

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



150279

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE
BULANIK MANTIK VE YAPAY SİNİR AĞI
UYGULAMALARI

150279

İbrahim DEMİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Güleda ENGİN

GEBZE
2004

....İbrahim....Desmir.....'ın tez çalışması, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .12../.01./200.4.. tarih ve 200.4/12.. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Gerce...Mühendisliği..... Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Gülelde Engin
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Prof. Dr. Mehmet Karpuzcu

ÜYE : Doç. Dr. Murat Esin

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .12../02./200.41 tarih ve 200.4/12..... sayılı kararı.

İmza / Mühür
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAPOĞLU
GYTE Mühendislik ve Fen Bil.
Enstitüsü Müdür Yardımcısı

ÖZET

Yüzyıllar boyunca insan beyninin nasıl çalıştığını merak eden insanlar, insanı model almış ve Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık Mantık başta olmak üzere birçok bilimsel gelişmeyi ortaya çıkarmışlardır. Yeni geliştirilen metotlar, olaylar ile ilgili bilgi toplayabilmekte, eksik bilgileri tamamlamakta, kararlar vermekte ve olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmektedir. Bu çalışmalar, matematiksel olarak ifade edilmiş ve ‘Yapay Sinir Ağları’ ve ‘Bulanık Mantık’ isimleriyle literatüre yerleşmiştir. Çevre Mühendisliği alanında da yoğun olarak uygulanmaya başlanmıştır. Fakat Türkiye’de hala gerekli ilgiyi bulamamıştır. Bu nedenle YSA ve bulanık mantığın kullanıldığı iki uygulama bu tez kapsamında ele alınmıştır.

Bu çalışmanın ilk kısmında bulanık mantık kullanılarak kentsel hava kalitesi sınıfı analizi değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmanın ana amacı bulanık mantığın sentetik değerlendirme teknikleri ile kentsel hava kalitesi sınıflaması için bir metot ortaya koymaktır. Bu kapsamda Ocak 2000 – Ağustos 2001 tarihleri arasında İstanbul’un Avrupa yakasında bulunan 5 farklı hava kalitesi izleme istasyonunda toplanan 5 hava kalitesi parametresi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Amerikan Çevre Koruma Ajansı, Hava Kalitesi İndeksi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile bulanık mantık sentetik değerlendirme tekniklerinin hava kalitesi yönetimi için her yönüyle uygun metotlar olduğu gösterilmiştir.

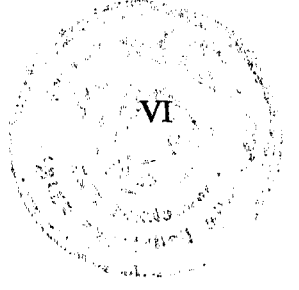
İkinci kısmında ise YSA kullanılarak atıksu kokusu ile Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$) arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada atıksu kokularının karakterizasyonu için bir elektronik burun kullanılmıştır. Numuneler arıtma tesisinin farklı yerlerinden toplanmış ve geri yayımlı YSA kullanılarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, aynı yöntem ile atıksu kokusu ile aynı atıksuya ait $BOİ_5$ arasındaki ilişki de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar YSA’nın atıksu numunelerini sınıflandırmak için kullanılabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda, elektronik burun verilerinin atıksulardaki biyokimyasal aktiviteyi gözlemlemek için de kullanılabileceği ortaya konmuştur.

SUMMARY

Human, who are interested in 'how brain works', took the human being as a model and developed new techniques such as Artificial Neural Networks (ANN) and Fuzzy Logic. With the technological improvements, today, computers can collect information from previous experiences, complete inadequate information, learn relations between the events and give decisions accordingly. These techniques have been mathematically formulated and named as 'Artificial Neural Networks' and 'Fuzzy Logic' in the literature. There is little attention in Turkey in the usage of these techniques in the environmental engineering field. For this purpose, two case studies were carried out and presented.

In the first part of the study, fuzzy logic was used to determine urban air quality classes. The main purpose of this study was to propose a methodology for urban air quality using fuzzy synthetic evaluation techniques. 5 different air pollutants collected between January 2000 and August 2001 at 5 different air quality monitoring stations located in western part of Istanbul was used in this evaluation. The results obtained were compared to those applied to EPA Air Quality Index. It was demonstrated that fuzzy synthetic evaluation techniques are quite appropriate techniques for air quality management.

In the second part, it was aimed to determine the correlation between wastewater odour and Biochemical Oxygen Demand (BOD) by using ANN. An electronic NOSE was used for the purpose of characterizing sewage odours. Samples collected at different locations of a wastewater treatment plant were classified using an ANN trained with a back-propagation algorithm. Also, the relation between sewage sample odours and their related BOD was investigated with the same method. The overall results have indicated that ANNs can be used to classify the sewage samples. Moreover, the electronic nose output could be used as an indicator to monitor the biochemical activities of wastewaters.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, tez yöneticisi hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Güleda ENGİN'e en içten duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

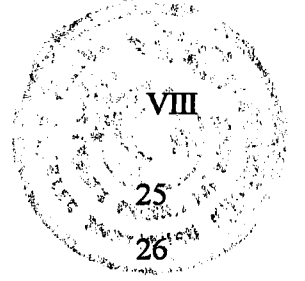
Çalışmalarında desteklerini gördüğüm Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU, bölüm öğretim üyeleri ve araştırma görevlileri; Halil HIZ, Coşkun AYDINER, Şeyda KORKUT ve diğer bölüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma tüm samimiyetimle teşekkür ederim.

