ilişki

3.3. Atmosferik Kararlılık

Kirleticilerin atmosferde dağılımı havanın düşey karışımına bağlıdır. Kararlı bir atmosfer düşey karışımın olmadığı hava tabakalarının düşey doğrultuda hareket

edemediği dolayısıyla kirleticilerin yüzeye yakın kısımda biriktiği, dağılamadığı koşulları temsil eder. Kararlılık belli bir yerde yerel koşullar nedeniyle havanın yüksekliğe göre sıcaklık dağılımının adyabatik sıcaklık düşüm hızından farklılaşması sonucu ortaya çıkar. Buna göre çeşitli kararlılık durumları Şekil 3.2'in incelenmesi ile belirlenebilir.



Şekil 3.2. Kararlılık durumları

İlk şekilde A noktasındaki hava kütlesi herhangi bir nedenle örneğin türbülans etkisiyle yukarı doğru hareket ettiğinde sıcaklık değişimi adyabatik sıcaklık düşüm hızına uyar ve B noktasına geldiğinde (sıcaklığı çevre havasına göre daha az yoğunluğa sahip olacağından) yükselmeye devam eder. A noktasındaki hava yine bir etki ile E noktasına geldiğinde bu defa sıcaklığı daha düşük olduğundan alçalmaya devam eder, bu durum kararlı olmayan ve düşey karışımın desteklendiği koşulları temsil eder. Bu durumda çevresel sıcaklık düşüm hızı adyabatik sıcaklık düşüm hızından büyüktür. Bu koşullar daha önce de belirtildiği gibi adyabatik üstü (süper adyabatik düşüm hızı) olarak adlandırılır. İkinci halde çevre havası ve adyabatik sıcaklık düşüm hızı eşittir ve havanın düşey harekete ne olumlu ne de olumsuz etkisi olamaz. Eğer çevresel sıcaklık düşüm hızı, adyabatik sıcaklık düşüm hızından küçükse (üçüncü hal), düşey hareket engellenir. Adyabatik altı adı verilen bu durumda atmosfer kararlıdır.

3.4. İnversiyon

Eğer Şekil 3.2'de son durumda görüldüğü gibi gerçek sıcaklık profili, termodinamik nedenlerle yükseklikle azalması gerektiği halde gerçekte artıyorsa, buna inversiyon adı verilir. Bu durumda kararlılık çok yüksektir ve hava hareketsiz kalır. Kirleticilerin dağılımına imkan vermeyen ve hava kirlenmesi açısından son derece olumsuz koşulları getiren inversiyon oluşumunun iki türü vardır.

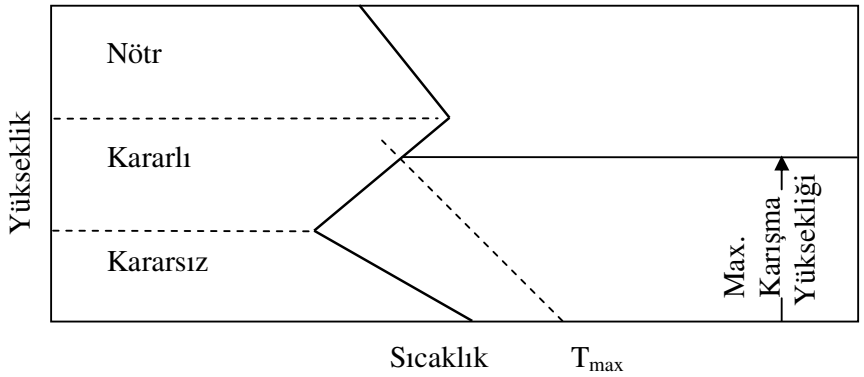
Radyasyon inversiyonu, yeryüzü ve üzerindeki havanın eşit olmayan soğuma hızlarından kaynaklanır. Bu tür inversiyon, sürtünme tabakasına kadar birkaç yüz metre etkili olabilir ve karakteristik olarak geceleri meydana gelir; ve doğan güneşin ışıkları ile kolayca kırılır. Radyasyon inversiyonu sisin oluşumunu destekler ve eşzamanlı olarak gazların ve partiküllerin yakalanarak yüksek kirletici konsantrasyonlarının oluşmasına yol açar.

Çökelme (subsidence) inversiyonu genellikle yüksek basınç sistemi ile ilişkili olup, yüksek basınç merkezleri çevresinde antisiklonların oluşturduğu bir inversiyondur. Yüksek basınç merkezi civarında çöken hava sıkışır ve ısınır. Bu ısınma sonucu aşağıdaki daha serin havanın üstünde sıcak hava tabakası oluşur. Bu tür inversiyon radyasyon inversiyonuna göre çok daha yüksek kısımlara kadar (1500 m'nin üzerindeki yükseklikler) etkili olur (Peavy 1985).

3.5. Maksimum Karışma Yüksekliği

Yere yakın hava tabakalarında karışım, rüzgar hızı ve inversiyon yüksekliğine bağlıdır. Güneşli bir yerde ısınan ve yükselen hava tabakası, sıcaklığı çevre havasının sıcaklığına eşit olunca durur. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi kuru havanın adyabatik düşüm hızı doğrusunun çevre sıcaklık düşüm hızı doğrusunu kestiği nokta bu düşey harekete imkan veren yüksekliği belirler. Bu yüksekliğin altında dağılım ve karışım olabileceğinden belirlenen yükseklik karışım yüksekliği olarak adlandırılır. Bu yükseklikteki karışım düzeyini belirlemek için bazen karışım derinliği ile ortalama rüzgar hızı çarpılarak bir katsayı bulunur. Bu katsayı ventilasyon katsayısı adını alır.

Gün boyunca rastlanan maksimum yer sıcaklığıyla, o güne ait sıcaklık profilinin kesiştiği seviye, o günkü maksimum karışma yüksekliğidir.



Şekil 3.3. Maksimum karışma yüksekliği (Atlı 2002)

3.6. Basınç Sistemleri

Atmosferde yörenin denize yakınlığına veya kıta içlerinde oluşuna bağlı olarak ısınma-soğuma biçimleri az çok değişir. Ek olarak hava kütleleri, yer kürenin kendi ekseni etrafında dönmesi nedeniyle savrulma ve çevrinti hareketleri yaparlar. Bu iki nedenden kaynaklanan kütlesel girdaplar, siklon ve antisiklon olarak adlandırılırlar.

Antisiklon veya yüksek basınç modülü, bulutsuz, durgun veya hafif rüzgarlı, kararlı havalara neden olur. Antisiklonun yerleştiği bir veya birkaç gün içinde kirleticilerin havaya salındıkları nokta civarında dağılıp uzaklaşma şansları yoktur. Antisiklonda düşey hava hareketi yukarıdan aşağıya doğru, yatay hava hareketi saat ibresi yönündedir. Siklon veya alçak basınç modülü ise değişik sıcaklık ve nemlilikte iki hava kütlesinin arasındaki cephe sistemi boyunca oluşur. Siklonda düşey hava hareketi yukarı doğru, yatay hava hareketi ise saat ibresinin tersi yönündedir. Siklonlar hava kirleticileri iyi dağıtan meteorolojik sistemlerdir.

3.7. Cephe Sistemi

Meteoroloji dilinde basınç ve dolayısıyla sıcaklıkları farklı olan hava kütleleri arasındaki limit cephe sistemi olarak adlandırılır. Cephe sistemi bir hava kütlesinin, sıcaklığına bağlı olarak sıcaklığı farklı yeni bir hava kütlesiyle yer değiştirmesine yol açar. Yeni gelen eskisinden daha sıcaksa sıcak cephe sistemi, sıcak bir hava soğuk bir hava kütlesi tarafından izlendiğinde ise soğuk cephe sistemi adı verilir (Müezzinoğlu 2000).

3.8. Dağılım Modelleri

Hava kirliliğinin önlenmesi konusunda yapılacak çalışmalar içerisinde en önemli adımlardan biri kirlenme olayının bir model içerisinde değerlendirilmesidir. Model, kavram olarak gerçek durumların ifade edilmesinin basitleştirilmiş bir şeklinden ibarettir. Modeller tahminleri ve bazen de deneysel olarak elde edilen sabitleri içerirler. Ancak bu suretle model tahminlerine dayanan değişik tipteki hava kirleticilerin davranışlarının kontrolü ve de hava kirliliğinin önlenmesi konusunda uygun kararların alınabilmesi mümkün hale gelebilecektir.

Modeller iki ayrı grupta değerlendirilmektedir. Bunlar, Fiziksel Modeller ve Matematiksel Modellerdir.

3.8.1. Fiziksel modeller

Fiziksel modeller hava kirliliği olayının rüzgar tüneli, su tankı gibi küçük ölçekte laboratuar ortamında temsilinin yapılabilmesine dayanır. Bu tür modeller olayın mekanizmasını aydınlığa kavuşturarak matematiksel modellerin geliştirilmesi için geçerli veri sağlayan sonuçlar verir.

3.8.2. Matematiksel modeller

Matematiksel modeller ise fiziksel modellerden farklı olarak problemin fiziksel ve kimyasal görünüşünü açıklayan bir dizi analitik ve nümerik algoritmalar içerir. Örneğin, hava kalitesini açıklayan bir model, atmosfere terk edilen kirletici miktarlarını çevre atmosferinde beklenen konsantrasyonlara bağlayan denklemlere dayalıdır. Bunlar çoğunlukla kütlenin korunumu, hareket eşitlikleri gibi matematiksel ifadeler içerirler.

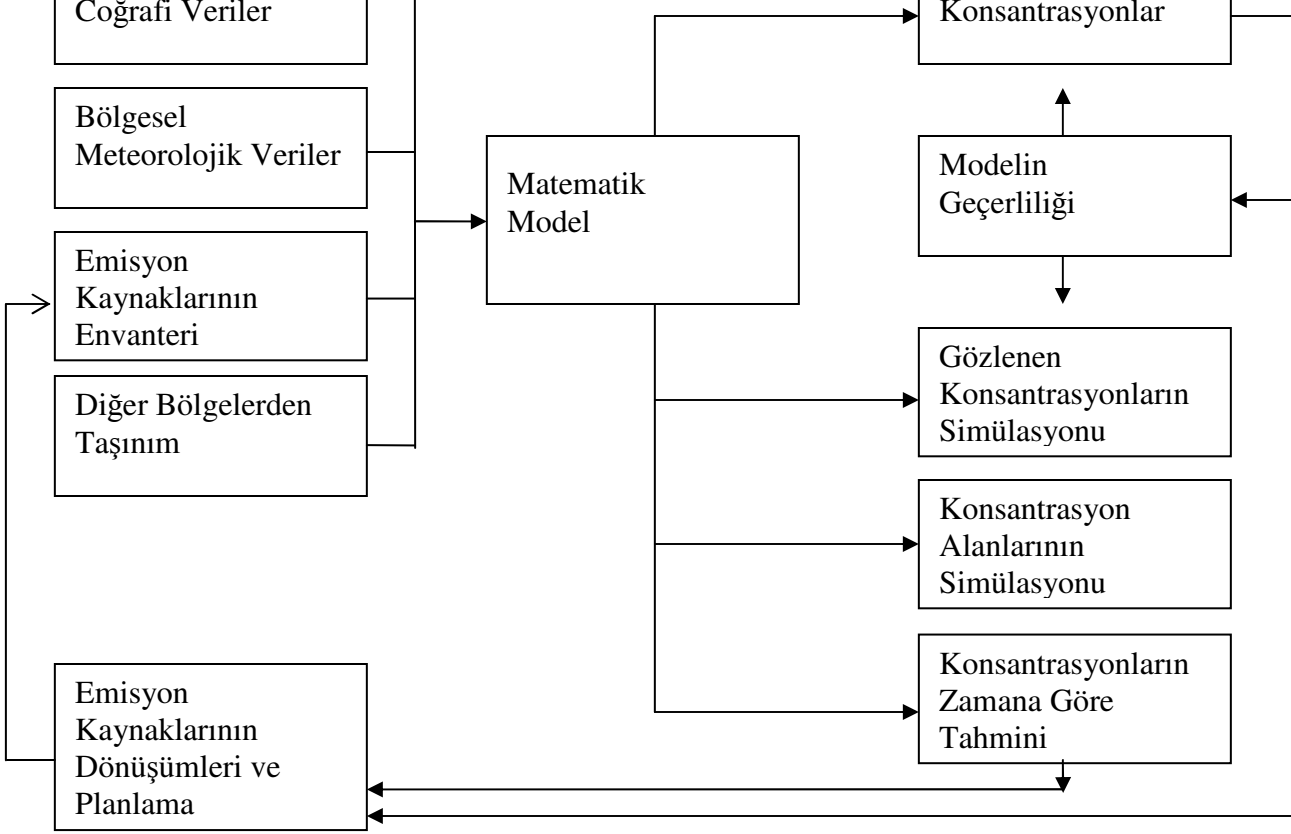
Ancak matematiksel modeller rüzgâr hızı veya sıcaklık alanındaki değişimleri tahmin edemezler. Bu nedenle rüzgâr ve sıcaklık bilgileri bu modellerde giriş verileri içerisinde yer alır. Böylece oluşan bir hava kalitesi modeli, endüstri ve yerleşim bölgelerinin hava kirliliği sorunlarının çözülmesi için gerekli kontrol seviyelerini değerlendirmek ve tanıtmak üzere kullanılır.

Günümüzde çevre hava kalitesi standartları yer seviyesi kirletici konsantrasyonlara dayandırılmıştır. Bununla beraber bir atmosferik dispersiyon modeli henüz kurulmamış ya da henüz modifiye olmamış kaynak ve potansiyel kirletici konsantrasyonlar arasında link görevi yapar. Bu durum model çıkışları ile standartlar arasında bir düzenleme ihtiyacını doğurur. Yerleşim bölgelerindeki hava kirliliğini içeren karmaşık atmosferik işlemleri simüle etmeye yarayan bu modellerde genellikle tek bir kirletici kullanılır. Böyle bir durumda kütlenin korunumu denklemi tek bir kirletici için uygulanır. Matematiksel modeller, yukarıda açıklandığı gibi atmosferik süreçlerin temel matematik ifadesine dayalı deterministik modeller olabildikleri gibi ölçme ve veri tabanı arasındaki istatistik ilişkilere dayalı da olabilirler. İstatistik modellere bir örnek olarak belirli bir bölgede birkaç saat sonrası için konsantrasyon seviyelerinin istatistiksel bir fonksiyonu gösterilebilir. Genelde birkaç yıllık verilere dayanmakta olan istatistik modeller kirlilik konsantrasyonu ile emisyon arasındaki ilişkiyi oldukça ayrıntılı bir şekilde ampirik bağıntılarla verirler. Böyle bir model kullanılarak emisyon şiddeti, dispersiyon miktarı ve atmosferik parametreler değerlendirilerek konsantrasyon alanına ulaşılabilir. Ayrıca bu modeller birbirinden farklı kaynakların hava kirlenmesi olayındaki rollerini açıklayabilmeleri bakımından da diğer modellere nazaran üstünlük gösterirler.

Bir hava kirliliği probleminin modellemesini bir sistem ile de açıklamak mümkündür. Model için gerçekleşmesi gereken bu sistem çeşitli adımlar içerir. Bunlar Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Modelin giriş büyüklükleri; bölgesel coğrafi veriler, bölgesel meteorolojik veriler, emisyon kaynaklarının envanteri ve diğer bölgelerden taşınımıdır. Model bu giriş bilgilerini kullanarak gözlenen konsantrasyonların ve konsantrasyon alanlarının simülasyonunu, konsantrasyonların zamana göre tahminini yapar. Gözlenen ve tahmin edilen konsantrasyonların istatistiği ve modelin geçerliği sağlandıktan sonra emisyon kaynaklarının planlaması yapılır. Bu suretle de emisyon kaynaklarına müdahale şekli ortaya çıkarılabilir (İncecik 1994).

Dağılım modelleri bir kirletici kaynağın çevrede meydana getirebileceği etkilerin belirlenmesi, yerde oluşacak kirletici konsantrasyonların hesabı ve bu verilerden hareketle kaynaklara getirilecek kısıtlamalar; örneğin baca yüksekliklerinin belirlenmesi, emisyon standartlarının ve arıtma sistemlerinin şekillendirilmesi, bir bölge veya kentte emisyon kısıtlamalarının planlanması, acil durum planlarının yapılması gibi hava kirlenmesi kontrolündeki bütün temel uygulamalara esas teşkil eder. Bu nedenle dağılım modellemesi büyük önem taşımaktadır. Diğer taraftan modelleme atmosferik taşınım olaylarının son derece karmaşık olması, pek çok sabit ve katsayının tayinindeki güçlükler, kalibrasyon ve verifikasyonda ortaya çıkan sorunlar nedeniyle önemli güçlükler göstermektedir. Bu nedenle genel bir model elde edilmesi mümkün olmaz. Buna karşın temel model yaklaşımlarının uygulama yapılacak kaynak ve bölgenin özelliklerine bağlı olarak çeşitli kabul ve basitleştirmelerle ele alınması yaygındır.