İbrahim DEMİR

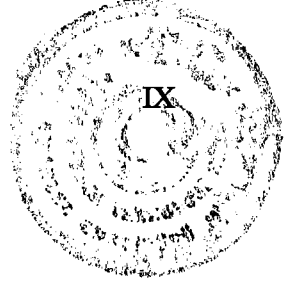
İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
KISALTMALAR DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Belirsizlik ve Karar Verme	1
1.2. Bulanık Mantık	3
1.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)	4
1.4. Kentsel Hava Kalitesi Sınıf Analizi	5
1.5. Atıksu Kokusu ile BOİ ₅ Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi	6
1.6. Kapsam	7
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1. Bulanık Mantık	9
2.1.1. Bulanık Kümeler	9
2.1.2. Bulanık Mantık ile Genel Uygulamalar	13
2.1.3. Bulanık Mantık ile Çevre Mühendisliği Uygulamaları	14
2.2. Yapay Sinir Ağları	15
2.2.1. Yapay Sinir Ağları ile Genel Uygulamalar	17
2.2.2. Yapay Sinir Ağları ile Çevre Mühendisliği Uygulamaları	19
2.3. Değerlendirme	19
3. METOTLAR	21
3.1. Bulanık Mantık'a Dayalı Değerlendirme Metotları	21
3.1.1. Sentetik Bulanık Değerlendirme (SBD)	21
3.1.1.1. Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD)	24



3.1.1.2.Bulanık Benzerlik Metodu (BBM)	25
3.1.1.3.Basit Bulanık Sınıflama (BBS)	26
3.2.Yapay Sinir Ağları – Geri Yayımlı Algoritma	26
4. BULANIK MANTIK İLE HAVA KALİTESİ DEĞERLENDİRMESİ	30
4.1. Saha Çalışması	30
4.2.Hava Kalitesinin Değerlendirmesinde Karşılaşılan Problemler	32
4.3. Hava Kalitesinin Değerlendirmesi	33
4.3.1.Ulusal Hava Kalitesi İndeksi	33
4.3.2.Hava Kalitesi İndeksi	34
4.3.3.SBD Metotları İle Hava Kalitesi Sınıf Analizi	35
4.4.Hava Kalitesi Sınıf Analizi Sonuçları	36
5. YSA KULLANILARAK ELEKTRONİK BURUN DATALARI İLE BOİ ₅ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN TESBİTİ	38
5.1.Elektronik Burun	38
5.2.Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	40
5.3.Elektronik Burun Dataları ile BOİ ₅ Arasındaki İlişkinin Tespiti	40
5.3.1.Atıksu Kokusunun Sınıflanması	41
5.3.2.Atıksu Kokusu ile BOİ ₅ Arasındaki İlişki	41
5.4.YSA ile Elektronik Burun Analizinin Sonuçları	41
5.4.1.Atıksu Kokusunun Sınıflanması	41
5.4.2.Atıksu Kokusu ile BOİ ₅ Arasındaki İlişki	43
6. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	45
6.1.Genel Değerlendirme	45
6.2.Öneriler	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	55
EKLER	



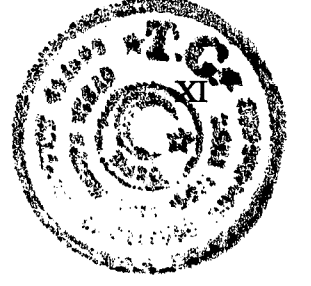
KISALTMALAR DİZİNİ

BBM	Bulanık Benzerlik Metodu (Fuzzy Similarity Method)
BBS	Basit Bulanık Sınıflama (Simple Fuzzy Classification)
BOİ ₅	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
HKİ	Hava Kalitesi İndeksi (AQI-Air Quality Index)
KBD	Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (Fuzzy Comprehensive Assessment)
KVS	Kısa Vadeli Sınır Değer
ÖHK	Öğrenme Hızı Kontrolü (Learn Rate Control)
SBD	Sentetik Bulanık Değerlendirme (Fuzzy Synthetic Evaluation)
UVS	Uzun Vadeli Sınır Değer
YSA	Yapay Sinir Ağları



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. 3'e yakın reel sayılar kümesinin değişik üyelik fonksiyonlarıyla gösterimi	11
2.2. Isı değişkeninin a) bulanık ve b) klasik değişkenler yardımıyla gösterilmesi	12
2.3. Yapay sinir ağı mimarisi	15
2.4. Geri yayımlı ağılarda kullanılan çeşitli transfer fonksiyonları (x eksen girişi değeri, y eksen çıkışı değeri)	16
2.5. Düğümün işleyişi	17
2.6. Geri yayımlı ağı mimarisi	17
3.1. Sınır değerler arasındaki bulanıklık (üst üste gelme durumu)	22
3.2. Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD)	24
4.1. Çalışma Alanının Haritası	31
4.2. Verilerin değişimi a) SO ₂ , b) PM, c) CO, d) NO ₂ ve e) Ozon	32
5.1. Elektronik burunun fotoğrafı.	38
5.2. Elektronik burun sisteminin diyagramı	39
5.3. Elektronik burun verisinden oluşturulmuş tipik bir atıksu koku profili	39
5.4. Ağ çıkış değerleri ile hedef değerleri grafiği	42
5.5. Normalleştirilmiş, ağın çıkış ve hedef değerleri arasındaki korelasyon	42
5.6. BOI ₅ ağ hedef ve çıkış değerleri grafiği	44
5.7. Normalleştirilmiş çıkış ve hedef değerleri arasındaki korelasyon	44



TABLULAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Hava kalitesi değerlendirme kriterleri ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	22
4.1. Hava Kalitesi Standartları	34
4.2. EPA'nın belirlediği HKİ Kategorileri [EPA, 2000].	35
4.3. HKİ ile 3 SBD tekniği (BBM, BBS, KBD) sonuçları	36
5.1. Verilen hata değerleri arasında bulunan çıkış değer sayıları ve yüzdeleri	43



1. GİRİŞ

1.1. Belirsizlik ve Karar Verme

20. yüzyılda, matematik ve bilimde görülen çeşitli paradigma değişiklikleri arasında belirsizlik kavramıyla ilgili olanı belki de en dikkat çekici olanıdır. Bilimde ki bu değişiklik, belirsizliği istenilmeyen bir durum olarak gören ve mümkün olan bütün durumlarda kaçınılması gerektiğinde ısrar eden geleneksel anlayıştan, belirsizliği tolere eden ve bilimde bundan kaçınılmasının mümkün olmadığını iddia eden alternatif bakış açısına doğru dereceli bir geçişle ortaya konuldu. Geleneksel yaklaşıma göre, bilim bütün ortaya koyduğu açıklamalarda kesinlik için uğraşmalıydı ve bundan dolayı da belirsizlik bilimsel olmayan bir şey olarak kabul görüyordu. Alternatif bakış açısına göre ise, belirsizlik, sadece kaçınılması mümkün olmayan bir durum değil, aynı zamanda büyük bir fayda alanı açan ve üzerinde çalışılması gereken önemli bir durumdu.

Bu bakış açısı 19. yüzyılın son çeyreğinde fizikçilerin moleküler düzeydeki çalışmalarıyla değişmeye başladı. Newton'un mekanistik dünyasının kesinlik arz eden kuralları bu işlemlerle ilişkili olduğu halde, bu kuralların gerçek uygulamaları varolan hesaplama tekniklerinin ve hatta temel hesaplama limitlerinin bile çok ötesinde sonuçlara yol açması bakımından imkansız durumlar ortaya çıkarıyordu. Yani, bu kesin kanunların oluşturduğu sonuçların, sadece pratikteki hesaplama metotlarıyla değil teoride bile kullanılması mümkün değildi. Moleküler düzeydeki fizik çalışmalarında ortaya çıkan ve çözüm için farklı bir yaklaşım gerektiren bu ihtiyaç birbirinden bağımsız istatistik metotlarının gelişimine yol açtı. Newton fiziğinde, belirsizliğe yer vermeyen matematiksel analizin rolü istatistiksel mekanikte, olasılık teorisi tarafından karşılandı.

Matematiksel analiz yoluyla elde edilen analitik metotlar birbiriyle ilişkisi öngörülebilir bir şekilde düzenlenmiş çok az sayıda değişkeni içeren problemlere uygulanabilirken, bu durum istatistik metotlar için tam tersi bir karakter taşımaktadır. Bu metotlar çok fazla değişken gerektirdiği gibi aralarındaki ilişki öngörülebilir olmayıp tesadüfi niteliktedir. Bu iki temel metot birbirini tamamlayıcı niteliktedir. Bu tamamlayıcılığa rağmen, bu metotlar sadece içinde komplekslik veya tesadüfilikten

birini bulunduran problemlerin çözümü için işe yararlar. Çoğu problem aslında bu iki uç arasında yer almaktadır. Bu tür sistemler deterministik olamayan zengin ilişkilere sahip doğrusal olmayan sistemlerdir.

Genelde, problemlere sistemler aracılığıyla yaklaşırsınız. Bu sistemler, gerçekliğin bir kısmının modellenmesi olarak inşa edilirler. Bir model kurarken, her zaman beklenen fayda en yüksek yapılmaya çalışılır. Bu amaç, bütün sistemlerin modellerinde üç temel nitelikte yakından ilişkilidir; karmaşıklık, güvenilirlik ve belirsizlik. Bu nitelikler ve istenilen amaç arasındaki ilişki henüz tam anlamıyla anlaşılabilmiş değildir. Faydanın en yüksek olabilmesi için belirsizliğin bu nitelikler arasında en önemli yeri tuttuğu bilinmektedir. Fakat, yalnız başına değerlendirildiğinde genellikle istenilmeyen bir durum olan belirsizlik, diğer niteliklerle ilişkisinin getireceği sonuçlar itibarıyla önemli bir değer taşır. Belirsizliğin fazlalaşmasına izin vermek, karmaşıklığın azalmasına sebep olurken güvenilirliğin artmasına yol açar. Sistem modellenmesinde, her bir modelleme problemi için optimum seviyede belirsizliğe izin veren metotlar geliştirmek izlenilecek en iyi yoldur.

Araştırmacılar tarafından yapılan incelemeler, belirsizliğin bu önemli rolünün anlaşılmasını ve geleneksel anlayıştan belirsizliği temel alan modern anlayışa geçişi sağlayan dönüşümü başlatmıştır. Bu dönemde, ihtimal teorisinden farklı olarak belirsizlikle ilgili bir çok teoremin ortaya çıktığı görüldü. Bu teorilerle aynı zamanda birden çok belirsizlik türünün olduğu ve ihtimaller teorisinin bu belirsizlik türlerinden sadece biriyle ilgilendiği ortaya çıkmıştır.

1930'larda ünlü Amerikan filozofu Max Black tarafından belirsizliği açıklayıcı öncü kavramlar geliştirilmiş olsa bile, bugün 1965'te Lotfi Asker Zadeh tarafından yayınlanan makale modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir adım olarak kabul edilir. Zadeh, bu makalede, kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştu. Zadeh'in bu makalesinin önemi, sadece ihtimaller teorisine karşı duruşu değil, ayrıca ihtimaller teorisinin temelini oluşturan Aristo mantığına karşı olan meydan okumasıydı.

Bulanık küme teorisinin üyelikten üye olmamaya dereceli geçişi ifade etmesindeki yeteneği geniş faydaları olan bir niteliktedir. Belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasının yanısıra, doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramları da anlamlı bir şekilde temsil etmektedir. Fakat Aristo mantığı üzerinde temellenen, klasik küme teorisi verilen bir alana ait bütün bireyleri incelenen özelliğe göre ikiye ayırır; kümeye ait olan elemanlar ve ait olmayanlar. Kümeye üye ve üye olmayan elemanlar arasında kesin ve belirsiz olmayan bir ayrım vardır. Doğal dilde ifade edilen ve üzerinde çalıştığımız çoğu sınıflandırma kavramı, bu türde bir karakterde değildir. Örneğin; uzun insanlar kümesi, pahalı arabalar kümesi, yakın sürüş mesafesi, güvenilir kar araçları, birden çok büyük sayıların oluşturduğu küme gibi kavramlar klâsik kümenin öngördüğü şekilde incelenemezler. Bu kümeleri, kesin olmayan sınırlara sahip olarak kabul ederiz ve üyelikten üye olmamaya geçişin dereceli olduğunu göz önüne alarak işlem yaparız.