Modellemede çoğunlukla gaz kirleticiler esas alınmaktadır. Ancak partiküler maddelerin 20 μ'dan küçük boyutlu olanlarının çökelme hızı çok yavaş olduğu için genellikle bunların gaz gibi davrandıkları kabul edilir. Modellemede reaksiyonlar da ele alınabilmekle birlikte bunlar çözümleri çok karmaşık hale getirdiklerinden çoğunlukla kirleticilerin kısa sürede reaksiyona girmediği kabul edilmektedir.



Şekil 3.4. Bir hava kirliliği probleminin modellenebilmesi için gerekli sistem

Hava kalitesi birçok ülkeyi ilgilendiren bir sorundur. Yeni emisyon kaynaklarının ortaya çıkmasıyla, bu emisyonlardan kaynaklanan konsantrasyon değişikliklerinin matematik modellemesine ihtiyaç duyulur. Kirleticilerin zemin seviyesindeki konsantrasyonunu tahmin etmek için en basit yaklaşım olarak nokta kaynak yayılma modeli kullanılır (100 m'den 10 km'ye kadar). Noktasal olmayan kaynakların denetlenmesini sağlayan daha karışık modeller de mevcuttur. Yani noktasal ve noktasal olmayan kaynaklar içeren alanlar için alandaki bütün kaynakları içeren bir hava kalite modeli kurulabilir. Pratikte böyle modeller gerekli dataların maliyetinin yüksek olmasından ötürü nadiren kullanılır (Atlı 2002).

Geçmişte dağılım modelleri, sadece gelişmiş ülkelerde hava kirliliğinin ciddi bir problem olarak bilindiği yerlerde kullanılırdı. Günümüzde dağılım modellemesi, şehir ve kırsal alanlar olmak üzere hava kirlenmesinin olduğu her yerde emisyon değerlerinin tahmin edilmesine yardımcı olması için kullanılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda kirlenme problemlerinin artışı, hava kalite standartlarının daha önemli olması ve çevreye verilen önemin artmasıyla dağılım modellerinin daha geniş çapta kullanılması beklenmektedir.

4. KONYA'DA HAVA KİRLİLİĞİNİ OLUŞTURAN SEBEPLER

Konya il merkezindeki hava kirliliğinin nedenleri arasında; kötü ve niteliksiz yakıt kullanımı, çarpık kentleşme ve sanayileşme, motorlu araç sayısındaki hızlı artış ve yeşil alan dağılımındaki önemli azalışlar gibi yatay faktörlerin yanında yörenin coğrafik ve topografik konumu ile klimatolojik özellikleri gibi doğal etkenler de yer almaktadır (Gür ve ark. 1995).

Konya'da hava kirliliğini oluşturan faktörler 5 ana başlık altında toplanabilir;

1) Endüstri tesislerinden kaynaklanan hava kirliliği,
2) Atmosferik özelliklerden kaynaklanan hava kirliliği,
3) Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği,
4) Trafikten kaynaklanan hava kirliliği,
5) Diğerleri.

4.1. Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği

Konya'nın coğrafik yapısına bağlı olarak öncelikle taşımaya dayalı sanayi, tarım alet makinaları sanayi kolu gelişme göstermiş daha sonra planlı sanayileşme dönemine girilmiş ve gelişen teknoloji takip edilerek otomotiv yan sanayi, dokuma makina yedek parça, metal ana sanayi, gıda, plastik, un ve unlu mamüller, şekere bağlı sanayi, tuğla, çimento, kiremit sanayi kollarında üretim yapılmaktadır.

Konya'da küçük sanayi siteleri toplamı 4844 adet olup 1. Organize Sanayi Bölgesinde 71 adet fabrika vardır. 2. Organize Sanayi Bölgesinde ise 245 adet fabrika vardır (Ceyhan ve ark. 1995).

Konya kenti Türkiye'de önemli sanayi merkezlerinden biri haline gelmiştir. Bu sanayi ve iş kollarının üretim sırasında harcadıkları yakıt ve enerji sebebiyle atmosfer havası önemli ölçüde kirlenmektedir. Kentte plansız sanayileşmeden doğan hava kirliliği esas olarak, topografik ve meteorolojik şartlara göre sanayi merkezleri için yanlış yer seçimi, düzensiz parselasyon, fabrika ve benzeri sanayi merkezlerinin bacalarından çıkan zehirli gazların yeterli teknik tedbir olmadan havaya bırakılması gibi uygulamalar sonucu meydana gelmektedir (Çınar ve Koçu 1999).

Konya'da sanayi tesisleri şehrin kuzeyine kurulmuştur. Kentteki hakim rüzgarların Kuzey-Güney istikametinde olması sanayi kuruluşlarından kaynaklanan emisyonların kent merkezine gelmesine ve hava kirliliğinin yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Ayrıca, sanayi bölgelerinde fabrika, tesis ve işletmelerin kaliteli yakıt kullanmamaları, küçük sanayi bölgelerinde yanık yağ, eski lastik, kırpıntı, küllük vs. gibi artık ve atıkların yakılması hava kirliliğine neden olmaktadır (Anonim 2003).

4.2. Atmosferik Özelliklerden Kaynaklanan Hava Kirliliği

Bu konuya ayrıntılı olarak "Materyal ve Metot" başlığını taşıyan 7. bölümün "Bölgenin tanıtılması" başlığını taşıyan 7.1. alt bölümünde yer verilmiştir.

4.3. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği

Isınmadan kaynaklanan kirliliğin ana nedeni düşük kaliteli yakıt kullanımı ve yanlış yakma usullerinin uygulanması ile kullanılan kalorifer kazanı ve sobaların standartlara uygun olmayışıdır. Zamanında bakımı ve temizliği yapılmayan kazanlar ile bacaların hava kirliliği oluşumu açısından etkisi büyüktür (Ceyhan ve ark. 1995).

Konya il merkezinde, konut ve işyerlerinin ısıtılmasında yakıt olarak; ithal kömür, paçal kömür, özel kalorifer yakıtı, odun ve bir miktar da motorin kullanılmaktadır. Düşük kaliteli yakıt kullanımından kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi için 1992 yılından buyana İl Mahalli Çevre Kurulu tarafından hazırlanan Temiz Hava Planlarıyla katı ve sıvı yakıtların şehre girişi, depolanması, satışı ve kullanılması düzenlenerek kontrol altına alınmıştır (Anonim 2003).

4.4. Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliği

Konya dahil tüm kentlerde modernleşme arttıkça, modern kentleşmenin yarattığı hava kirliliği içerisinde trafik araçlarının neden olduğu hava kirliliği daha da büyük önem taşımaktadır. Kent içinde kullanılan motorlu araç sayısındaki hızlı artış

ve bu araçların egzozlarından atmosfere bırakılan zehirli gaz miktarlarındaki artış önemli yer tutmaktadır. Söz konusu egzoz gazlarının toplam hava kirliliğindeki payı önemsenecek boyutlardadır (Çınar ve Koçu 1999).

Özellikle büyük şehirlerde mevsim koşullarına bağımlı olmadan hava kirliliğinin süreklilik göstermesinin temel nedenlerinin başında motorlu taşıt egzoz gazlarının oluşturduğu emisyonlar gelmektedir. Motorlu taşıtlarından kaynaklanan emisyonlar hava kirliliğinde önemli yer tutmaktadır. Egzozlardan yayılan CO, NO, hidrokarbonlar ve kurşun emisyonları, hava kirliliğinin % 40'ını oluşturmaktadır (Anonim 2003).

Çevre Bakanlığının 22.10.1992 tarih ve 21388 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Motorlu Taşıt Egzoz Gazlarının Yol Açtığı Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Tebliğ" doğrultusunda Konya'da egzoz gazlarının yol açtığı kirlenmenin önlenmesi amacıyla 01.01.1994 tarihinden itibaren egzoz gazı emisyon ölçümleri yapılmaktadır (Ceyhan ve ark. 1995).

4.5. Diğerleri

Kirliliğin az veya çok oranda olması veya kısa ya da uzun süreli devam etmesine sebep olan faktörler ise;

4.5.1. Nüfus artışı ve plansız kentleşme

Konya kenti coğrafi konumu, verimli toprakları ve tarihten gelen kültür birikimi ile Türkiye'nin önemli tarım, sanayi, ticaret ve kültür merkezlerinden biridir. 1950 yılından sonra Konya'da fabrikaların kurulması, tarımın makinalaştırılarak üretimin artırılması, ilin karayolları şebekesine bağlanması, sanayinin gelişmesi bunun sonucu olarak da kırsal kesimden şehre göçün başlaması ve özellikle Konya iline göçlerin yoğunluk kazanması; il nüfusunun hızla artmasına neden olmuştur. Buna rağmen Konya ili gecekondusu olmayan nadir illerden biridir. Ulaşım, altyapı ve sosyal hizmet standardı göz önüne alınırsa kentte imarsız gelişme düzeni söz konusu değildir. Ancak kentin gelişmesinde mevcut çevresel etkiler göz önüne

alınmamıştır. Kentin jeolojik ve jeomorfolojik yapısı nedeniyle özellikle kış aylarında hava kirliliği büyük boyutlara ulaşmaktadır. Özellikle sanayi bölgelerinin kentin kuzey bölgelerinde kurulmuş olması hava kirliliğine büyük etkendir (Anonim 2003)

4.5.2. Yeşil alanların azalması

Konya kentinde her yıl nüfus yoğunluğundaki artışın beraberinde getirdiği plansız yapılaşma, kent içerisindeki kirli havayı temizlemede filtre görevi yaparak havanın temizlenmesini sağlayan yani hava kirliliğini azaltan yeşil alanların daralmasına ve hatta yer yer ortadan kalkmasına yol açmaktadır. Konya şehrinin yanlış alanlara doğru genişlemesi ve yeşil alanların tahrip edilerek imara açılması hava kirliliğini artıran faktörlerdendir (Çınar ve Koçu 1999).

İldeki ormanlık alan oranı % 13 (549,000 hektar) olup, bu oran Türkiye ortalamasının (% 26) yalnızca yarısı kadardır (Ceyhan ve ark. 1995).

5. YAPAY SİNİR AĞLARI

5.1. YSA'nın Tanımı ve Tarihçesi

YSA, insan vücudundaki sinirlerin çalışmasını taklit ederek sistemlere öğrenme, genelleme yapma, hatırlama gibi yetenekler kazandırmayı amaçlayan bilgi işleme sistemidir. İnsan beyninin ve düşünme yeteneğinin taklit edilmesi isteği sanıldığının aksine çok eski zamanlarda var olmuş bir istektir. İnsan beyni ve düşünebilme yeteneğine ilişkin ilk açıklayıcı teori geliştirme denemeleri Antik Yunan düşünürleri olan Plato (İ.Ö. 427-327) ve Aristoteles'e (İ.Ö. 384-322) kadar uzanmaktadır. Daha sonraları Descartes (1596-1650) insanın düşünme yeteneğiyle ilgilenen 18. yüzyıl düşünürü olmuştur. Beyinin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, Yapay Sinir Ağları denen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. Genel anlamda YSA, beynin bir işlevini yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir.

Bir YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasında oluşur. YSA'lar öğrenme algoritmaları ile öğrenme sürecinden geçtikten sonra, bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip olurlar. YSA'ları yapılarına göre farklı öğrenme yaklaşımları kullanırlar.

Yapay sinir ağlarının dayandığı ilk hesaplama modelinin temelleri 1940'ların başında araştırmalarına başlayan McCulloch ve. Pitts'in, 1943 yılında yayınladıkları bir makaleyle atılmış olmuştur. Daha sonra 1954 yılında Farley ve Clark tarafından bir ağ içerisinde uyarılara tepki veren, uyarılara adapte olabilen model oluşturulmuştur. 1960 yılı ise ilk neural bilgisayarın ortaya çıkış yılıdır. 1963 yılında basit modellerin ilk eksiklikleri fark edilmiş, ancak başarılı sonuçların alınması 1970 ve 1980'lerde termodinamikteki teorik yapıların doğrusal olmayan ağların

geliştirilmesinde kullanılmasına kadar gecikmiştir. 1985 yapay sinir ağlarının oldukça tanındığı, yoğun araştırmaların başladığı yıl olmuştur (Pankaj ve Wah 1992)

5.2 Literatürdeki YSA Tanımları

Yapay sinir ağının genel bir tanımı yapılması gerekirse, Yapay Sinir Ağı, insan beyninin çalışma ve düşünebilme yeteneğinden yola çıkılarak oluşturulmuş bir bilgi işlem teknolojisidir. Yapay sinir ağının işleyiş özelliklerine dayanan ikinci tür tanımı ise ilk ticari yapay sinir ağının geliştiricisi olan Dr. Robert HECHT-NIELSEN'e ait bir tanımdır: "Yapay sinir ağı dışarıdan gelen girdilere dinamik olarak yanıt oluşturma yoluyla bilgi işleyen, birbiriyle bağlantılı basit elemanlardan oluşan bilgi işlem sistemidir (Caudıll 1987).

Bu tanıma yakın bir tanımda yapay sinir ağı yazınında çok tanınan Teuvo KOHONEN'e ait bir tanımdır :" Yapay sinir ağları paralel olarak bağlantılı ve çok sayıdaki basit elemanın, gerçek dünyanın nesneleriyle biyolojik sinir sisteminin benzeri yolla etkileşim kuran olan, hiyerarşik bir organizasyonudur.

5.3 YSA'nın Uygulama Alanları

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. Yapay sinir ağları aşağıdaki özellikleri gösteren alanlarda kullanıma uygun bir araçtır:

- Çok değişkenli problem uzayı,
- Probleme ilişkin değişkenler arasında karmaşık etkileşim,
- Çözüm uzayının bulunmaması, tek bir çözümün olması veya çok sayıda çözüm bulunması.

YSA'lar insan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde aşağıdaki konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. (Öztemel 2003)

- Öğrenme
- İlişkilendirme
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Tahmin
- Özellik Belirleme
- Optimizasyon

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

Bir sistemin, cihazın yada elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir YSA yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır. Bu amaçla YSA; elektrik makinelerinin, uçakların yada bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır.

Tıp Alanında

EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, beyni ve diğer sistemleri daha iyi anlama, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu, retina ve korneayı modelleme, v.s gibi uygulama yeri bulmuştur.

Savunma Sanayi

Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesneleri/görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme v.s gibi alanlara uygulanmıştır.

Haberleşme

Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi v.s gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır.

Üretim

Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak v.s.) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi v.s. alanlarına uygulanmıştır.

Otomasyon ve Kontrol

Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü v.s. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur.

5.4 YSA'nın Üstünlükleri

Yapay sinir ağları modelleri, biyolojik sinir ağlarının çalışma biçimlerinden esinlenerek ortaya çıkarılmıştır. Yapay sinir ağları, biyolojik olmayan yapı taşlarının düzgün bir tasarımla birbirlerine yoğun olarak bağlanmalarından oluşmaktadırlar. Sinir sisteminin modellenmesi için yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin üstünlüklerine de sahiptir. Bu üstünlükleri şu şekillerde özetleyebilmek mümkündür(Öztemel 2003).

Yapay sinir ağı özellikle doğrusal olmayan sistemlerde öngörüler açısından istatistik tekniklere göre daha kolaylık sağlayan bir özelliğe sahiptir. Bundan dolayı başta işletmecilik ve finans olmak üzere bir çok değişik alanlarda kullanım imkanı bulur.

Doğrusal Olmama: YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA'da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

Paralellik: Alışılmış bilgi işlem yöntemlerinin çoğu seri işlemlerden oluşmaktadır. Bu da hız ve güvenilirlik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Seri bir işlem gerçeklenirken herhangi bir birimin yavaş oluşu tüm sistemi doğruca yavaşlatırken, paralel bir sistemde yavaş bir birimin etkisi çok azdır. Nitekim seri bir bilgisayarın bir işlem elemanı beyine göre binlerce kez daha hızlı işlemesine rağmen, beynin toplam işlem hızı seri çalışan bir bilgisayara göre kıyaslanamayacak kadar yüksektir.

Gerçeklenme Kolaylığı: Yapay sinir ağlarında basit işlemler gerçekleyen türden hücrelerden oluşması ve bağlantıların düzgün olması, ağların gerçeklenmesi ki açısından büyük kolaylık olmasını sağlamaktadır.

Yerel Bilgi İşleme: Yapay sinir ağlarında her bir işlem birimi, çözülecek problemin tümü ile ilgilenmek yerine, sadece problemin gerekli parçası ile ilgilenmektedir ve problemin bir parçası işlemektedir.Hücrelerin çok basit işlem yapmalarına rağmen, sağlanan görev paylaşımı sayesinde, çok karmaşık problemler çözülebilmektedir.

Hata Toleransı: Sayısal bir bilgisayarda, herhangi bir işlem elemanını yerinden almak, onu etkisiz bir makineye dönüştürmektedir. Ancak yapay sinir ağlarında bir elemanda meydana gelebilecek hasar çok büyük önem teşkil etmez.

Yapay sinir ağlarının paralel çalışması hız avantajı ile birlikte yüksek hata sağlamaktadır.