Bulanık bir küme, çalışma yapılan alana ait her bir bireye matematiksel olarak kümedeki üyelik derecesini temsil eden bir değer atayarak tanımlanır. Bu değer, elemanın bulanık küme tarafından ifade edilen kavrama, uygunluk derecesini ifade eder. Bundan dolayı bireylerin kümeye ait olması farklılaşır. Üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılarla temsil edilirler. Tam üye olma ve üye olmama durumu, bulanık kümede hala sırasıyla 1 ve 0 değerleriyle karşılanır. Bundan dolayı da, klasik küme kavramı bulanık küme kavramının bu iki değere kısıtlanmış özel bir şekli olarak görülebilir.

Bulanık küme üzerine yapılan araştırmalar ortaya çıktığı günden bu yana hızla artmıştır. Oluşturduğu kavramsal çerçeve ve sonuçları itibariyle şu anda oldukça geniş bir perspektife sahiptir. Uygulama alanlarının genişliği ve bu alanlarda oluşturduğu sonuçların etkisi bakımından bulanık küme teorisi bugün bilimsel çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. [Klir, 1995]

1.2. Bulanık Mantık

Matematiğin bütünlüğündeki ve doğruluğundaki başarısında Aristo'nun ve onun izinden giden düşünürlerin büyük katkısı olmuştur. Matematik, onların mantık teorisini

oluşturma çabaları ile gelişmiştir. Düşüncenin yasaları geliştirilmiş ve her önermenin doğru/yanlış olması gerektiği öngörölmüştür. Perminedes M.Ö. 400’de bu kavramı ilk ortaya attığı zaman bile karşı görüşler oluşmaya başlamıştır.

Heraklitus bazı şeylerin aynı anda hem doğru olmasının hem de doğru olmamasının mümkün olabileceğini savunmuştur. Plato, bulanık mantığı oluşturacak temel düşünceyi doğru ve yanlışın iç içe girdiği üçüncü bir durumu belirterek oluşturmuştur. Hegel ve Marx gibi düşünürler bu düşünceyi desteklemiş ancak ilk kez Lukasiewicz, Aristoteles’in iki-değerli mantığına sistematik bir alternatif getirmiştir.

1900’lerin başında Lukasiewicz 3. bir değer ortaya atmıştır: “olası”. Lukasiewicz daha sonra doğru ile yanlış arasında sonsuz farklı değerler atanabileceğini göstermiştir. Lukasiewicz ve onu izleyen diğer matematikçiler bu değerleri matematiksel olarak ifade etmiş olsalar da, 1965 yılında Lotfi A. Zadeh, bu değerleri $[0, 1]$ aralığındaki sayılarla ifade ettiği teorisini “Bulanık Mantık” adlı çalışmasında tanımlayana dek, sonsuz-değerli mantık, uygulamada başarılı olamamıştır. Zadeh’in çalışmasının ardından uygulamalar artarak devam etmiştir. Gelişmiş bilgisayarların kullanımı ile de uygulama alanları genişlemiştir. Günümüzde ev aletlerinde, otomatik kontrol sistemlerinde, bir çok bilim ve mühendislik alanlarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

1.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, geçmişteki deneyimlerden faydalanarak ilgili olaylar hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha önce hiç karşılaşmadığı bir durum karşısında öğrendiği bilgileri kullanarak olaylar hakkında karar verebilmektedir. Uzun zaman insanların zihnini meşgul eden ‘İnsan zekası veya sinir sistemi taklit edilebilir mi?’, ‘İnsan gibi düşünen bilgisayarlar veya robotlar yapılabilir mi?’ gibi sorular hayal gibi görünse de zaman içinde gelişmeler bunun bir hayal değil gerçek olabileceğini göstermiştir.

Matematiksel olarak ifade edildiğinden beri bilgisayarların öğrenmesine öncölük eden YSA’da oldukça hızlı bir gelişme görölmüştür. Kısa zamanda araştırmacıların

dikkatlerini üzerine çeken bir bilim dalı olmayı başarmış ve çalışmalar laboratuvarlardan çıkarak günlük hayatın bir parçası haline gelmeye başlamıştır. YSA, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenmeyi taklit ederek yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yeteneklere sahip olduğundan hem yeni gelişmelere neden olmuş hem de insan beyni hakkında yapılan araştırmalara da önemli katkılar sağlamıştır.

Güçlü bilgisayarların gelişmesi ile kullanımı artmış, kısa bir zaman içinde, çok sayıda yapay sinir ağı modeli geliştirilmiş ve sayısız uygulama ortaya çıkmıştır. Yapılan uygulamalar bu sistemlerin gelecekte insan hayatında daha fazla yer bulacağını göstermiştir. Özellikle kompleks sistemlerde, doğrusal olmayan modellerde ve çok sayıda bilginin değerlendirilmesini gerektiren olaylarda bu sistemler etkin ve başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

1.4. Kentsel Hava Kalitesi Sınıf Analizi

Birçok endüstrileşmiş ve gelişmiş şehirler yılın büyük bölümünde kötü hava kalitesine maruz kalmaktadır. Hava kirliliği çoğunlukla karayolu taşımacılığı, endüstriyel emisyonlar ve insan aktiviteleri sonucunda oluşmaktadır. Otoriteler, hava kalitesi yönetimi için, birçok parametreyi hesaba katmak zorundadırlar ve bu da prosesi güçleştirmektedir. Hava kalitesi değerlendirmesi için farklı araştırmacılar tarafından değişik metotlar, çoğunlukla sınıf belirleme (indeks) amaçlı olarak kullanılmıştır [Inhaber, 1976, Ott, 1978, Rossbach et al, 1999, Bhuyan et al, 2003]. Yaygın olarak kullanılan ve oldukça basit bir metot olan Hava Kalitesi İndeksi (HKİ^{*}), Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA-Environmental Protection Agency) tarafından geliştirilmiştir. Bu metot ile kirleticili konsantrasyonuna bakılarak, önceden belirlenen sınıflardan hangisine girdiği belirlenmektedir. Fakat, her çevresel değerlendirmede olduğu gibi, kirleticilerin ve bunların konsantrasyonlarındaki belirsizlik yüzünden, hava kalitesi açısından bir kesinsizlik veya bulanıklık söz konusudur. Bu bulanıklık bazı araştırmacıları [Fisher, 2003] bulanık mantığa dayanan akıllı sistemler olarak adlandırılan daha gelişmiş değerlendirme metotları kullanmaya itmiştir.

^{*} Air Quality Index (AQI), EPA

Bu çalışmada Sentetik Bulanık Değerlendirme (SBD) metotları olan Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD), Bulanık Benzerlik Metodu (BBM) ve Basit Bulanık Sınıflama (BBS) metotları hava kalitesi değerlendirmesinde kullanılmış ve bu 3 metot EPA'nın hava kalite indeksi ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla İstanbul'un Avrupa yakası için kentsel hava kalitesi değerlendirme amaçlı bir örnek çalışma yapılmıştır.

1.5. Atıksu Kokusu ile BOİ₅ Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

Atıksu arıtma tesislerinin çoğu, hava kirliliğinin en kötü formu olan istenmeyen kokular yayarlar. Atıksu arıtma tesislerinden kokunun yayılımı çoğunlukla atıksuyun doğasından dolayı engellenemez [Bourgeois and Stuetz, 2002]. Atıksu doğası gereği kokulu bir sıvıdır. Evsel atıksudaki organik maddenin bozunması koku yapan gazların açığa çıkmasına neden olur. Atıksu arıtma prosesinin her aşaması kokuya sebep olan bileşikler yayar ve bu bileşikler atıksu arıtma tesislerinin bir ünitesinden diğerine farklılık gösterir. Atıksu organik parçacıklar, çözünmüş madde, sülfür ve nitrojenli bileşikler içerdiği için, atıksu arıtma tesisinin bazı aşamalarında doğrudan veya dolaylı olarak istenmeyen kokulara neden olurlar. Oksijen azlığı veya uzun süreli bekleme zamanları da atıksuyun istenmeyen bir kokuya sahip olmasına neden olur. Atıksu, kanal sisteminde veya depolama aşamasında oksijensiz şartların oluşması da atıksu kokusunun şiddetini arttırabilmektedir.

Atıksu yönetiminin 3 aşaması olan, toplama, arıtma ve bertaraf işlemleri potansiyel olarak koku oluşturur, fakat dikkatli bir tesis tasarımı ve yönetimi kokunun etkilerini minimuma indirebilir ve genel koku problemini kontrol altında tutabilir. Arıtma tesislerindeki farklı aşamalar, atıksuyun fiziksel ve biyolojik karakteristiğinden dolayı farklı kokulara sahiptir. Ayrıca kötü kokuların emisyonunu etkileyen çözünmüş gazları adsorplayan katıların içeriği, türbülans, havalandırma ve açığa çıkan sıvı yüzeylerin alanı gibi bir çok faktör vardır.

Atıksu arıtma çalışmalarında koku probleminin çözümü kokunun tespiti ve kaynaklarının belirlenmesi ile başlar. Bunun için birçok koku ölçüm metodu kullanılmaktadır. Kişilerden oluşan koku algılama panelleri [Brennan and Kenny, 1994],

7

hidrojen sülfür analizi [Toogood, 1993], koku potansiyeli [Hobson, 1994] koku ölçüm metodlarından bazılarıdır. Gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS) ise ayrı bir ölçüm metodudur. Gaz kromatografinin kullanımının dezavantajı gaz akımındaki her kimyasal ayrı ayrı ölçüldüğünden insan koku algılama sistemini taklit edemez. Çalışmalar, atıksuyun aynı noktasından alınan numunelerin içeriğinin bile değişebildiğini göstermiştir. Ayrıca farklı kaynaklı atıksular da kokuda değişime neden olur. Bu gibi örnekler, tipik atıksu kokusu gibi bir tanımlamanın yapılmasını güçleştirmektedir. Bu yüzden, atıksuda bir bileşiğin insan koku alma sistemine olan etkisini anlamak, onun varlığını tespit etmeye çalışmaktan daha önemlidir.

Koku sensör sistemi, insanın koku alma sistemine benzer bir şekilde kokunun gücünü elektronik olarak ölçmektedir. Dewettinck ve ark. [2001] arıtılmış evsel atıksuyun elektronik burun ile, uçucu bileşikler bakımından kalitesini gözlem ve kontrol kabiliyetini araştırmıştır. Daha önceki çalışmalarda, farklı tipte atıksu numuneleri çok değişkenli istatistiksel metodlarla incelenmiştir [Stuetz et al, 1999]. Aynı çalışmada, 1 aylık zaman aralıkları için elektronik burun verileri ile BOİ₅ arasında yüksek korelasyon olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada ise yapay sinir ağları kullanılarak, bir atıksu arıtma tesisinde farklı noktalardan toplanan atıksu örnekleri sınıflandırılmış ve elektronik burun verileri ile, ilgili BOİ₅ değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