Seri bilgi işlem yapan bir sistemde herhangi bir birimin hatalı çalışması,hatta bozulmuş olması tüm sistemin hatalı çalışmasına veya bozulmasına sebep olacaktır.Paralel bilgi işleme yapan bir sistemde ise,sistemin ayrı ayrı işlem elemanlarında meydana gelecek olan hatalı çalışma veya hasar,sistemin performansında keskin bir düşüşe yol açmadan, performansın sadece hata birimlerinin bir oranınca düşmesine sebep olur. YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

Öğrenebilirlik: Alışılagelmiş veri işleme yöntemlerinin çoğu programlama yolu ile hesaplamaya dayanmaktadır.Bu yöntemler ile, tam tanımlı olmayan bu problemin çözümü yapılamaz. Bunun yanında , herhangi bir problemin çözümü için probleme yönelik bir algoritmanın geliştirilmesi gerekmektedir.Yapay sinir ağları problemleri verilen örneklerle çözer.Çözülecek problemler için yapı aynıdır. YSA' nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. YSA' nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez yada tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemden aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

Genelleme: YSA, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir yada bir sistemin eğitilmiş YSA modeli, eğitim sürecinde verilmeyen giriş sinyalleri için de sistemle aynı davranışı gösterebilir.

Uyarlanabilirlik: YSA, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır.

Donanım ve Hız: YSA, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçeklenebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

Analiz ve Tasarım Kolaylığı: YSA' nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, YSA'nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA'ları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir.

5.5 YSA Nasıl Çalışır ?

Sinir ağı ile hesaplamalarda istenilen dönüşüm için, adım adım yürütülen bir yöntem gerekmez. Sinir ağı ilişkilendirmeyi yapan iç kuralları kendi üretir ve bu kuralları, bunların sonuçlarını örneklerle karşılaştırarak düzenler. Deneme ve yanılma ile, ağ kendi kendine işi nasıl yapması gerektiğini öğretir. YSA'larda bilgi saklama, verilen eğitim özelliğini kullanarak eğitim örnekleri ile yapılır. Sinirsel hesaplama, algoritmik programlamaya bir seçenek oluşturan, temel olarak yeni ve farklı bir bilgi işleme olayıdır. Uygulama imkanının olduğu her yerde, tamamen yeni bilgi işleme yetenekleri geliştirebilir. Bu sayede de geliştirme harcamaları ile geliştirme süresi büyük ölçüde azalır. Bir yapay sinir ağı girdi setindeki değişiklikleri değerlendirerek öğrenir ve buna bir çıktı üretir. Öğrenme işlemi benzer girdi setleri için aynı çıktıyı üretecek bir öğrenme algoritması ile gerçekleşir. Öğrenme setindeki girdilerin istatistiksel özelliklerinin çıkarılarak benzer girdilerin gruplandırılmasını sağlayan bir işlemdir.(Dengiz 2000)

Sinir yapılarına benzetilerek bulunan ağların eğitimi de, normal bir canlının eğitimine benzemektedir. Sınıfların birbirinden ayrılması işlemi (dolayısıyla kendini geliştirmesi), öğrenme algoritması tarafından örnek kümeden alınan bilginin adım adım işlenmesi ile gerçeklenir. YSA kullanılarak makinelere öğrenme genelleme yapma, sınıflandırma, tahmin yapma ve algılama gibi yetenekler kazandırılmıştır.

5.6 YSA'nın Eğitimi ve Testi

Geleneksel bilgisayar uygulamalarının geliştirilmesinde karşılaşılan durum, bilgisayarın belli bilgisayar dilleri aracılığıyla ve kesin yazım algoritmalarına uygun ifadelerle programlanmasıdır. Bu oldukça zaman alan, uyumluluk konusunda zayıf, teknik personel gerektiren, çoğu zaman pahalı olan bir süreçtir. Oysa biyolojik temele dayalı yapay zeka teknolojilerinden biri olan yapay sinir ağlarının geliştirilmesinde programlama, yerini büyük ölçüde "eğitime" bırakmaktadır. Proses elemanlarının bağlantı ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine "ağın eğitilmesi" denir(Öztemel 2003).

Yapay sinir ağının eğitilmesinde kullanılan girdi ve çıktı dizileri çiftinden oluşan verilerin tümüne "eğitim seti" adı verilir. Yapay sinir ağı öğrenme sürecinde, gerçek hayattaki problem alanına ilişkin veri ve sonuçlardan, bir başka deyişle örneklerden yararlanır. Gerçek hayattaki problem alanına ilişkin değişkenler yapay sinir ağının girdi dizisini, bu değişkenlerle elde edilmiş gerçek hayata ilişkin sonuçlar ise yapay sinir ağının ulaşması gereken hedef çıktıların dizisini oluşturur.

Öğrenme süresinde, seçilen öğrenme yaklaşıma göre ağırlıklar değiştirilir. Ağırlık değişimi, öğrenmeyi ifade eder. YSA'da ağırlık değişimi yoksa, öğrenme işlemi de durmuştur. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rastgele atanır. YSA'lar kendilerine örnekler gösterildikçe, bu ağırlık değerlerini değiştirirler. Amaç, ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır.

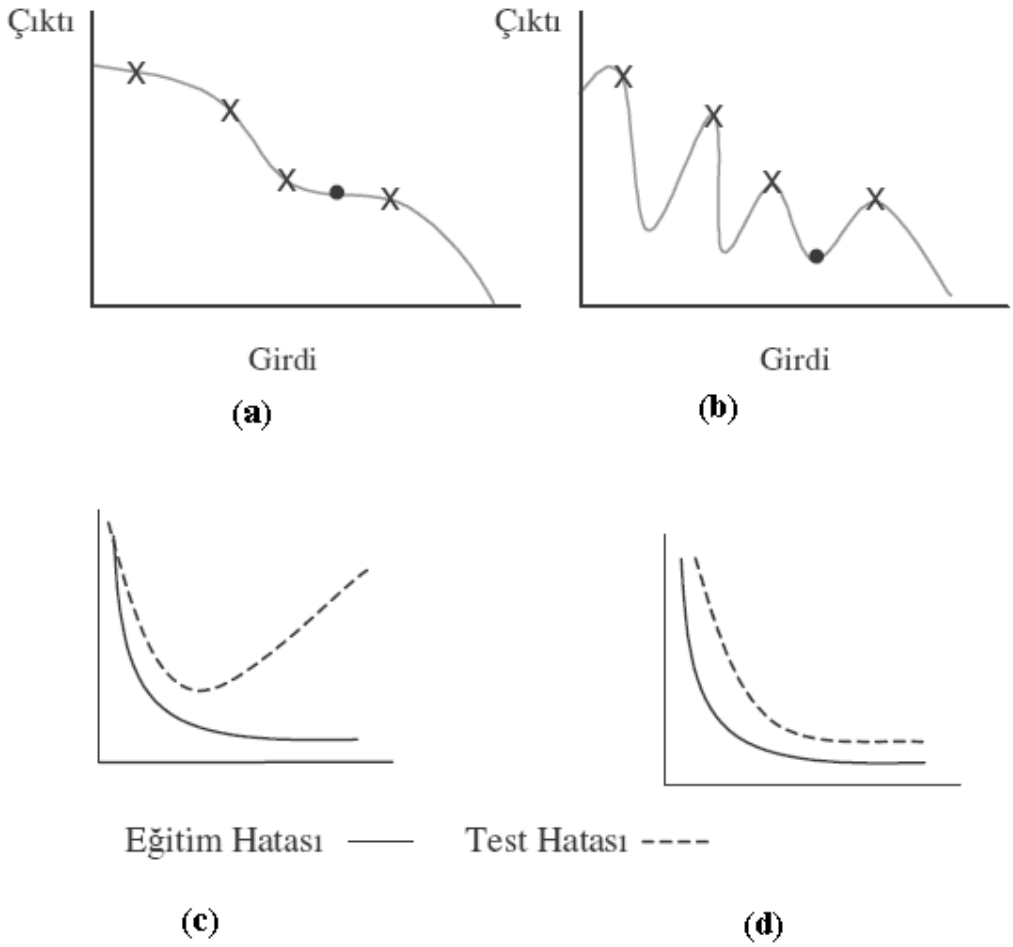
Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında, genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine, "ağın öğrenmesi" denir.

Yapay sinir ağının öğrenme sürecinde temel olarak üç adım bulunmaktadır.

- Çıktıları hesaplamak,
- Çıktıları hedef çıktılarla karşılaştırmak ve hatayı hesaplanmak,
- Ağırlıkları değiştirerek süreci tekrarlamak.

Eğitim süreci sonucunda yapay sinir ağında hesaplanan hatanın kabul edilebilir bir hata oranına inmesi beklenir. Ancak hata kareleri ortalamasının düşmesi her zaman için yapay sinir ağının genellemeye (generalization) ulaştığını göstermez. Yapay sinir ağının gerçek amacı girdi-çıktı örnekleri için genellemeye ulaşmaktadır.

Genelleme, yapay sinir ağının eğitimde kullanılmamış ancak aynı evrenden gelen girdi-çıktı örneklerini ağın doğru bir şekilde sınıflandırabilme yeteneğidir. İstatistiksel açıdan genelleme bir uygun eğrinin bulunması (curve-fitting) veya doğrusal olmayan ara değer atama işi (interpolation) olarak görülebilir. Şekil 5.1-a 'da genellemenin nasıl gerçekleştiği görülmektedir. Şekilde (x) ile görülen noktalar eğitim verileridir. Bunların arasında kalan eğri ise ağ tarafından oluşturulmaktadır. Bu eğri üzerindeki farklı bir girdi değeri için üretilen doğru çıktı değeri, ağın iyi bir genelleme yaptığını gösterir. Ancak ağ gereğinden fazla girdi-çıktı ilişkisini öğrendiğinde, ağ verileri "ezberlemektedir" (memorization). Bu durum genellikle gereğinden fazla gizli katman kullanıldığında verilerin synaptic bağlantılar üzerinde saklanmasından veya gereğinden fazla veri kullanılarak eğitilmesinden (overtraining) kaynaklanmaktadır. Ezberleme, genellemenin iyi gerçekleşmediğini ve girdi-çıktı eğrisinin düzgün olmadığını gösterir (Şekil 5.1-b). Verilerin ezberlenmiş olması yapay sinir ağı için istenmeyen bir durum olup, verileri ezberleyen ağa ait eğitim hatası oldukça düşme, test verilerinde ise hata artma eğilimi gösterir. Bundan dolayı bir çok yapay sinir ağı yazılımı ağın eğitim ve test verilerine ait hataları grafik olarak göstermektedir. Verileri ezberleyen ağ gerçek hayattaki örüntüyü iyi temsil edemeyeceği için kullanılamaz. Şekil 5.1-c 'da ağ verileri ezberlediği için eğitim hatası azalma, test hatası ise artma eğilimi göstermektedir. Şekil 5.1.d 'de ise ağ kabul edilebilir bir genellemeye ulaşmıştır.



Şekil 5.1. :Yapay sinir ağlarında basamaklar (a, Genelleme; b, Ezberleme; c, İyi Genellemeye Ulaşan; d, Ağlardaki Hata Eğrileri)

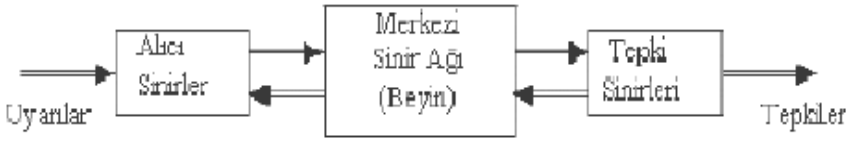
En uygun öğrenme seviyesi, öğrenme fonksiyonunun önceden amaçlanan bir değere ulaşması ile sağlanamayabilir. Uygulamalarda eğitim süreci boyunca performans fonksiyonunun izlenmesi ile birlikte sık sık genelleme testlerinin gerçekleştirilmesi yolu ile en uygun öğrenme seviyesi elde edilebilir. Eğer en uygun öğrenme seviyesine, performans fonksiyonunun öngörülerinden önce ulaşılmış ise eğitim süresi daha erken dönemlerde de sona erdirilebilir. YSA sistemlerinin problemi öğrenme başarısı, gerçekleştirilen testlerle sınanmalıdır. Yapay sinir ağı geliştirme sürecinde veriler ikiye ayrılır; bir bölümü ağın eğitilmesi için kullanılır ve eğitim seti adını alır, diğer bölümü ise ağın eğitim verileri dışındaki performansını ölçmede kullanılır ve "test seti" olarak adlandırılır. Eğitim ve test setleriyle ilgili

temel sorun, yeterli eğitim ve test verisinin miktarının ne olduğudur. Sınırsız sayıda verinin bulunabildiği durumlarda, yapay sinir ağı mümkün olan en çok veriyle eğitilmelidir. Eğitim verisinin yeterli olup olmadığı konusunda emin olmanın yolu; eğitim verisinin miktarının arttırılmasının, ağın performansında bir değişiklik yaratmadığını takip etmektir. Ancak bunun mümkün olmadığı durumlarda yapay sinir ağının eğitim ve test verileri üzerindeki performansının yakın olması da verilerin sayıca yeterli olduğuna ilişkin bir gösterge olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte eğitim setinin içermesi gereken veri miktarı değişik yapay sinir ağı modellerine göre ve özellikle problemin gösterdiği karmaşıklığa göre farklılık gösterebilmektedir.

Test işlemi için, eğitim setinde kullanılmayan verilerden oluşan test seti kullanılır. Test setindeki girdiler YSA modeline verilir ve YSA'nın çıktı değeri ile istenilen çıktı değeri karşılaştırılır. Amaç, YSA modelinin yeterli bir genelleme yapıp yapamadığını görmektir. Eğitim ve test aşamalarında istenilen başarı elde edilirse YSA modeli kullanılabilir. (Train and test) ile çapraz geçerlilik (cross validation) setinin %25 ile %90 arasında değişen miktarı eğitim seti olarak seçilir. Geri kalan kısım ise test seti olarak ayrılır. Çapraz geçerlilik tekniğinde ise, YSA'nın eğitilmesinde ve test edilmesinde tüm veri seti kullanılır. Bu yaklaşımda, tüm veri seti k adet örtüşmeyen kümeye ayrılır ve k farklı YSA elde edilir. Her YSA'nın testinde farklı bir küme kullanılmak üzere, eğitim işlemi geri kalan k-1 adet küme ile gerçekleştirilir. Uygulama kullanılacak YSA ise, tüm veri seti kullanılarak eğitilir. Bu YSA'nın performansı, k farklı YSA'nın test sonuçlarının ortalaması ile ölçülür(Dengiz 2000).

5.7 Biyolojik Sinir Sistemi

Biyolojik sinir sistemi, merkezde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Bunlar; çevreden gelen girdileri elektriksel sinyallere dönüştürerek beyine ileten Alıcı Sinirler (Receptor), beynin ürettiği elektriksel sinyalleri çıktı olarak uygun tepkilere dönüştüren Tepki Sinirleri ile alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yaparak uygun tepkiler üreten Merkezi Sinir Ağı (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Merkezi sinir ağı yapısı

5.8 Sinir Hücresi (Nöron)

Sinir Hücreleri, sinir sisteminin temel işlem elemanıdır. Birbiriyle bağlantılı iki nöronun akson, dentrit, sinapse ve soma olma üzere dört önemli bölümü bulunmaktadır.

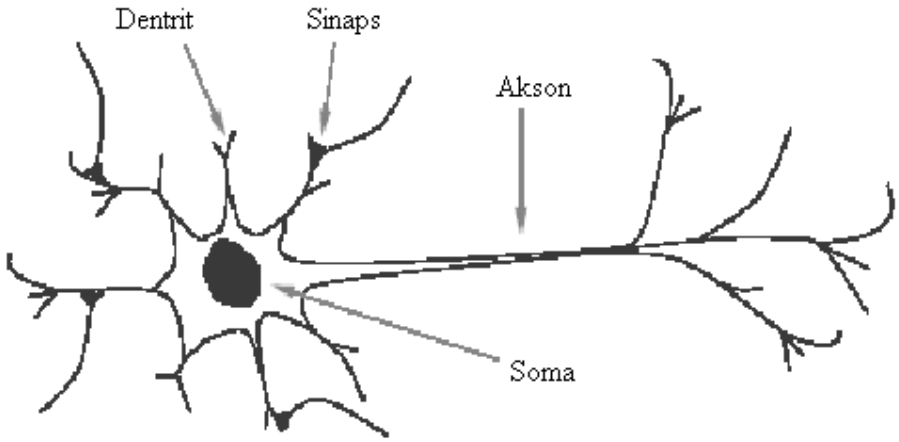
- Dentritler
- Hücre Gövdesi (Soma)
- Akonlar
- Sinaps

Dentritler : Nöronun ağaç köküne benzeyen, görevi hücreye girdilerin sağlanması olan uzantılardır.

Hücre Gövdesi (Soma) : Bir nöronun gövdesine soma adı verilir. Soma nucleus adı verilen hücre çekirdeğini içermektedir. Hücrenin yaşamasını sağlayan işlevleri görür. Sinapslar aracılığıyla dentritlere geçirilen iletiler birleşerek akson üzerinde elektriksel bir çıktı oluştururlar. Bu çıktının olup olmayacağı veya çıktının elektriksel olarak yoğunluğu, sinapsların etkileri sonucu hücreye gelen tüm girdilerin, toplam değeri tarafından belirlenmektedir. Somaya gelen girdilerin ağırlıklı toplamı akson üzerinde çıktı oluşturacak değere ulaştığında, bu değere "eşik değer" adı verilmektedir ve nöron ateşlendi (fired) olarak ifade edilmektedir. Bu şekilde girdiler nöron tarafından değerlendirilerek çıktıya dönüştürülmüş olur.

Akson: Hücre çıktısını göndermeye yarayan uzantısıdır. Bir hücrenin tek bir akson uzantısı bulunur. Ancak bu akson uzantıdan çıkan çok sayıda uzantı ve bunların ucunda sinapstik bağlantılar bulunur.

Sinaps: Sinapslar, sinir hücrelerindeki aksonlarının, diğer sinir hücreleri ve/veya onların dentritleri üzerinde sonlanan özelleşmiş bağlantı noktalarıdır. Bu bağlantı noktalarının görevi aksondaki elektriksel iletinin diğer hücrelere aktarılmasıdır. Bu bağlantı noktalarında iletiler elektro-kimyasal süreçlerle diğer hücrelere geçirilir. Sinapslar bağlandıkları dentrit veya nöronda bölgesel olarak elektrik kuvvetini pozitif veya negatif yönde etkileyebilme yeteneğine sahiptirler. Böylelikle bir nöronun diğerini etkileyebilmesi söz konusu olmaktadır (Öztemel 2003).



Şekil 5.3. Biyolojik sinir hücresi

İnsan beyninde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi ve 60 trilyon sinaps bulunmaktadır. Bir sinir hücresinin çalışma şekli şöyledir;

Sinir hücresi, diğer sinir hücrelerinden gelen uyarıları (elektriksel sinyaller) sinapsları üzerinden dentritlerine alır. Bu sırada gelen sinyaller sinapslar tarafından güçlendirilir ya da zayıflatılır. Dentritler sinyalleri hücre gövdesine iletirler. Hücre gövdesi gelen sinyalleri birbirlerini kuvvetlendirme ve zayıflatma etkilerine göre işler.

Eğer sonuçta sinyaller birbirlerini yeteri kadar kuvvetlendirerek bir eşik değerini aşabilirlerse, aksona sinyal gönderilir ve sinir aktif hale getirilir. Aksi halde, aksona sinyal gönderilmez ve sinir pasif durumda kalır.

5.9 YSA'nın Yapısı

Sinir hücreleri bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ (network) olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce nöron bulunur. Yapay nöronların birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay sinir ağını oluşturmaktadır. Yapay sinir ağıyla aslında biyolojik sinir ağının bir modeli oluşturulmak istenmektedir. Nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır.

Katmanların değişik şekilde bir birleriyle bağlanmaları değişik ağ mimarilerini doğurur. YSA lar üç katmadan oluşur. Bu katmanlar sırasıyla;

- Girdi katmanı
- Ara Katman
- Çıktı Katmanıdır.

5.9.1 Girdi katmanı

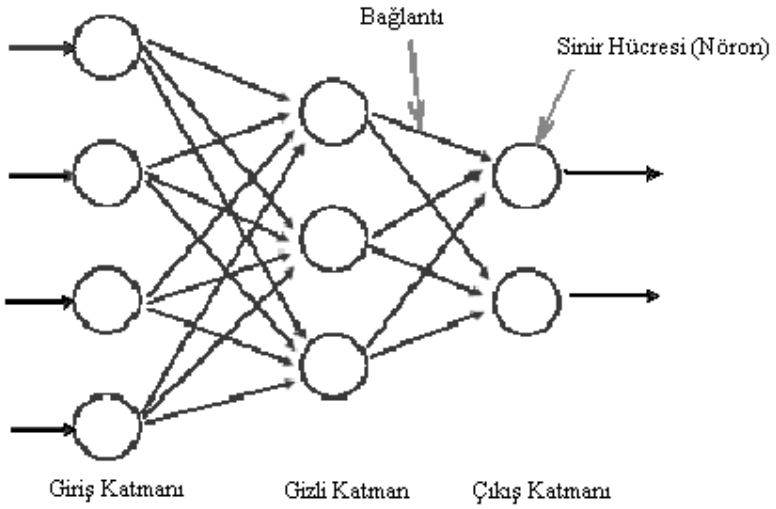
Bu katmandaki proses elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer ederler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.

5.9.2 Ara katman (gizli katman)

Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ içinde birden fazla ara katman olabilir.

5.9.3 Çıktı katmanı

Bu katmandaki proses elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir.



Şekil 5.4. Yapay Sinir Ağı modeli

5.10 Yapay Sinir Hücresi

Biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir ağlarında da temel unsur, yapay sinir hücresidir. Yapay sinir hücresi, YSA' nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük ve temel bilgi işleme birimidir Ağ içinde yer alan tüm nöronlar bir veya birden fazla girdi alırlar ve tek bir çıktı verirler. Bu çıktı yapay sinir ağının dışına verilen çıktılar olabileceği gibi başka nöronlara girdi olarak da kullanılabilirler. Geliştirilen hücre modellerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir yapay hücre modeli 5 bileşenden oluşmaktadır.

Bunlar;

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Birleştirme Fonksiyonu
- Aktivasyon Fonksiyonu
- Çıktı

5.11 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

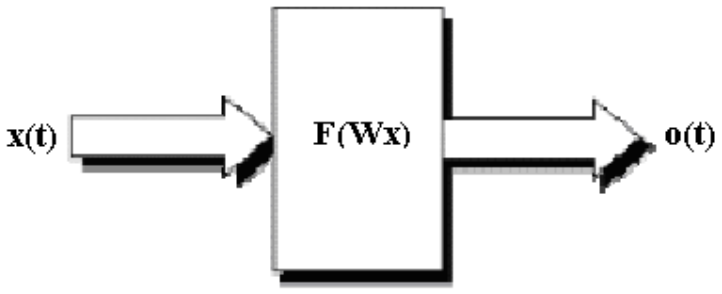
YSA'lar, genel olarak birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerden (sinir hücresi) oluşurlar. Her bir sinir hücresi arasındaki bağlantıların yapısı ağın yapısını belirler. İstenilen hedefe ulaşmak için bağlantıların nasıl değiştirileceği öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan öğrenme algoritmasına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde, ağın ağırlıkları değiştirilir. YSA'lar yapılarına ve öğreneme algoritmalarına göre sınıflandırılırlar.

5.11.1 YSA'ların yapılarına göre sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, yapılarına göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar.

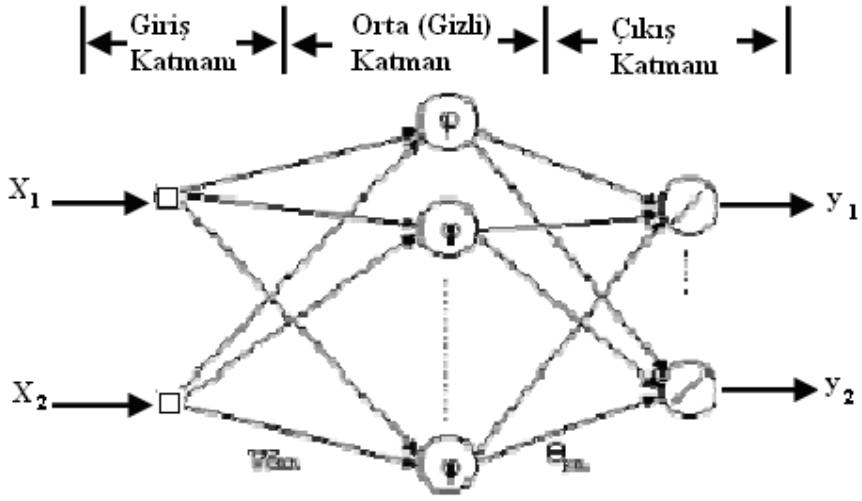
5.11.1.1 İleri beslemeli ağlar

İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar (İE) genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İE'ler bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Şekil 5.5'de ileri beslemeli ağ için blok diyagram gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptron (Multi Layer Perseptron-MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir.



Şekil 5.5. İleri beslemeli ağ için blok diyagramı

İleri beslemeli YSA' da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar, doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA' nın, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabileceği gösterilmiştir. En çok bilinen geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip YSA ların eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bazen bu ağlara geriye yayılım ağları da denmektedir. Şekil 5.6'da giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı verilmiştir.



Şekil 5.6 İleri beslemeli 3 katmanlı YSA.

$$\mathrm{NET}_{\mathrm{j}}^{\mathrm{a}} = \sum A_{kj} Ç_k^i \qquad \textbf{(5.1.)}$$

A_{kj}= k. girdi katmanı elemanını j.ara katman elemanına başlayan bağlantının ağırlık değeri.

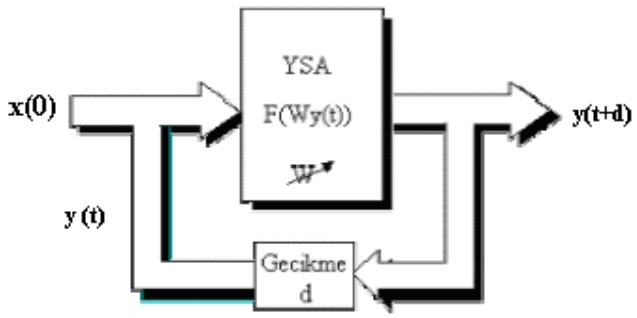
J.ara katman elemanının çıktı değeri ise, bu net girdinin aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi ile elde edilir.

Herhangi bir problemi çözmek amacıyla kullanılan YSA da, katman sayısı ve orta katmandaki hücre sayısı gibi kesin belirlenememiş bilgilere rağmen nesne tanıma ve sinyal işleme gibi alanların yanı sıra, ileri beslemeli YSA, sistemlerin tanılanması ve denetiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

5.11.1.2 Geri beslemeli ağlar

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katlardaki çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece, girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Şekil 5.7'de bir geri beslemeli ağ görülmektedir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır.

Bundan dolayı, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundurlar. Geri beslemeli ağlar çeşitli tipteki zaman-serilerinin tahmininde oldukça başarı sağlamışlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan ağları verilebilir.



Şekil 5.7 Geri beslemeli ağ için blok diyagram

Geri beslemeli YSA' da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir.

Geriye doğru hesaplamada, ağın ürettiği çıktı değeri, ağın beklenen çıktıları ile kıyaslanır. Bunların arasındaki fark, hata olarak kabul edilir. Amaç bu hatanın düşürülmesidir. Çıktı katmanında m. proses için oluşan hata, Em= Bm- Çm olacaktır. Çıktı katmanında oluşan toplam hatayı bulmak için, bütün hataların toplanması gereklidir. Bazı hata değerleri negatif olacağından, toplamın sıfır olmasını önlemek amacıyla ağırlıkların kareleri hesaplanarak sonucun karekökü alınır. Toplam hata aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\text{Toplam Hata } = \frac{1}{2}\sum_{m} E_m^2 \qquad \textbf{(5.2)}$$

Toplam hatayı en azaltmak için, bu hatanın kendisine neden olan proses elemanlarına dağıtılması gerekmektedir. Bu da, proses elemanlarının ağırlıklarını değiştirmek demektir.

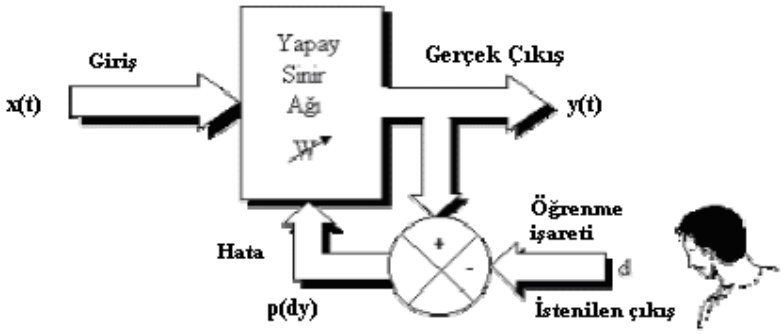
5.11.2 YSA'ların öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması

Öğrenme; gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır. Birtakım metot ve kurallar, gözlem ve eğitime ile ağdaki ağırlıkların değiştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun için genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme kuralları aşağıda açıklanmaktadır.

5.11.2.1 Danışmanlı öğrenme

Bu tip öğrenmede, YSA'ya örnek olarak bir doğru çıkış verilir. Bu öğrenmede ağın ürettiği çıktılar ile hedef çıktılar arasındaki fark hata olarak ele alınır ve bu hata minimize edilmeye çalışılır. Bunun için de bağlantıların ağırlıkları en uygun çıkışı verecek şekilde değiştirilir. Bu sebeple danışmanlı öğrenme algoritmasının bir "öğretmene" veya "danışmana" ihtiyacı vardır. Şekil 5.8'de danışmanlı öğrenme yapısı gösterilmiştir. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart

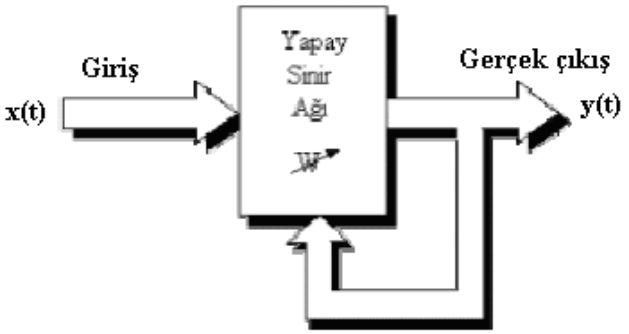
ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri besleme (back propagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 5.8. Danışmanlı öğrenme yapısı

5.11.2.2 Danışmansız öğrenme

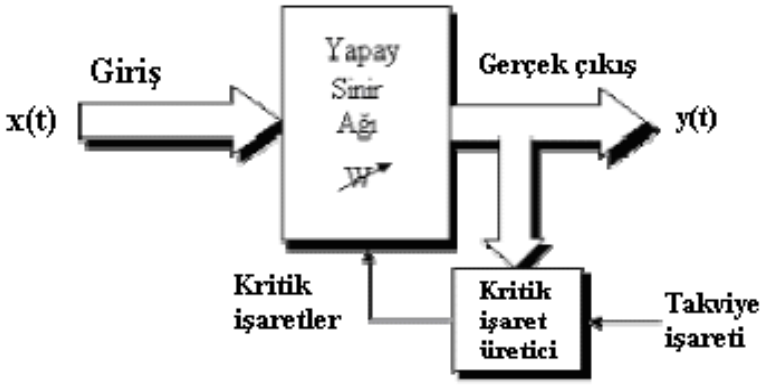
Bu tür öğrenmede ağa sadece girdiler verilir. Ağın ulaşması gereken hedef çıktılar verilmez. Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirir. Ağ daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren desenler (patterns) oluşturmak üzere ayarlar. Şekil 5.9'da danışmansız öğrenme yapısı gösterilmiştir. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir.



Şekil 5.9 Danışmansız öğrenme yapısı

5.11.2.3 Takviyeli öğrenme

Takviyeli öğrenme algoritması, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Takviyeli öğrenme (reinforcement training) yöntemi öğreticili öğrenme yöntemine benzemekle birlikte, ağa hedef çıktılar yerine, ağın çıktılarının ne ölçüde doğru olduğunu belirten bir skor veya derece bildirilir. Şekil 5.10'da takviyeli öğrenme yapısı gösterilmiştir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya GA takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilirler.



Şekil 5.10 Takviyeli öğrenme yapısı

5.11.3 Uygulamaya göre öğrenme algoritmaları

5.11.3.1 Çevrim içi (on-line) öğrenme

Bu kurala göre örenen sistemler, gerçek zamanda çalışırken bir taraftan fonksiyonlarını yerine getirmekte, bir taraftan da öğrenmeye devam etmektedirler. ART ve Kohonen öğrenme kuralı bu sınıfta bulunan öğrenme bu öğrenme kuralına örnek olarak verilebilir.

5.11.3.2 Çevrim dışı (offline) öğrenme

Bu kurala dayalı sistemler, kullanıma alınmadan önce örnekler üzerinde eğitilirler. Bu kuralı kullanan sistemler eğitildikten sonra gerçek hayatta kullanıma

alındığında artık öğrenme olmamaktadır. Delta öğrenme kuralı bu tür öğrenmeye örnek olarak verilebilir.

5.12 Yapay Sinir Ağ Yapıları

YSA'daki sinir sayısı, sinirlerin birbirine göre konumu ve sinirler arası sinyallerin akış yönleri YSA yapısını belirlemektedir. Yapısı belirlenmiş bir YSA eğitilerek YSA ile ilgili uygulamalarda kullanılır.

YSA yapıları arasında performans ve karakteristik özellikleri bakımın farklar vardır. YSA yapıları, özellikle ağın modelleme yeteneğini belirledikleri için oldukça önemlidirler. Yapay sinir ağının tasarımı aşamasında bu ağ yapıları arasından uygulamaya en elverişli olanı seçilir.

5.12.1 Bir YSA'nın tasarımı

YSA uygulamasının başarısı, uygulanacak olan yaklaşımlar ve deneyimlerle yakından ilgilidir. Uygulamanın başarısında uygun metodolojiyi belirlemek büyük önem taşır. Yapay sinir ağının geliştirilmesi sürecinde ağın yapısına ve işleyişine ilişkin şu kararların verilmesi gerekir.