1.6. Kapsam

Bu çalışmanın amacı akıllı sistemlerin çevre mühendisliğinde, kullanımının tanıtılması ve yaygınlaştırılmasıdır. Bu amaçla yapılan örnek çalışmalar çevre mühendisliği alanında yeni uygulamalardır. Çalışmanın ilk kısmında bulanık mantık ile kentsel hava kalitesi sınıf analizi değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışma ile duyarlı hava kalitesi analizi ve 6 sınıf analiz tanıtılmış ve 4 farklı hava kalitesi analiz metodu karşılaştırılmıştır. İkinci kısımda ise yapay sinir ağları kullanılarak, yine bir hava kirliliği problemi olan, atıksu kokusu ile BOİ₅ arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapay sinir ağlarının sınıflama analizine ve fonksiyona yaklaşma tekniklerine birer örnek gösterilmiştir. Atıksu analizinde önemli bir parametre olan BOİ₅ ile atıksu kokusu



arasındaki ilişki incelenmiştir. Klasik BOİ₅ analizine alternatif yapay sinir ağları destekli anlık BOİ₅ izleme yöntemi önerilmiştir. Doğrusal olmayan, kompleks sistemler, sistem sınır değerlerindeki kesinsizlik ve bulanıklık durumlarında akıllı sistemlerin başarıları gösterilmiştir.





2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık teorisi ilk olarak Zadeh [1965] tarafından ortaya atılmıştır, ancak bu metot 1980'lerin başında popüler olmaya başlamış ve özellikle elektronik ve bilgisayar alanlarındaki araştırmacılar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise bu metot farklı disiplinlerde kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık mantık teorisi basitçe ifade etmek gerekirse gerçek durumlardaki belirsizlikleri aşmak için oluşturulmuş bir yöntemdir.

2.1.1. Bulanık Kümeler

Klasik kümeler üye olma ve üye olmama ilişkisi çerçevesinde geliştirilmiştir. Bu tür kümeleri ifade etmek için özel bir fonksiyon tanımlanabilir ve bu fonksiyona karakteristik fonksiyon denilir. Karakteristik fonksiyon her bir elemana 1 ve 0 değerlerinden birini üyelik durumuna göre atayarak evrensel küme üzerinde tanımlanan ve bizim ilgilendiğimiz özelliğe sahip olan elemanların oluşturduğu kümeyi belirler.

Örneğin; X evrensel kümesi üzerinde belirli bir özelliği taşıyan elemanları ayırarak oluşturduğumuz A kümesini karakteristik fonksiyon (2-1) yardımıyla;

$$\forall x \in X, \quad X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2-1)$$

verilir. Fonksiyon A kümesine ait elemanlara 1 değerini, ait olmayan elemanlara ise 0 değerini atamaktadır.

Bu fonksiyon, evrensel kümenin elemanlarına belirli bir aralıkta olmak üzere ve gözlem altındaki kümenin elemanlarının üyelik derecelerini ifade edecek biçimde genelleştirilebilir. Daha yüksek değerler üyelik derecesinin yüksekliğini gösterir. Bu fonksiyona üyelik fonksiyonu ve bu fonksiyonun oluşturduğu kümeye bulanık küme denir.

X boş olmayan bir küme olsun. X 'deki bir bulanık A kümesi

$$\forall x \in X \text{ için; } A: X \rightarrow [0,1] \quad (2-2)$$

fonksiyonu (2-2) ile verilir.

A 'ya bulanık kümeye karşılık gelen üyelik fonksiyonu adı verilir. Bulanık A kümesi ise X 'deki her elemanın üyelik derecesiyle birlikte oluşturduğu kümedir. x 'in A 'ya ait olma veya üyelik derecesi $A(x)$ olarak okunur (μ_A olarak da gösterilebilir).

Üyelik fonksiyonunun değer aralığı için yaygın olarak $[0,1]$ aralığı kullanılır. Bu durumda, her üyelik fonksiyonu bir klâsik evrensel kümenin elemanlarını bu aralıktaki bir sayıya karşılık getiren bir fonksiyondur.

Bulanık küme kavramının temsili için genel olarak;

$$A: X \rightarrow [0,1] \quad (2-3)$$

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1] \quad (2-4)$$

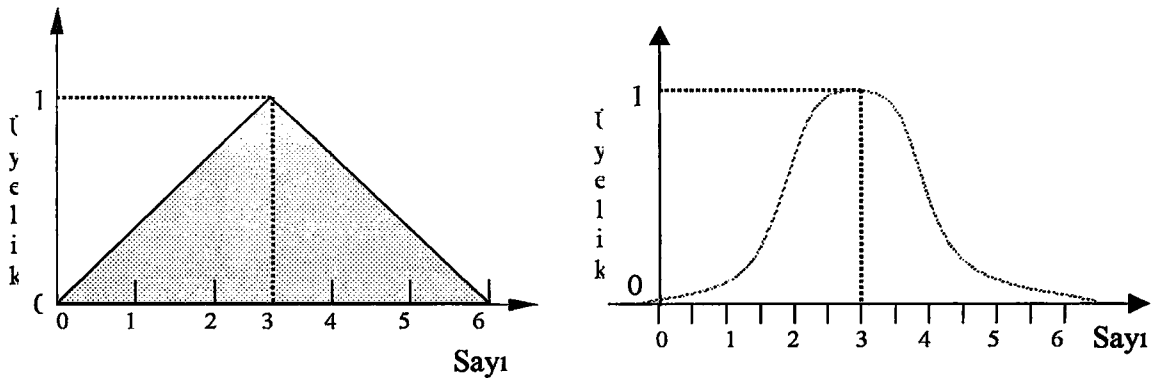
gösterimlerinden biri kullanılır. Her bir bulanık küme tamamıyla ve tek olarak özel bir üyelik fonksiyonu tarafından belirlenir. Bu itibarla gösterimler arasında da bir karışıklık doğmaz. Bu tezde ikinci gösterim şekli kullanılmıştır.