- Ağ mimarisinin seçilmesi ve yapı özelliklerinin belirlenmesi (katman sayısı, katmandaki nöron sayısı gibi)
- Nörondaki fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,
- Öğrenme algoritmasının seçilmesi ve parametrelerinin belirlenmesi,
- Eğitim ve test verisinin oluşturulması

Bu kararların doğru verilememesi durumunda, YSA'ları sistem karmaşıklığı artacaktır. Sistem karmaşıklığı yapısal ve toplam hesaplama karmaşıklığının bir fonksiyonudur. Toplam hesaplama karmaşıklığı ise, genellikle yapısal karmaşıklığın bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar ve bu hesaplamanın en aza indirilmesi amaçlanır. Bu hesaplama karmaşıklığının ölçülmesinde de genellikle YSA sisteminin toplam tepki süresi veya sisteme ait bir işlemci elemanın tepki süresi değeri temel alınır.

Bunun yanında kapladığı hafıza ve zaman karmaşıklığı bazı uygulamalarda hesaplanmaktadır.

Bir YSA'nın uygun parametrelerle tasarlanması durumunda YSA sürekli olarak kararlı ve istikrarlı sonuçlar üretecektir. Ayrıca sistemin tepki süresinin yeterince kısa olabilmesi için de ağ büyüklüğünün yeterince küçük olması gerekir. İhtiyaç duyulan toplam hesaplama da bu sayede sağlanmış olacaktır.

5.12.1.1 YSA ağ yapısının seçimi

YSA'nın tasarımı sürecinde ağ yapısının seçilmesi, uygulama problemine bağlı olarak seçilmelidir. Hangi problem için hangi ağın daha uygun olduğunun bilinmesi önemlidir. Kullanım amacı ve o alanda başarılı olan ağ türleri Tablo 5.1'de verilmiştir. (Öztemel 2003)

Kullanım Amacı	**Ağ Türü**	**Ağ Kullanımı**
Tahmin	• ÇKA	Ağın girdilerinden bir çıktı değerinin tahmin edilmesi
Sınıflandırma	• LVQ • ART • Counterpropagation • Olasılıklı Sinir Ağları	Girdilerin hangi sınıfa ait olduklarının belirlenmesi
Veri İlişkilendirme	• Hopfield • Boltzman Machine • Bidirectional Associative Memory	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması

Tablo 5.1. Ağ türleri ve başırılı oldukları alanların kaşılaştırılması

Uygun YSA yapısının seçimi, büyük ölçüde ağda kullanılması düşünülen öğrenme algoritmasına da bağlıdır. Ağda kullanılacak öğrenme algoritması seçildiğinde, bu algoritmanın gerektirdiği mimaride zorunlu olarak seçilmiş olacaktır. Örneğin geri yayılım algoritması ileri beslemeli ağ mimarisi gerektirir. Bir YSA'nın karmaşıklığının azaltılmasında en etkin araç, YSA ağ yapısını değiştirmektir. Gereğinden fazla sayıda işlemci eleman içeren ağ yapılarında, daha düşük genelleme kabiliyeti ile karşılaşılır.

5.12.1.2 Öğrenme algoritmasının seçimi

YSA yapısının seçiminden sonra uygulama başarısını belirleyen en önemli faktör öğrenme algoritmasıdır. Genellikle ağ yapısı öğrenme algoritmasının seçiminde belirleyicidir. Bu nedenle seçilen ağ yapısı üzerinde kullanılabilecek öğrenme algoritmasının seçimi ağ yapısına bağlıdır. Yapay sinir ağının geliştirilmesinde kullanılacak çok sayıda öğrenme algoritması bulunmaktadır. Bunlar içinde bazı algoritmaların bazı tip uygulamalar için daha uygun olduğu bilinmektedir. Bu algoritmalar eğer uygun oldukları uygulama alanlarına göre sınıflandırılacak olursa, gruplar ve içinde yer alacak öğrenme algoritmaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Tablo 5.2).

Uygulama Tipi	**Yapay Sinir Ağı**
Öngörü Tanıma	• Geriyayılım • Delta Bar Delta • Geliştirilmiş Delta Bar Delta • Yönlendirilmiş Rastsal Tarama • Geriyayılım içinde Self Organizing Map • Higher Order Neural Networks
Sınıflandırma	• Learning Vektor Quantization
Veri İlişkilendirme (Data Association)	• Hopfield • Boltmann Makinesi • Bidirectional Associative Memory • Spantion- temproal Pattern Recogniation
Veri Kavramlaştırma (Data Conceptualization)	• Adaptive Resonance Network • Self Organizing

Tablo 5.2. YSA'nın Uygulama alanlarına göre sınıflandırılması

5.12.1.3 Ara katman sayısını belirleme

YSA'nın tasarımı sürecinde tasarımcının yapması gereken diğer işlemde, ağdaki katman sayısına karar vermektir. Çoğu problem için 2 veya 3 katmanlı bir ağ tatmin edici sonuçlar üretebilmektedir. Nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır. Katmanların değişik şekilde bir birleriyle

bağlanmaları değişik ağ yapılarını oluşturur. Girdi ve çıktı katmanlarının sayısı, problemin yapısına göre değişir (Stern 1996). Katman sayısını belirlemenin en iyi yolu, birkaç deneme yaparak en uygun yapının ve yapının ne olduğuna karar vermektir.

5.12.1.4 Nöron sayısının belirlenmesi

Ağın yapısal özelliklerinden birisi her bir katmandaki nöron sayısıdır. Katmandaki nöron sayısının tespitinde de genellikle deneme-yanılma yöntemi kullanılır. Bunun için izlenecek yol, başlangıçtaki nöron sayısını istenilen performansa ulaşıncaya kadar arttırmak veya tersi şekilde istenen performansın altına inmeden azaltmaktır. Bir katmanda kullanılacak nöron sayısı olabildiğince az olmalıdır. Nöron sayısının az olması yapay sinir ağının "genelleme" yeteneğini arttırırken, gereğinden fazla olması ağın verileri ezberlemesine neden olur. Ancak gereğinden az nöron kullanılmasının verilerdeki örüntünün ağ tarafından öğrenilememesi gibi bir sorun yaratabilir.

Nörondaki fonksiyonların da karakteristik özellikleri de YSA'nın tasarımında önemli kararlardan biridir. Nöronun geçiş fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde yapay sinir ağının verilerine ve ağın neyi öğrenmesinin istendiğine bağlıdır. Geçiş fonksiyonları içinde en çok kullanılanı sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Daha önce belirtildiği gibi sigmoid fonksiyonun çıktı aralığı 0 ve 1 arasında olurken, hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıktısı -1 ve 1 aralığında oluşmaktadır. Eğer ağın bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi isteniyorsa sigmoid fonksiyon, eğer ortalamadan sapmanın öğrenilmesi isteniyorsa hiperbolik tanjant fonksiyon kullanılması önerilmektedir.

5.12.1.5 Normalizasyon

YSA'ların en belirgin özelliklerinden olan doğrusal olmama özelliğini anlamlı kılan yaklaşım verilerin bir normalizasyona tabii tutulmasıdır. Verilen normalizasyonu için seçilen yöntem YSA performansını doğrudan etkileyecektir.

Çünkü normalizasyon, giriş verilerinin transfer edilirken fonksiyonun aktif olan bölgesinden aktarılmasını sağlar. Veri normalizasyonu, işlemci elemanlarını verileri kümülatif toplamların oluşturacağı olumsuzlukların engellenmesini sağlar.

Veri normalizasyonu, işlemci elemanlarını verileri kümülatif toplamlarla koruma eğilimleri nedeniyle zorunludur ve aşırı değerlenmiş kümülatif toplamların oluşturacağı olumsuzlukların engellenmesini sağlar. Genellikle verilerin [0,1] veya [-1,+1] aralıklarından birine ölçeklendirilmesi önerilmektedir. Ölçekleme verilerin geçerli eksen sisteminde sıkıştırılması anlamı taşıdığından veri kalitesi aşırı salınımlar içeren problemlerin YSA modellerini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu olumsuzluk, kullanılacak öğrenme fonksiyonunu da başarısız kılabilir. Örneğin, Bir transfer fonksiyonuna uygulanan girişler ile ağırlıkların çarpım toplamının 10 ve 100 olduğunu farz edelim. Bu toplamı bir tanjant hiperbolik fonksiyonundan geçirdiğimizde;

$$y= \tanh(10)=(e^{10}-e^{-10}) / (e^{10}+e^{-10})=1.000.000 \qquad \textbf{(5.3)}$$

ve

$$y= \tanh(100)=(e^{100}-e^{-100}) / (e^{10}+e^{-10})=1.000.000 \qquad \textbf{(5.4)}$$

sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi, 10 ve 100 skalar değerlerine karşılık gelen fonksiyon sonuçları arasında fark yoktur. Bu durumda da, birbirinden oldukça farklı skalar değerler sistemde sanki aynı değerlermiş gibi ele alınacak ve hem uygulama hem de öğrenme algoritması açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkacaktır. Bunun için, X veri kümesi [-1 +1] ya da [0 1] aralığına ölçeklendirilmelidir. Veri kümesinin [0 1] arasında bir ölçeklendirmeye tabi tutulabilmesi için o kümenin X_{min} X_{max} aralığı bulunur ve aşağıdaki formüle göre ölçeklendirme yapılabilir.

$$X_{yeni} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad \textbf{(5.5)}$$

6. YAPAY SİNİR AĞLARININ HAVA KİRLİLİĞİNDE KULLANILMASI

6.1. Hava Kirliliği Modellemesinde Yapay Sinir Ağları Uygulamaları ile İlgili Önceki Çalışmalar

Yapay sinir ağları modellerinin hava kirliliğine, veya daha genel bir ifadeyle atmofer ortamına, uygulanması oldukça yeni olup bu konudaki çalışmaların geçmişi 1990'lı yılların öncesine gitmemektedir.

Literatürde rastlanan ilk çalışma Boznar (1993) ve ekibine aittir. Bu çalışmada, kompleks bir topografya içinde bulunan bir termal enerji santralinden çıkan baca gazındaki SO_2'nin belirli mesafede yarım saat sonraki konsantrasyonu tahmin edilmiştir. Boznar ve ark. Bu çalışmada model için girdi parametreleri olarak termal enerji santralinin bulunduğu bölgenin çeşitli noktalarında ölçülen SO_2 konsantrasyonlarının yanı sıra rüzgar hız ve yönü, sıcaklık ve zaman parametrelerini kullanmıştır. Santralin bulunduğu topografik bölge oldukça kompleks olmasına rağmen yapay sinir ağları klasik istatiksel metotlara göre oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Perautonis ve ark. (1994) Atina'da SO_2 episodların olup olamayacağını tahmin edebilmek için kullandığı yapay sinir ağları modellerinde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Mlakar ve ark. (1994) Slovenya'da yine termal enerji santrali çevresindeki SO_2 kirliliğini tahmin etmek için kullandıkları yapay sinir ağları modelleriyle başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Mlakar ve ark. (1994) kısa vadeli hava kirliliği tahmininde kullanılacak modeller ve parametre seçimi konusunda yaptıkları çalışmalarda yine bu modellerin ileride hava kirliliğine uygulanabilirliği konusunda cesaret verici sonuçlar elde etmişlerdir.

Boznar ve Mlakar (1995) yer seviyesi rüzgar yön ve hızlarını tahminde yapay sinir ağları kullanmışlar, hız tahminleri başarılı sonuçlar vermesine karşılık yön tahminleri istenilen seviyede başarılı olamamıştır. Bu noktada kullanılan girdi parametrelerinin yeterli olmadığı anlaşılmaktadır.

Mlakar ve ark. (1996) yine rüzgar hız ve yönlerinin kümelenmesinde değişik yapay sinir ağları modeli kullanılarak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir ve bu çalışma sonuçlarının hava kirliliği tahminlerinde kullanılabilecek seviyede olduklarını ifade etmişlerdir.

Potukuchi ve Veder (1997) amonyak, nitrik asit, hidroklorik asit, amonyum nitrat bileşiklerinin buhar basınçlarının tahmininde yapay sinir ağlarını kullanmışlar ve temel termodinamik bulgularla karşılaştırıldığında oldukça iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Comrie (1997) Amerika'da 8 şehrin verileriyle yaptığı günlük ozon konsantrasyonları tahmininde regresyon modelleriyle yapay sinir ağları modellerini karşılaştırmış ve yapay sinir ağlarının daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Boznar (1997) hava kirliliği tahmininde patern seçim stratejilerini incelemiştir. Patern seçimi, tahmin edilen parametrenin genelleme yapılarak modellenmesi için önemli sorunlardan biridir.

Mlakar ve ark. (1997) çok katmanlı perceptron (multi layer perceptron) modeli kullanarak dış hava SO_2 konsantrasyonu tahmini yapmıştır. Uygulamayı yaptıkları çalışma bölgesi için bu modelin hangi şartlarda optimum sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Mlakar (1997) hava kirliliği tahmininde yapay sinir ağları için kullanılan girdi parametrelerinin önem sırası ile sıralanması yöntemlerini incelemiş, literatürde belirtilen bir yöntemi bir termal enerji santrali çevresindeki SO_2 tahmininde kullandığı girdi parametrelerini önem sırasına göre sıralamak için kullanmış ve kendisi de bu konuda bir metodoloji önermiştir. Kullanılan bu yöntemde girdi parametreleri çok önemli, oldukça düşük önemde ve önemsiz olarak üç grupta toplanmıştır.

Clair ve Ehrman (1998) mevsimsel iklim değişikliklerinin atmosfere atılan çözünmüş organik karbon ve azot miktarına etkisini yapay sinir ağları modeli kullanılarak ortaya koymaya çalışmışlardır.

Aviolat ve ark. (1998) İsveç havaalanlarında kullanılabilecek otomatik bulut gözlem sisteminde klasik amprik yöntemler yerine yapay sinir ağları ile bulut miktarlarını tahmin eden bir veri işlem ünitesi üzerinde çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar insan gözlemleri ile oldukça uyumlu sonuçlar ortaya koymuştur.

Gardner ve Dorling (1998) yapay sinir ağları modellerinin en yaygın kullanıma sahip çok katmanlı perseptron (multi layer perceptron) modelinin atmosfer bilimlerine uygulamalarının incelemesini ve bu modelin özellikleri ile beraber atmosfer bilimlerine uygulanışındaki literatür çalışmalarını ortaya koymuştur.

Gardner ve Dorling (1999) Londra'da şehir atmosferinde saatlik NO_x ve NO_2 konsantrasyonlarının tahmininde çok katmanlı perseptron modelini kullanmışlar ve elde ettikleri sonuçlar göstermiştir ki NO_2/NO_x konsantrasyonları ile lokal meteorolojik parametreler arasında kuvvetli ilişkiyi yapay sinir ağları yardımıyla oldukça uyumlu bir şekilde modellemişlerdir.

Reich ve ark. (1999) bir noktada ölçülen SO_2 konsantrasyonunun oluşum kaynaklarının tanımlanmasında ve bu kaynakların ölçüm noktasındaki konsantrasyona katkılarının bulunmasında yapay sinir ağları modellerini kullanmışlardır.

6.2. YSA Kullanımının Sebepleri

YSA'lar verilerden hareketle, bilinmeyen ilişkileri akıllıca hemen ortaya çıkarabilmektedir. Bu özellikleri, uygulama açısından son derece önemlidir. Ayrıca veri toplama için bir ön sorgulama ya da açıklama gerekmemektedir. YSA'lar çözüm olarak genelleştirilebilir. Bir örnekten hareketle, diğer örneklerdeki benzerlikleri doğru olarak anlayabilirler. Genelleştirme yapılabilmesi bu bakımdan çok iyi bir özelliğidir, çünkü gerçek dünya verilerinde sürekli olarak gürültü ve bozucu etkiler mevcuttur.

YSA'lar non-lineerdir. Bu özellikleri nedeni ile daha karmaşık problemleri lineer tekniklerden daha doğru çözerler. Non-lineer davranışlar hissedilir, algılanır,bilinebilir, ancak bu davranışları ya da problemleri matematiksel olarak çözmek zordur. YSA'lar son derece paralelliğe sahiptir. Bağımsız işlemleri aynı anda çok hızlı yürütebilirler. Paralel donanımlar yapıları gereği YSA'lara uygun olduğundan kendisine alternatif çözüm metodlarından daha elverişlidir.

6.3. YSA'nın Klasik Yazılımlar İle Karşılaştırılması

YSA'lar, önceden tahmin, örnek değerlendirme ve gruplama işlemlerinde etkilidir. Aynı işlemleri klasik bir bilgisayar programı ile yapmak da mümkündür. YSA'lar, açıkça kuralları bulunmayan veya anında optimizasyon kısıtlamaları koyan uygulamalar için idealdir. YSA için endüstriyel kontrol işlemleri oldukça yaygın uygulama alanlarıdır. Burada kurallar çok sık değişmez ve üstelik iyi bir tarafı da öteki çalışma koşullarına ait verilerin bol oluşudur.

YSA'ların uygulamadaki dezavantajlarını sıralayacak olursak;

1- Bir problemin çözümünde çok uygun bir çözüm bulamayabilirler ve çözümde hata yapabilirler. Buna sebep ise eğitilecek bir fonksiyonun bulunamamasıdır. Fonksiyon bulunsa bile yeterli veri sağlanamayabilir.
2- Sonuç almak yüzlerce giriş örneğinin hesaplanmasına bağlı olabilir. Ayrıca hangi ağırlığın sonucu nasıl etkileyeceğini tahmin etmek zordur.
3- YSA'larla bir dizi işlem yapmak, bunları eğitmek yavaş ve pahalı olabilir. Maliyeti arttıran sebeplerden ilki eğitme verilerinin toplanması ve değerlendirilmesidir. Doğru değerleri bulmak için deneyler yapmak gerekebilir.
4- Bir YSA'nın kalitesi ve kapasitesi uygulamadaki hızı ile orantılıdır. Öyleki düğüm sayısındaki az bir artış bile yürütme zamanında çok daha fazla artışa sebep olur. Örneğin 100 düğümde 10 000 bağlantı var ise, standart bir mikroişlemci bunu 10 000 000 çarpma, saklama işlemi yaparak hesaplanır. Böylece ağdan saniyede 1000 geçiş olur. Eğer 300 düğüm var ise aynı işlemci ancak 100 kere geçiş yapmayı sağlayabilir. Kısacası düğüm sayısı 3 kat arttığında cevap süresi 10 kat azalır.

YSA'ların diğer çözümlerden daha doğru çözümler ürettikleri de bir gerçektir. Çünkü bu sakıncalı durumlar teorik olarak söz konusudur.

7. MATERYAL VE METOT

7.1. Bölgenin Tanıtılması

7.1.1. Bölgenin coğrafi özellikleri

Hava hareketlerinin etkisi, bir yerleşim yerinin coğrafi konumu ve topoğrafik yapısı ile yakından ilgilidir. İçerisinde çeşitli sanayi kuruluşları ve yoğun nüfus bulunduran Konya şehrinin dağlarla çevrili çanak şeklinde çukur bir sahada bulunması hava kirliliğinin artmasına yol açmıştır (Çınar ve Koçu 1999).

Konya İli; Anadolu Yarımadası'nın ortasında bulunan İç Anadolu Bölgesinin güneyinde yer almaktadır. İlimiz topraklarının büyük bir bölümü, İç Anadolu'nun yüksek düzlükleri üzerine rastlar. Güney ve güneybatı kesimleri Akdeniz Bölgesine dahildir. Konya coğrafi olarak 36°41' ve 39°16' kuzey enlemleri ile 31°14' ve 34°26' doğu boylamları arasında yer alır. Türkiye'nin en büyük yüz ölçümüne (göller hariç 38,257 km^2) sahip olan ilidir. Ortalama yükseltisi 1016 m'dir (Anonim 2003).

7.1.2. Bölgenin topografik özellikleri

Konya kenti, İç Anadolu Bölgesinin ortasında etrafı dağlarla çevrili geniş bir çukur içerisine kurulmuş bulunmaktadır. Kentin özellikle kuzey ve batısı sıradağlarla tamamen çevrilidir. Konya kentinin kurulu bulunduğu yörenin bir çanak şeklinde etrafı sıra dağlarla çevrili olması bu yöredeki hava hareketini ve rüzgar oluşumunu sınırlamakta ve özellikle kışın kirli havanın kent dışına çıkmasını önleyerek sis ve dumanın kent üzerinde yoğunlaşmasına ve bunun sonucu olarak da hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır (Gür ve ark. 1995).

Konya ilinin güneydoğu, güneyi ve güneybatı yönleri Toros Dağları ve uzantıları ile çevrilidir. Ereğli çevresindeki Bolkar Dağları ilin en yüksek dağlarıdır ve yüksekliği 3240 m'dir. Güneybatıda 2467 m yükseklikte Geyik Dağı ile Haydar ve Karakuş batı kesiminde; güneydoğudan, güneybatıya doğru uzanan ve Konya ile Isparta'yı birbirinden ayıran 100 km uzunluğundaki Sultandağı vardır. Merkez

yükseklikte Ali Dağı, Seydişehir'de Küpe, Suğla Gölünün kuzeyinde Alacadağ, Erenler, Eğriburun ve Karaçal dağları, Konya'nın hemen batısında yaz aylarında üzerinde kar bulunan Loras Dağı (2050 m) ve kuzeye doğru Bozdağ yer almıştır.

İl sınırları içinde bu dağlardan başka volkanik dağlar da bulunmaktadır. Bunlar Karaman'ın kuzeyinde 2000 m yükseklikte Karadağ, Karapınar'ın doğusunda Karacadağ, Konya Merkezi'nin batısında 1100 m yükseklik ve üzerinde bir de krater gölüne sahip olan Takkeli Dağ'dır.

Konya İli geniş düzlükler üzerinde yer almıştır. İlin 4/5'i düzlük kalan kısmı ise dağlıktır. Konya Ovası ile Akşehir, Ereğli ve Cihanbeyli Ovaları bulunmaktadır.

İlin topoğrafyası, kent sınırının bitişik batısında, Meram yakınında 1250 m den itibaren çok belirgin bir şekilde batıya doğru yükselmeye başlar. Kuzey-güney doğrultusunda uzanan bu eğik düzlemin ova ile kesiti, ovadan bakıldığında çok belirli bir çizgi üzerinde olmakta ve bu yamaçlar Konya'nın batısında adeta bir duvar meydana getirmektedir. Yükseltiler batıda Dereköy ve içindeki Loras Dağı 2050 m, bu tepeden batıya doğru Çal Dağı 1750 m'dir. Kent mücavir alanının bitişik kuzeyinde ise doğu-batı yönünde Ankara yoluna, Karaömerler Köyüne kadar devam edip oradan kuzeye dönen tepeler bulunmaktadır. Kentin kuzeyinde doğu-batı yönünde daha alçak bir duvar teşkil eden yamaçlar mevcuttur. Bu sıra Karaömerler Köyü kuzeyindeki tepe ile noktalanmakta tekrar kuzeye yönelmektedir (Anonim 2003).

7.1.3. Bölgenin iklim özellikleri

Herhangi bir bölgedeki hava kirliliği konsantrasyonu, sadece kirliliği meydana getiren kaynaklardan gelen kirlilik miktarına değil; aynı zamanda bölgenin andaki meteorolojik şartlarına da bağlıdır. Hava kirliliği konsantrasyonuna etki eden en önemli unsurların başında, meteorolojik faktörler gelmektedir (Dursun 1997).

Konya'da ovalık alanların yaygın ve kentin denizden yüksekliğinin 1016 m olması nedeniyle tipik bir karasal (kışları soğuk ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak) iklim hüküm sürmektedir (Gür ve ark. 1995).

7.1.3.1. Rüzgâr

Konya'nın hâkim rüzgâr yönü kuzey-kuzeydoğu'dur. Yıllık ortalama hızı ise 2,0 m/s'dir. Konya'da Ekim-Mart aylarının kış ortalama rüzgar yönü yine kuzeydir. Hızı ise 1,8 m/s'dir. Yani yıllık ortalamanın altındadır. Rüzgarlı geçen gün sayısı daha az olup, diğer aylara göre sakin saatler fazladır.

Rüzgarın gün içinde esme saatleri ise daha çok gün doğumundan sonra başlamakta ve gün batımına kadar devam etmektedir. Gece ve akşam saatleri rüzgarın hızının en az olduğu saatlerdir. Dolayısıyla hava kirliliğinin en yoğun olduğu saatler sabah erken ve akşam ilk saatlerdir (Ceyhan ve ark. 1995).

Son 62 yıllık esme sayıları toplamı göz önüne alındığında en fazla esen rüzgarlar sırasıyla, kuzey (N-4966), kuzey-kuzeydoğu (NNE-4206) ve kuzeydoğu (NE-3388) yönündedir.

Rüzgar yatay hava hareketi olup, kirleticilerin taşınması, dağılımı ve seyrelmesinde önemli rol oynar. Rüzgar hızı arttıkça kirlilik konsantrasyonu azalır. Kirleticiler rüzgarın estiği yönde hareket edip yayıldığı için rüzgar yönü de önemlidir. Konya'da ilin gelişimi ve sanayisi hakim rüzgar yönünde olduğu için hava kirliliğinin başlıca sebeplerinden biri rüzgar olmaktadır (Anonim 2003).

7.1.3.2. Basınç

Kirletici maddeler yüksek basınçta hava akımlarıyla yukarı doğru taşınamadığından dağılıp karışması gecikmektedir.

Konya ilinin yıllık ortalama aktüel basıncı 898.4 mbar'dır. Ancak özellikle kış aylarında daha çok yüksek basıncın etkisi altında kalır (Kış ayları ortalama basıncı 899.5 mbar'dır.) ve sis oluşumu daha çok görülür. Böylece hava kirliliğinin oluşması ve devamı bakımından diğer meteorolojik parametrelerin yanında hava basıncı da önemlidir (Ceyhan ve ark. 1995).

Konya kapalı havzası Balkanlar'dan ülkemizi etkileyen meteorolojik sistemlerle kuzeyden, Akdeniz'den ülkemizi etkileyen meteorolojik sistemlerle güneyden gelen hava olaylarıyla etkilenmektedir. Kış aylarında yüksek basınç, yaz aylarında alçak basınç hakimdir. Basınç atmosferde meydana gelen cephesel geçişler

ile hava sıcaklığına bağlı olarak hava yoğunluğundaki artma ve azalmalar sebebiyle değişebildiği gibi yükseklik, yer çekimi ve mevsimlere göre de farklılık gösterir (Anonim 2003).

7.1.3.3. Sis

Sis, yeryüzüne inmiş stratüs bulutlardır. Sisli günlerde hava sıcaklığı yerden yükseklere çıkıldıkça artar (inversiyon vardır). Konya'da sis en fazla Aralık ayında görülmektedir. Kasım, Ocak ve Şubat ayları sisli günlerin fazla olduğu aylardır. Yaz aylarında sis görülmemektedir (Anonim 2003).

Sis oluşumu inversiyon oluşumu olayı ile içiçe düşünülebilir. Normal şartlarda yerden yükseldikçe sıcaklık azalmaktadır. Bunun tersi durumlarda havada yeterince nem mevcut ve rüzgar da yoksa sis kolayca oluşur ve kirlilik arttıkça sisin yoğunluğu ve dağılma süresi artar (Ceyhan ve ark. 1995).

7.1.3.4. Nem

Atmosferde bulunan nem miktarı arttıkça kirleticiler daha geç dağılmakta ve inversiyon daha kolay oluşmaktadır. Kuru havada yükseklikle sıcaklık değişimi 1^0C/100 m iken nemli bir havada 0,65 ^{o}C/100 m'dir. Dolayısıyla yer ile yüksek seviyeler arasında sıcaklık farkı azalır ve hava içindeki sirkülasyon yavaşlar.

Konya ilinin ortalama nispi nemi % 60'dır. Kış aylarında bu değer % 71,3'e yükselmektedir. Aralık ve Ocak aylarında ise % 79 ve % 78 neme ulaşmaktadır (Ceyhan ve ark. 1995).

Konya'da bağıl nemin en az olduğu aylar Temmuz ve Ağustos, en fazla olduğu aylar ise Aralık ve Ocak'tır. Bağıl nemin yüksek olduğu aylarda sisli günler daha fazladır.

7.1.3.5. Sıcaklık

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, Konya'da yıllık ortalama hava sıcaklığı 11.5 $^{\circ}$C'dir. Hava kirliliğinin yükseldiği kış aylarında (Ekim-

Mart) ortalama sıcaklık 3.0 °C'dir. Sıcaklık en soğuk ay olan Ocak'da ortalama -0.2 °C iken, en sıcak ay olan Temmuz'da ortalama 23.2 °C'dir.Bazı kış günlerinde atmosferin üst seviyelerinin yere göre daha sıcak olması ile meydana gelen inversiyon ve sis olayı kirleticilerin uzun süre havada asılı kalmalarına neden olmaktadır (Ceyhan ve ark. 1995).

7.1.3.6. Yağış

Konya'da iklim karasaldır. Karasal iklimin özelliklerinden olan soğuk ve yağış kış ve ilkbahar aylarında etkilidir. Yağışlı gün sayısı ise ortalama 81.6 gündür. Kış aylarında kar ve yağmur, bahar aylarında ise sağanak yağmur ve gök gürültülü sağnak yağışlar ve dolu görülür. En fazla yağış alan günler kış mevsiminde Aralık, ilkbaharda ise Mayıs ayındadır (Anonim 2003). Uzun yıllar ortalamalarına göre yıllık ortalama yağış miktarı toplam 325.8 mm/m^2'dir.

7.2. Metot

7.2.1. YSA da kullanılan veriler

Her bir meteorolojik parametrenin istatiksel değişim aralığı incelemesi yapılmıştır. Bu parametrelerin ölçüm zamanı içindeki maksimum minimum ve ortalama değerleri Çizelge 7.1 de verilmiştir. Çizelgede bulunan parametreler oluşturulan YSA modeli için (t) anındaki girdi parametreleri olup çıktı olarak ise (t) anındaki SO_2 konsantrasyonu tahmin edilmiştir. Ayrıca meteorolojik verilerin bulunduğu güne ait SO_2 konsantrasyonu da (yani tahmin edilen günden önceki günün kirlilik seviyesi) girdi olarak kullanılmış, böylelikle kirlilik parametresinin atmosfer ortamındaki sürekliliğin muhtemel etkisi modele dahil edilmiştir. Yani bugünün hava kirliliği seviyesinin yarınki hava kirliliği seviyesine etkisi bu parametre ile modele dâhil edilmiştir. Veri seti, öğrenme ve test seti olarak iki gruba ayrılmıştır. Veri setinin % 82 eğitim için (600 veri) %18 test için (129 veri) kullanılmıştır.

Çizelge 7.1 YSA modeli için giriş parametrelerinin günlük değişim aralığı (2003 ve 2004)

Parameter	Semboller	Birim	Min.	Ortalama	Max.
SO_2	SO_2	$\mu g/m^3$	14	42,94	309
Ortalama Sıcaklık	*T*	°C	-12,1	11,63	29,7
Min. Sıcaklık	*T*	°C	-16	5,75	24
Max. Sıcaklık	*T*	°C	-8	37	18,3
Rüzgar Hızı	*WS*	m/s	0	2,28	13,5
Nispi Nem Oranı	*RH*	%	13,7	53,94	97,7
Basınç	*P*	mbar	873,8	898,3	910,6
Yağış Miktarı	*RF*	mm	0	0,79	44,3

7.2.2 Çok katmanlı perceptron (Multi-layer perceptron)

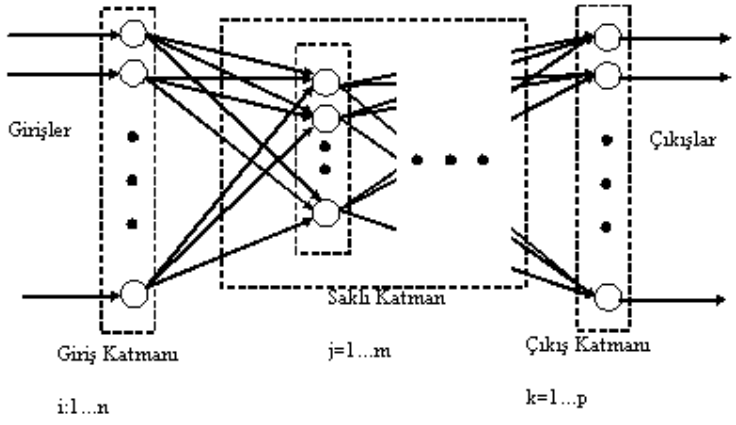
Çok katmanlı bir perceptron ağı (MLP) modeli, giriş ve çıkış katmaları arasında bir veya daha fazla saklı katmanın kullanıldığı YSA sistemidir. Her katmanda bir veya daha fazla işlemci eleman (nöron) bulunabilir. Şekil 7.1'de çok katmanlı perceptronun genel yapısı verilmiştir. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki işlem elemanlarına bağlıdır. Katman içi herhangi bir bağlantı bulunmamaktadır. Bilgi akışı ileri yönde olduğu için yayılmalı (feed forward) sinir ağı modeli olarak da adlandırılır. Giriş ve çıkış katmanındaki işlem elemanı sayısı uygulanan probleme göre belirlenirken, ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise deneme yanılma yoluyla bulunur. Bu ağ modeli özellikle mühendislik alanındaki uygulamalarda yaygın olarak kullanılan sinir ağı modelidir.

Çok katmanlı perceptronlar (MLP), zor ve farklı problemlerin çözümünde, "hatanın geriye yayılması algoritması" (error back-propagation algorithm) (Rumelhart ve ark. 1986) olarak bilinen yaygın bir algoritma ile danışmanlı eğitilmek suretiyle başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu algoritma, hata düzeltme öğrenim kuralına (error correction learning rule) dayanmaktadır. Temel olarak, hatanın geriye yayılarak öğrenimi (error back propagation learning) ileri doğru hesaplama (ağın

çıktısını hesaplama) ve geriye doğru hesaplama (ağırlıkları değiştirme) olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada, veriler giriş katmanına uygulanır. Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Ağ içinde katmandan katmana ileri yönde yapılan işlemler neticesinde ağın çıkış değeri hesaplanır. Bu aşamada ağırlıkları sabittir. İkinci aşama da ise, ağırlıklar hata düzeltme kuralına uygun olarak değişmektedir. Elde edilen çıkış değeri ile istenen değer arasında herhangi bir fark olması durumunda, ağırlıklar bu farkı azaltacak biçimde yeniden düzenlenir. Elde edilen çıkış değerleri, istenilen değerlerle karşılaştırılarak bunların arasındaki fark hata olarak kabul edilir. Hata işareti gizli işlem elemanlarından çıkış birimine olan ağırlıkları değiştirmekte kullanılır. Fakat bunu yaparken giriş katmanından gizli katmana gelenin değiştirilip değiştirilemediğini düşünmek gerekir. Gizli birimlerden ne tür bir çıkış istendiği bilinemeyeceği için gizli birimlerin çıkışında hata işareti verilmesi kolay bir şey değildir. Bunun yerine her birimin çıkış biriminin hatalarına olan etkisi bilinmelidir. Bu ise hatalı birim için gizli birime bağlı olan çıkış birimlerinin hata işaretlerinin toplamı alınarak yapılır.