Bulanık kümeler daha önce de ifade edildiği üzere doğal dildeki belirsiz ve bulanık kavramları temsil eder ve onları matematiksel olarak ifade etmeyi mümkün kılar. Bu temsil işlemi sadece kavramın kendisine değil kavramın kullanıldığı alana da bağlıdır. Örneğin; “yüksek ısı” kavramı hava olayları için kullanıldığında oluşturulabilecek bulanık kümeyle, bir nükleer reaktör içindeki ısıyı ifade etmede kullanıldığında oluşturulabilecek bulanık kümelerin birbirinden tamamıyla farklı olması gerektiği açıktır. Hatta aynı alan içerisindeki aynı kavramın farklı bulanık kümelerle ifade edilebileceği durumların olması imkân dahilindedir. Fakat, böylesi durumlarda bu farklı kümelerin bazı temel nitelikler bakımından birbirine benzemesi gerekir.

Üyelik fonksiyonları farklı şekillerde olabilir. Özel bir şeklin uygun olup olmayacağını tespiti, çalışılan uygulama alanından elde edilen verilerle belirlenir. Fakat, birçok uygulama bu tür şekil değişikliklerine karşı çok fazla duyarlılık göstermezler. Hesaplama açısından getirdiği kolaylıklar göz önüne alınarak istenilen şekilde üyelik fonksiyonunun seçilmesi, bulanık küme teorisinin esnekliğini yansıtmada öne çıkan bir durumdur. Çoğu durumda, üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları işimizi görecektir niteliklere sahiptir. “3 e yakın reel sayılar kümesi” kavramını temsil eden fonksiyonlar analitik olarak;

$$A_1(x) = \begin{cases} (3-x)/3 & , 0 \leq x < 3 \\ (6-x)/3 & , 3 \leq x < 6 \\ 0 & , \text{diğer haller} \end{cases} \quad A_2(x) = \frac{1}{1+10.(x-3)^2} \quad (2-5)$$

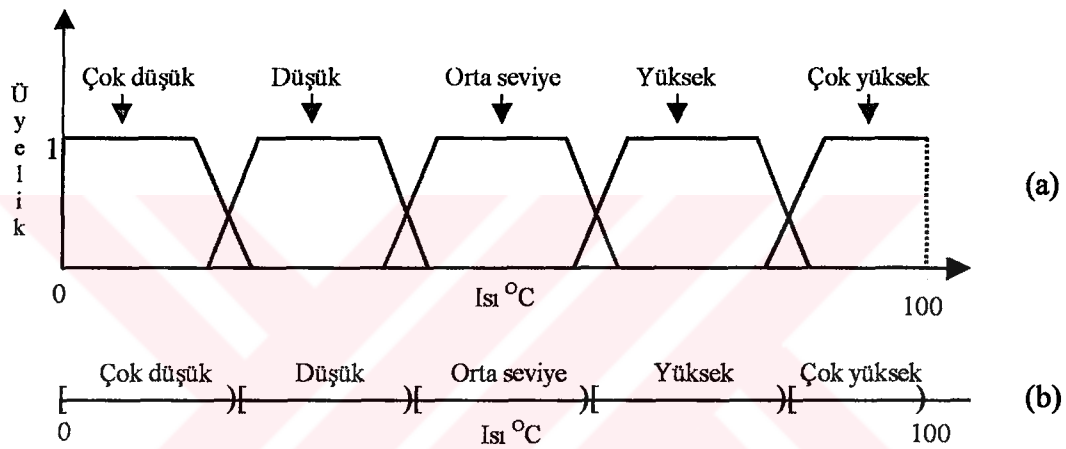
şeklinde verilir. Açıkça görülmektedir ki bulanık kümelerin kullanışlılığı büyük oranda, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerimize dayanmaktadır. Şekil 2-1’de “3 e yakın reel sayılar kümesi” kavramını temsil eden üyelik fonksiyonuna ait iki örnek vardır.



Şekil 2-1. 3'e yakın reel sayılar kümesinin değişik üyelik fonksiyonlarıyla gösterimi

Şekil 2-1’den de görüleceği üzere fonksiyonlar 3’te en yüksek üyelik derecesini almakta ve 3’ün her iki tarafında simetrik bir vaziyettedir. Bu kavramı ifade eden diğer fonksiyonlarında bu özellikleri taşıması gerektiği açıktır.

Günlük kullanım diline ait olan düşük, orta seviye, yüksek ve bunun gibi kavramları temsil eden çeşitli bulanık kümeler bir değişkenin durumlarını tanımlamak amacıyla kullanılırlar. Bu değişkenlere bulanık değişkenler ve onun alt durumlarına da bulanık terimler denilir. Örneğin “ısı” kavramı kendi içinde çok düşük, düşük, orta seviye, yüksek ve çok yüksek gibi durumlarla nitelenebilen bulanık bir değişken olarak alınabilir. Bu durumda, $[0,100]$ aralığındaki ısı değerlerine karşılık gelecek uygun bulanık kümeler Şekil 2-2’deki gibi seçilebilirler.



Şekil 2-2. Isı değişkeninin a) bulanık ve b) klasik değişkenler yardımıyla gösterilmesi

Isı değişkenini klasik kümeler yardımıyla tanımlamaya çalışılıysaydı bir tarafı açık aralıklar üzerinde tanımlı fonksiyonlar elde edilecekti. Şekil 2-2 ısı değişkeninin $[0,100]$ aralığında aldığı alt durumlar bulanık ve klasik değişkenler yardımıyla gösterilmektedir.