Çok sayıda gizli katmana sahip sistemlerde, her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işlemlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Ağırlık düzeltme işleminin çıkış katmanına bağlı ağırlıklardan başlaması ve ağırlıklara ters yönde giriş katmanına kadar devam etmesinden ötürü bu algoritma "hatanın geriye yayılması algoritması" (back-propagation algorithm) olarak adlandırılmaktadır (Haykin 1999).



Şekil 7.1. |n:m:p| mimarisine sahip çok katmanlı perceptronun şematik yapısı

7.2.3. Verilerin normalizasyonu

Yapay sinir ağlarının en belirgin özelliklerinden olan doğrusal olmama özelliğini anlamlı hale getiren yaklaşım, verilerin bir normalizasyon işlemine tâbi tutulmasıdır. Gerçek sistemden elde edilen ölçüm değerleri YSA modelinde kullanılabilecek bir yapıya sahip değildirler. Verilerin normalizasyonu, girdi setindeki her bir parametrenin modelin tahmin işlemine eşit ölçüde katkıda bulunmasını sağlar. Şayet girdi setindeki parametreler normalize edilmez ise sayısal olarak düşük bir aralıkta salınan bir parametrenin etkisi daha geniş aralıkta salınan diğer bir parametreye göre daha önemsiz kalacaktır. Bu olumsuzluk kullanılacak öğrenme fonksiyonunu da başarısız kılabilir. Bu durumu ortadan kaldırmak ve her bir parametrenin modele eşit bir şekilde katkıda bulunmasının sağlamak amacıyla veri setindeki bütün parametre değerleri kendi salınım aralıklarında normalize edilmiştir. Farklı normalizasyon denklemleri bulunmasına rağmen, genellikle MLP YSA modelinde giriş ve çıkış değerlerinin 0-1 aralığında normalize edilmesi tercih edilmesi nedeniyle bu çalışmada da veri setindeki parametreler denklem 7.1 kullanılarak normalize edilmiştir.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad \textbf{(7.1.)}$$

Burada;

X_{norm} : x verisinin normalize edilmiş şekli

X : gerçek değer

X_{min} : veri grubunun minimum değeri

X_{max} : veri grubunun maksimum değeri

Eğitim ve test esnasında normalize edilmiş giriş ve çıkış değerlerinin kullanılması aşamasından sonra, sonuçlarının yorumlanabilmesi için veriler ters normalize işlemine tabi tutulmak suretiyle orijinal değerlerine çevrilmiştir.

7.2.4. Performans kriterleri

Öğrenme performansını etkileyen önemli faktörlerden biriside performans fonksiyonudur. Eğitim ve test aşamalarında, gerçek değerler ile model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki hata hesaplaması optimum ağ yapısının tespitinde performans kriteri olarak kullanılmıştır. Literatürde hata hesaplaması için kabul görmüş genel bir performans fonksiyonu bulunmadığından ötürü, sıkça kullanılan tipik performans fonksiyonlarından aşağıdaki eşitliklerde verilen fonksiyonların kullanılmasına karar verilmiştir.

$$R^2 = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}} \qquad \textbf{(7.2)}$$

$$\text{Hata } (\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{k} |d(i) - a(i)|}{m * n} \right) * 100 \qquad \textbf{(7.3)}$$

d(i) : arzu edilen çıktı

a(i) : YSA çıktısı

k : test edilen örnek sayısı

m : testteki basamak sayısı

n : YSA çıktı sayısı

$$\text{Ortalama Karesel Hata (MSE)} = \frac{1}{N} \sum_{i:1}^{N} (t_i - t_{di})^2 \qquad \textbf{(7.4)}$$

Burada t_i model tahmin değerini, t_{di} gerçek değerini, N ise hatalı terim sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada, model performansının tespitinde korelasyon katsayısının karesi (R^2), ortalama karesel hata (MSE) birlikte değerlendirilmiştir.

7.3. YSA' nın Kullanımı Eğitim ve Verifikasyon

Meteoroloji Seçenekleri modellemede kullanılacak meteorolojik veri setinin, verilerin ait olduğu yıl ve bölgenin programa girildiği parametredir. Modelleme çalışmalarında çalışma alanına yakın olan Konya Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılmıştır.

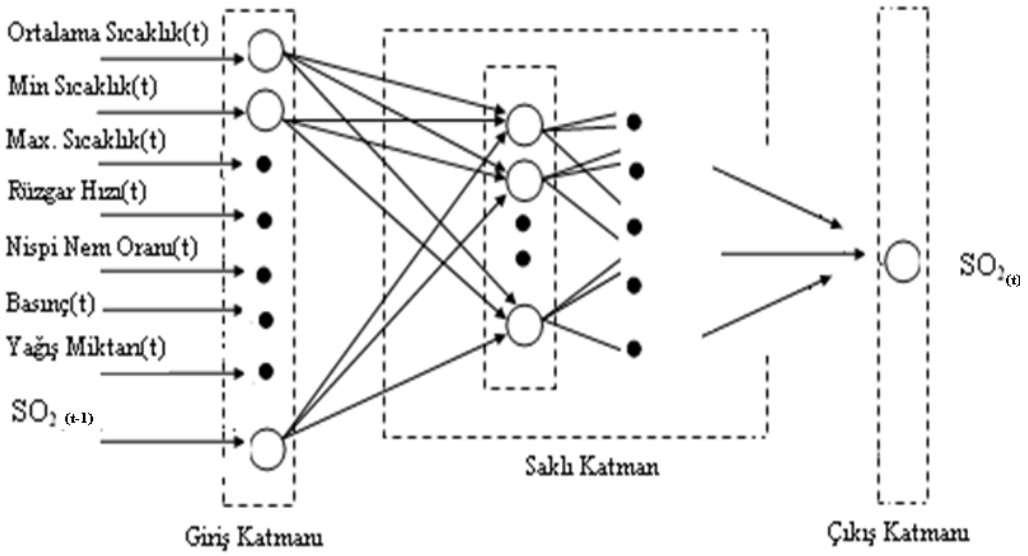
Bölgeye en yakın ve bölgenin meteorolojik özelliklerini en uygun biçimde yansıtan meteoroloji istasyonu olan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Konya Meteoroloji İstasyonuna ait rüzgar hızı, sıcaklık, nem, basınç, yağış parametrelerini içeren meteorolojik veri seti ASCII formatında derlenip programa input dosyası olarak girilmiştir.

Çizelge 7.2 MLP modeli

Model	Giriş data	Çıkış data
MLP	$T(t)$, $T_{max}(t)$, $T_{min}(t)$, $WS(t)$, $RH(t)$,$RF(t)$, $P(t)$, SO_2 $(t-1)$	SO_2 (t)

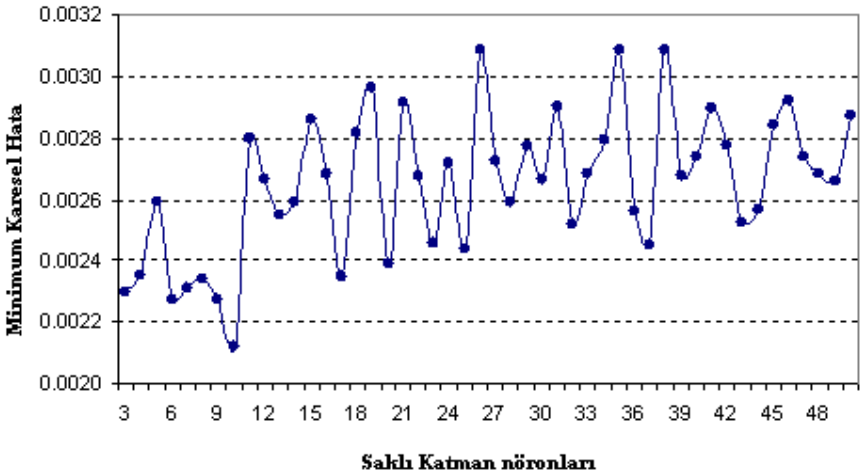
Bu parametrelerle oluşturulan yapay sinir ağları modelinde giriş katmanı 8 nöronlu olarak sabitlenmiştir. Çıkış katmanı da SO_2 konsantrasyonunu temsil eden 1 nörondan oluşmaktadır. Gizli katmanda kullanılan nöron sayısı değiştirilerek en uygun model bulunmaya çalışılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı en uygun 10 olarak bulunmuştur.

Eğitim verileri için korelasyon katsayısı (R^2) 0,82 ve test verileri için 0,70 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen YSA ağ modeli ağ topolojisi Şekil 7.2'de verilmektedir.



Şekil 7.2. SO_2 tahmin için geliştirilen YSA modeli ağtopolojisi (Dursun ve ark.2006)

Oluşturulan modelin gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki nöronların sayısı, aktivasyon fonksiyonu değiştirilerek en uygun ve genelleme kabiliyeti en yüksek model bulunmuştur. Test verileri için yüzde hata (%E) değerleri oldukça düşük bulunmuştur. Değerler eğitim verileri için 3,39 ve test verileri için 3,11'dir. Test verilerinde % hata daha da azalmıştır. Minimum karesel hata (MSE) değeri ise çok küçük değerlerdedir. Sırasıyla eğitim ve test verileri için 0,00295 ve 0,00212. Bu sonuçlarda YSA'nın performansının oldukça iyi olduğu görülmektedir (Şekil 7.3)



Şekil 7.3. Saklı katmana ait minimum karesel hata.

7.4. SO_2 Verilerinin Kullanıldığı YSA Uygulama Sonuçları

7.4.1. Model performansını ve öğrenme aşamasını etkileyen parametrelerin durumu

Yapay sinir ağları modellerinden çok katmanlı perceptron modelinin eğitilmesi, model içi birkaç parametrenin iteratif yöntemle değiştirilmesi ve en uygun değerlerinin bulunması ile ağırlık uzayının oluşturulması şeklinde olmaktadır. Bu parametreler;

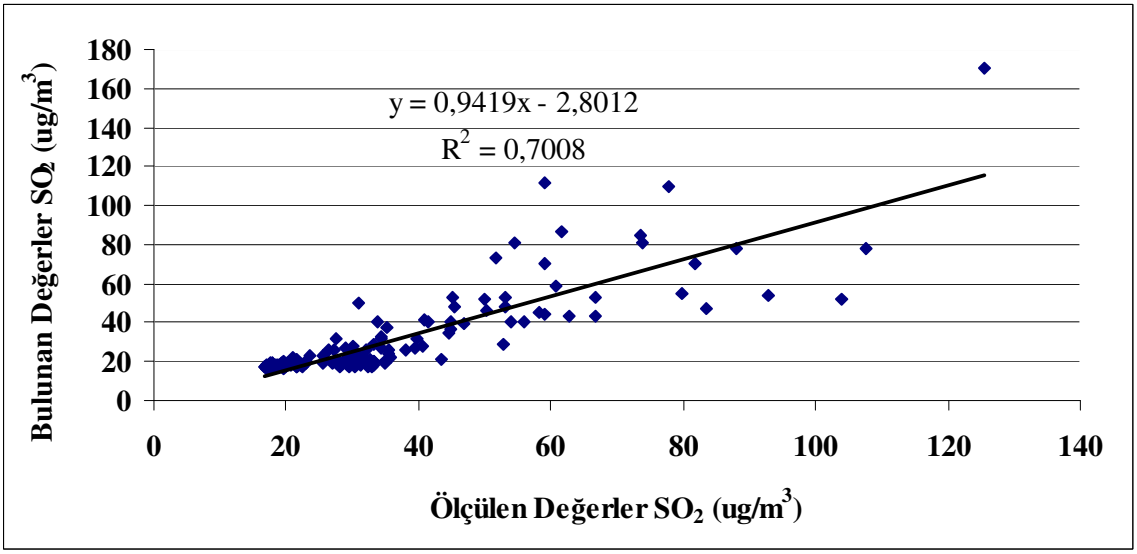
- Gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki toplam nöron sayısı,
- Nöronlarda kullanılan aktivasyon fonksiyonu,
- Öğrenme ve momentum katsayıları,
- Öğrenme algoritması,
- Ağırlıkların başlangıç değerleri ve değişim aralıkları.

Atmosfer ortamı ve özellikle hava kirliliği modellemesi ile ilgili olarak şimdiye kadar yapılan literatür çalışmalarında görülmüştür ki, aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu atmosfer ortamının nonlineer yapısını karakterize edecek davranışa sahiptir (Boznar ve ark. 1993, Gardner ve ark. 1998). Yine ilgili literatürde 1'den fazla gizli katman kullanılması model için ilave bir genelleme kabiliyeti ortaya koymamaktadır. Aksine ezberleme eğiliminin artmasının yanı sıra uzun hesaplama zamanı gerektirmektedir. Ayrıca yapılan denemeler sonucunda görülmüştür ki gizli katmandaki nöron sayısı yeterince arttırıldığında model, öğrenme setini %100'e varan oranlarda doğrulukla tanıyabilmektedir. Çünkü modelde öğrenme setinin tamamını temsil edecek miktarda ağırlık katsayısı bulunmaktadır. Bir başka deyişle modelin ağırlık uzayı öğrenme setindeki bütün verileri temsil edecek genişlikte olmaktadır. Fakat böyle bir model çok düşük genelleme kabiliyetine sahip bir modeldir ve öğretilmediği değişik meteorolojik durumları, genelleme özelliği zayıf olduğu için doğru tahmin edememektedir.

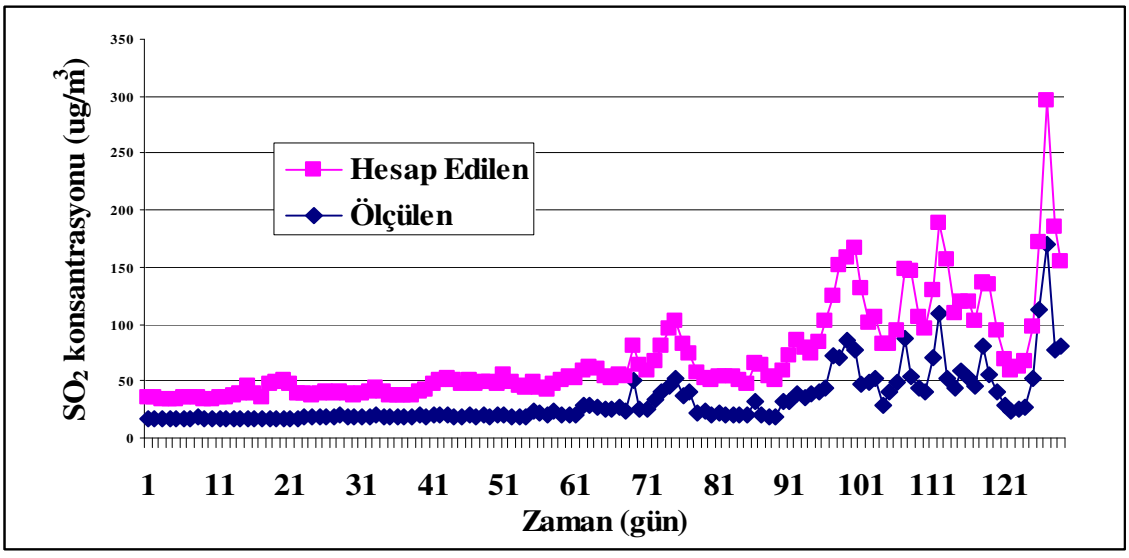
Öğrenme katsayısının alacağı değer konusunda kesin bir kural olmayıp tamamen veri setinin yapısına bağlıdır. Mesela Boznar ve ark. (1993) çalışmalarında öğrenme katsayısını 0,6 almışlardır. Bizim çalışmamızda gradient descent algoritmasını kullandığımız için öğrenme katsayısı ve momentum katsayısı

değerlerini, nöronlar arası ağırlıkları her defasında otomatik olarak hesaplayarak en uygun değeri seçmektedir.

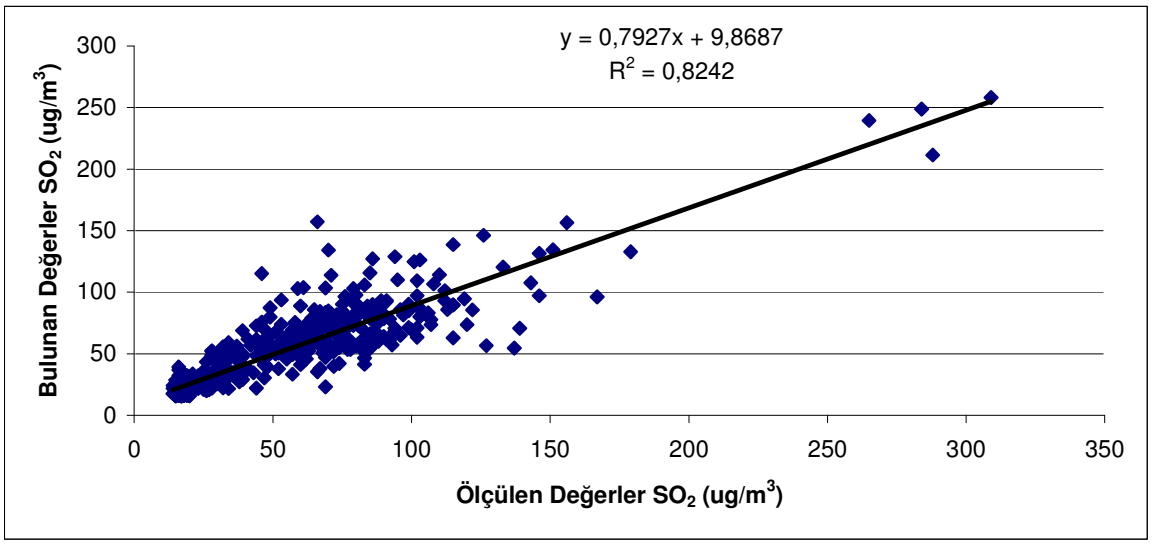
Reel sayılardan oluşan veri seti kullanıldığında (bu çalışmada olduğu gibi) gizli katmanda kullanılan nöron sayısı ile ilgili olarak herhangi bir kural yoktur.



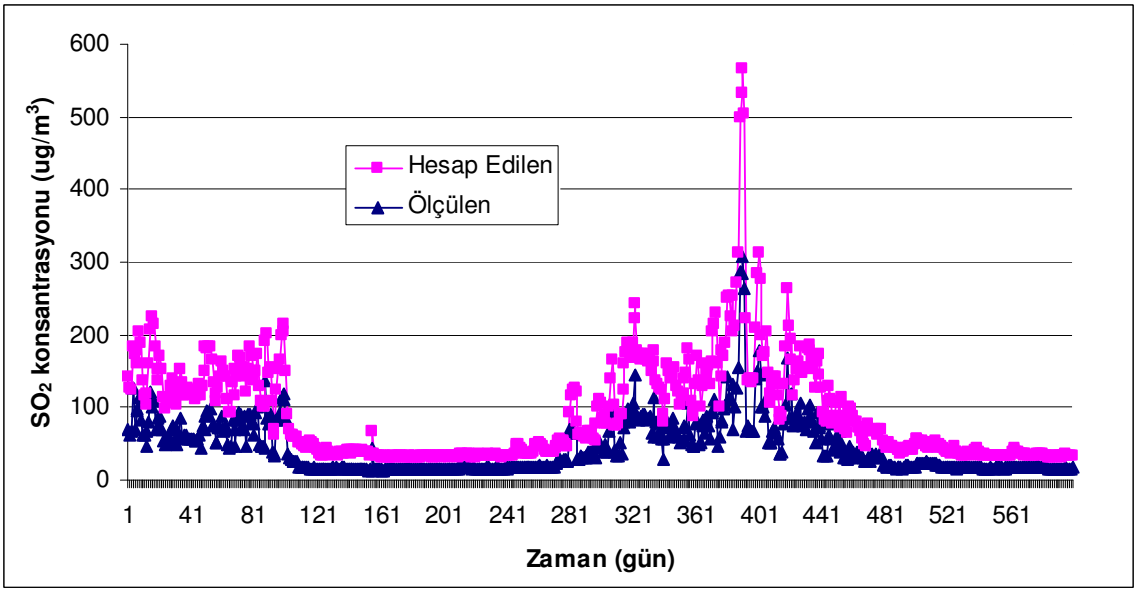
Şekil 7.4 SO_2 konsantrasyonlarının test setinde beklenen ve bulunan veriler arasındaki korelasyon



Şekil 7.5 8-10-1MLP model yapısı için test verileri için ölçülen ve hesap edilen SO_2 değerleri



Şekil 7.6 SO_2 konsantrasyonlarının eğitim setinde beklenen ve bulunan veriler arasındaki korelasyon



Şekil 7.7 8-10-1 MLP model yapısı için eğitim verileri için ölçülen ve hesap edilen SO_2 değerleri

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Elde edilen (Bölüm 7'deki) grafikler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

1. Yapay sinir ağları modelleri hava kirliliği tahminlerinde eldeki verinin kalitesi ve miktarına bağlı olarak oldukça iyi sonuçlar verebilmektedir. Veriler (patern sayısı) ne kadar çoksa model o kadar fazla durumu öğrenebilmekte, dolayısıyla genelleme kabiliyeti o kadar fazla olmaktadır. Test seti sonuçlarını gösteren grafikler incelendiğinde SO_2'in kış aylarındaki yüksek değerlerden ilkbahar ve yaz aylarına doğru düşüş eğilimi ve yine kış aylarına doğru yükseliş eğilimi yapay sinir ağları modeli ile oldukça iyi temsil edilebilmektedir.
2. Verilerin miktarının yanında kullanılan girdi ve çıktı parametrelerinin kendi oluşum aralıklarındaki değer çeşitlilikleri de ne kadar fazla ise modelin bu çeşitlilikleri öğrenebilme kabiliyeti de o derece iyi olmaktadır. Yani model o kadar çok hava kirliliği durumu öğrenebilmektedir. Mesela 100 $\mu g/m^3$ SO_2 kirlilik seviyesini oluşturan ne kadar çok çeşitli meteorolojik durum varsa ve bu durumlar veri setinde patern olarak ne kadar çok temsil edilmişse modelin bu çıktı değerini o kadar iyi öğrenmesi söz konusudur. Yani model her türlü meteorolojik şartlarda oluşan 100 $\mu g/m^3$ SO_2 kirlilik seviyesini kendisine tanıtıldığı ölçüde çok yönlü tanıyacaktır. Yine test sonuçlarını gösteren grafikler incelendiğinde SO_2 seviyesinin düşük olduğu ilkbahar ve yaz aylarındaki oluşumlar genelde düşük ve bu sezon boyunca çok küçük salınımlar dahilinde sabit kaldığı için model bu aralıkta SO_2 seviyelerini herhangi bir sabit değermiş gibi çok geniş ve çeşitli girdi parametreleri aralığında tanımlayıp algıladığı için bu aylardaki tahmin kabiliyeti oldukça yüksek olmaktadır. Bu durum, aksi olarak kış aylarında ki SO_2 seviyelerinde oldukça çok miktarda ve büyüklükte salınımlar olduğu ve bu salınımların her biri ayrı birer durum olarak ortaya çıktığı için bu çeşitli durumlar kendi başlarına veri seti içinde patern olarak çok fazla temsil edilememektedir. Dolayısıyla modelin bu durumları çok iyi algılayıp öğrenme şansı da olmamaktadır. Bunun sonucu olarak ilk duruma göre tahmin

kabiliyeti düşük olmaktadır. Bu noktada suni bir iyileştirme metodu olan sınıf eşitlemesi yöntemi model performansını arttırıcı yönde etki göstermektedir.

3. Bu çalışma da kullanılan veri seti ile elde edilen sonuçlar her ne kadar 10 gizli katman nöronlu YSA modelleri üzerinde yoğunlaşılmış ise de, bu sonuçlar kullanılan veri setine bağlı olarak değişebilir. Daha büyük veri seti (hem günlük veri sayısı ve hem de girdi parametreleri sayısı olarak) kullanıldığında en uygun model daha çok gizli katman nöronlu olabilir. Gizli katman nöron sayısı ayrıca parametrelerin kendi değişim aralıklarındaki sayısal çeşitliliklerine bağlı olarak da değişmektedir. Çok fazla sayısal çeşitlilik gösteren parametrelerin model içinde yeterince temsil edilebilmeleri gizli katman nöron sayısına bağlıdır.

8.2. Öneriler

Yapay sinir ağlarının hava kirliliği modellemesinde oldukça başarılı sonuçlar verdiği ortadadır. Burada en önemli husus veri tabanıdır. Veri tabanı ne kadar geniş ve çeşitli ise modelin genelleme kabiliyeti de o kadar iyi olmaktadır. Sadece meteorolojik parametreler kullanılarak yapılan modelleme çalışmasında istatistiksel olarak oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Klasik istatistiksel ve fonksiyonel modelleme tekniklerinde olduğu gibi hiçbir ön şart gereksinimi olmadan ağ modellerinin çeşitli durumları iteratif yöntemlerle birkaç parametre kullanılarak sınanmakta ve en uygun (genelleme kabiliyeti en yüksek) model ortaya çıkmaktadır. Veri tabanının miktar ve kalite bazında genişletilmesi yanında diğer meteoroloji ve kirletici parametrelerinin modele dahil edilmesiyle çok daha iyi sonuçlar alınabilir. Konya'da kullanılan kömür, fuel oil, doğal gaz gibi yakıtların günlük kullanım miktarlarının yanı sıra motorlu taşıtların durumu da hava kirliliğini etkileyen parametreler arasındadır. Bu parametrelerin de modele katılmasıyla kirliliğin kaynak bazındaki etkileri de ele alınmış olur ve daha hassas sonuçlar elde edilebilir.

Model veri miktarı ve parametre sayısı bakımından ne kadar geniş tabanlı olursa verdiği sonuçlar da o kadar güvenilir olur. Kulanmış olduğumuz veriler günlük ortalama değerler olup, hem meteorolojik parametreler hem de SO_2 değerleri için gece ve gündüz değerlerinde önemli faklılıklar görülmektedir. Meteorolojik parametreler günlük değerlerde maksimum ve minimum değerlerde ortalanmakta

buna karşılık SO_2 parametreler de eklenerek ölçüldüğü için aynı paralelliği göstermemektedir. Bu veriler YSA sistemi için tam uygun görülmemekte ancak buna rağmen normalizasyon sayesinde güvenli sonuçlar elde edilmiştir. Meteorolojik parametrelerin ve SO_2 değerlerin saatli yada hiç olmazsa gece ve gündüz ayrı arı ölçülmesi durumunda performans daha da artacaktır.

Yapılmış olan bu çalışma ayrıca diğer kirlilik parametreleri (P.M., NO_x, O_3 vs.) için de yapılabilir. Hatta bu parametreler SO_2 ile birlikte girdi parametreleri içine dahil edilerek SO_2'nin tahmin yeteneğini de arttıracaktır. Bunun için diğer kirlilik parametrelerinin de SO_2 ve PM gibi ölçülmesi daha detaylı bir çalışma yapılmasına imkân sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Alp, K., Tunay, O., 1992. İstanbul'da Hava Kalitesi Yönetimi. İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, İstanbul, 313-323.

Anonim. 2003. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 2 Kasım 1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete. Konya İli Çevre Durum Raporu,. T.C. Konya Valiliği İl Çevre Müdürlüğü, Konya.

Atlı, A., 2002., Hava Kirliliği Dağılımının Belirlenmesi., Yüksek Lisans Tezi., Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.

Aviolat F., Comu T., and Cattani D., (1998), "Automatic Clouds Observation Improved by an Artificial Neural Network", J. Of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol15, pp. 114-126.

Boznar, M., Lesjak, M., Mlakar, P. (1993), A neural network-based method for short-term predictions of ambient SO_2 concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain, Atmospheric Environment, B 27(2) 221-230.

Boznar, M., Mlakar, P., (1995), " Neural-Networks – A New Mathematical Tool for Air Pollution Modelling", Air pollution III Volume I. Air Pollution Theory and Simulation, Computational Mechanics Publications, pp. 259-266, Southampton Boston.

Boznar M., (1997), "Pattern Selection Strategies for a Neural Network-Based Short Term Air Pollution Prediction Mopdel", Proceedings on Intelligent Information Systems, IIS'97, IEEE Computer Society, 0-8186-8216-3, pp.340-344

Caudıll 1987 CAUDILL, Maureen "Neural Network Primar Part 1" AI Expert, December 1987,pp47

Ceyhan N., Şevik H., Pekerşen Ş., 1995. Konya İli Hava Kalitesi Yönetimi ve Kirlilik Raporu, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü III. Ulusal Sempozyumu, 11-13 Eylül 1995, Ankara.

Clair T.A., Ehrman J.M., (1998), Using Neural Network to Ases the Influence of Changing Seasonal Climates in Modifying Discharge, Dissolved Organic Carbon, and Nitrogen Export in Eastern Canadian Rivers", Water Resources Research, Vol.34, pp.447-445, March.

Comrie A.C., (1997), "Comparing Neural Networks and Regression Models for Ozone Forecasting", J. Of the Air and Waste Management Assoc., Vol. 47, pp.653-663, June.

Çınar, K., Koçu, N., 1999., Konya Kentindeki Hava Kirliliğinin Sebepleri ve Sonuçları., Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 17-19 Şubat 1999, Cilt 3. İstanbul.

Dengiz, B., 2000, Sağlık Bilimlerinde Yapay Sinir Ağları, 2000

Dursun, Ş., 1997, Samsun İli Civarındaki Topografik Yapının Bölgenin Hava Kirliliğine etkisi. 20.Yıl Jeoloji Sempozyumu., Selçuk Ünv.Müh.Mim.Fak., Konya.

Dursun,, Ş., Güçlü,, D., Çelebi, F., Yılmaz, N., Modelling of SO_2 concentrations using artificial neural networks. VI-th Int. Scientific Conf., Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection SGEM 12-16 June 2006 Albena Resort, Bulgaria, (2006).

Gardner M.W., Dorling S.R., (1998), "Artifical Neural Networks (The Multi Layer Perceptron) – A Rewiew of Applications in the Atmospheric Sciences", Atm. Env., Vol.32, No14/15., pp.2627-2636.

Gardner M.W., Dorling S.R., (1999), "Neural Network Modelling and Prediction of Hourly NO_x and NO_2 Concentrations in Urban Air in London", Atm. Env., Vol.33, pp.709-719.

Gür, K., Uyanöz, R., Bilgiç, M., Ceylan, N. 1995. Konya'da Hava Kirliliği ve Kalitesi Kontrolünde Klimatolojik Parametrelerin Etkilerinin Araştırılması. Yanma ve Hava Kirliliği kontrolü III. Ulusal Sempozyumu, 11-13 Eylül 1995, Ankara

Haykin, S. 1999. Neural Networks , A Comprehensive Foundation, 842pp., Prentice Hall Internetional Inc. USA, New Jersey.

İncecik, S., 1994. Hava Kirliliği. İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.

Mlakar P., Boznar M., (1994), "Short Term Air Pollution Prediction on the Basis of Artificial Neural Networks" Air Pollution II Volume 1:Computer Simulation, Computational Mechabics Publications, pp.545-552, Southampton Boston.

Mlakar, P., Boznar, M., Lesjak, M., (1994), "Neural Networks Predict Pollution", Air Pollution Modelling and Its Application X Plenum Press. Pp.659-660, New York.

Mlakar P., Boznar M., (1996), "Analysis of Winds and SO_2 Concentrations in Complex Terrain", Air Pollution IV: Monitoring, Simulation and Control, Computational Mechanics Publications, pp. 455-464.

Mlakar P., Boznar M., (1997) "1Perceptron Neural Network-Based Model predicts Air Pollution", Proceedings on Intelligent Information Systems, IIS'97, IEEE Computer Society, 0-8186-8218-3, pp.345-349.

Mlakar p., (1997). "Determination of Features For Air Pollution Forecasting Models", Proceedings on Intelligent Information Systems, IIS'97, IEEE Computer Society, 0-8186-8218-3, pp.350-354.

Müezzinoğlu, A., 2000. Hava Kirliliği ve Kontrolü Esasları. Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.

Öztemel, E. 2003. Yapay Sinir Ağları, 232s., Papatya, İstanbul.

Pankaj ve Wah 1992, Mehra Pankaj Wah W Benjamin, Artificial Neural Networks Concepts and Theory, IEEE Computer Society Press, Washington, 1992, page 45

Peavy, H.S., 1985. Environmental Engineering. McGraw-Hill, USA.

Perautonis S.J. Vasslass N. Anamaidis G.T. et. Al. (1994) "Neural Network Techniques for SO_2 Episode Prediction", Air Pollution Modelling and Its Application X Plenum Press. Pp.305-313, New York.

Potukuchi S., Veder A.S., (1997), "Predicting Vapor Pressures Using Neural Networks", Atm. Env. Vol 3L No.5 pp. 74-75

Reich S.L. Gomez D.R. Daviovsiki L.E. (1999), Artificial Neural Networks For the Identification of Unknown Air Pollution Sources". Atm. Env., 33 pp.3045-3052.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J. 1986. "Learning Internal Representations by Error Propagation", MIT Press, Cambridge, MA.

Rumelhart, D.E., McClelland, J.L., PDP Research Group 1986

Stern, A.C., Boubel, R.W., Turner, D.B., Fox, D., 1984. Fundemantals of Air Pollution, Academic Pres, Inc. Orlando, Florida, USA.

Şen, Z. 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, 183s., Su Vakfı Yayınları İstanbul