Bulanık değişkenlerin önemi, kavrama ait bu durumlar arasındaki geçişi yansıtabilmesindeki kolaylıkta yatar. Bu durumda da belirsizlik altında yapılan yöntem ve ölçümlerle ilgilenme ve onları ifade etmede diğer yöntemlerden daha başarılı sonuçlar verir. Geleneksel klasik değişkenler ise bu kapasiteden yoksundurlar. Her biri klasik değişkenlerle kesin, yani belirsizlik taşımayan bir şekilde, tanımlanmış bu durumların arasındaki sınırların civarındaki değerler için yapılacak bir ölçüm sadece durumların birini destekleyici bir gözlem olarak alınır. Böylesi bir karar kaçınılmaz olarak belirsizlik içerse dahi matematiksel tanımlamalar ve hesaplamalar buna göre yapılır. Herhangi bir ölçümün, sınırın her iki tarafındaki durumlar içinde destekleyici bir

gözlem olarak kabul edilmesi gerektiği yer olan bu değerlerde belirsizlik en yüksek düzeye ulaşır. Fakat, klasik değişkenler yoluyla işlemler yapılırken bu durumlar dahi görmezlikten gelinir ve ihmal edilir. Klasik değişkenler yoluyla yapılan şey, durumlar arası sınır değerini keyfi matematiksel tanımlamalarla sadece tek bir duruma aitmiş gibi göstermek ve deneysel ölçümlerde bu değer için tek bir duruma ait destekleyici bir değer olarak kabul edilmesidir.

Bulanık değişkenler, belirsizlikleri deneysel verilerin bir parçası olarak ele aldıklarından dolayı, gerçeğe daha uygundur ve bize olgular hakkında klasik değişkenlere dayanan bilgilerden daha doğru bilgiler verirler. Ünlü fizikçi Einstein bu durumu şu şekilde ifade etmiştir: “Matematiğin kavramları kesin oldukları sürece gerçeği yansıtmazlar, gerçeği yansıttıkları sürece de kesin değillerdir”.

Bulanık kümeler üzerine kurulan matematiksel yapı, klasik matematikten daha fazla açıklayıcı bir güce sahip olmasına rağmen kullanılabilirliği uygulama alanlarında karşımıza çıkan kavramlar için uygun üyelik fonksiyonlarının inşa edilmesine bağlıdır. Fakat, bu işlemin tatmin edici düzeyde gerçekleşmesi bir çok ek araştırma gerektirir. [Klir, 1995]

2.1.2. Bulanık Mantık ile Genel Uygulamalar

Aşağıda bulanık mantığın kullanıldığı bazı alanlar listelenmiştir.

- Hidroelektrik güç üniteleri için kullanılan baraj kapılarının otomatik kontrolü (Tokio Electric Power)
- Stok kontrol değerlendirmesi için uzman sistem (Yamaichi, Hitachi)
- Klima sistemlerinde istenmeyen ısı iniş çıkışlarının önlenmesi
- Araba motorlarının etkili ve kararlı kontrolü (Nissan)
- Otomobiller için “Cruise-control” (Nissan, Subaru)
- Dokümanların arşivleme sistemi (Mitsubishi Elec.)
- Depremlerin önceden bilinmesi için tahmin sistemi (Inst. of Seismology Bureau of Metrology, Japan)
- İlaç teknolojileri: Kanseri teşhisi (Kawasaki Medical School)

- Cep bilgisayarlarında el yazısı algılama teknolojisi (Sony)
- Video kameralarda hareketin algılanması (Canon, Minolta)
- El yazısı ve ses tanımlama (CSK, Hitachi)
- Helikopterler için uçuş desteği (Sugeno)
- Çelik sanayinde makine hızı ve ısısının kontrolü (Kawasaki Steel, New-Nippon Steel, NKK)
- Raylı metro sistemlerinde sürüş rahatlığı, duruş mesafesinin kesinliğini ve ekonomikliğin geliştirilmesi (Hitachi)
- Otomobiller için gelişmiş yakıt tüketimi (NOK, Nippon Denki Tools)

2.1.3. Bulanık Mantık ile Çevre Mühendisliği Uygulamaları

Bulanık mantık son yıllarda çevre mühendisliği alanında aşağıda listelenen alanlarda kullanılmıştır.

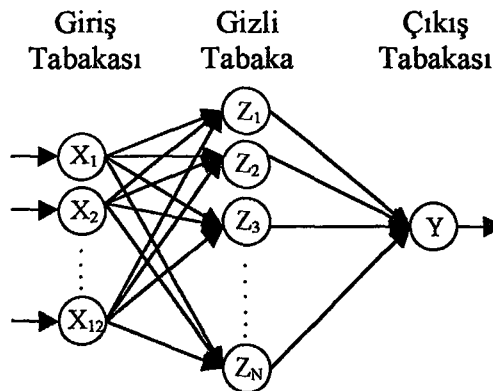
- Nükleer enerji [François et al, 2004; Antonić et al., 2003]
- Çevre yönetimi [Kolokotsa, 2003; Liu and Ling, 2003]
- Çevre modellemesi [Sadiq et al., 2003; Chen and Mynett, 2003]
- Ekosistem [Ferraro et al., 2003; Roussel et al., 2000]
- Su kalitesi yönetimi [Lobbrecht and Solomatine, 2002; Kalker et al., 1999]
- Çevre ekonomisi [Phillis and Andriantiatsaholainaina, 2001]
- Atmosferik çevre [Francesco et al., 2001]
- Atık yönetimi [Mohamed et al., 1999]

Çevre mühendisliği uygulamasında, SBD'nin alt başlıkları olan BBM, BBS ve KBD birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır [Lu et al, 1999, Chang et al, 2001, Lu and Lo, 2002, Haiyan, 2002]. SBD metodu hava kalitesi değerlendirmesi için Tao ve Xinmiao [1998] tarafından kullanılmıştır. Bulanık değerlendirme metotları, mevcut belirsizliği üyelik fonksiyonları kullanarak azaltır ve önceden tanımlanmış ağırlıkları kullanarak tüm bileşenleri değerlendirir. Bu sayede değerlendirmedeki duyarlılık diğer indeks değerlendirme tekniklerine göre artar.

2.2. Yapay Sinir Ağları

YSA insanın sinir sistemini taklit ederek, geçmiş deneyimlerden edindiği bilgi ile benzer durumlar için genelleme yapıp, eksik bilginin olduğu kompleks ve doğrusal olmayan durumlar için sonuç üretir. Düğüm adı verilen paralel ünitelerin belli ağırlıklarla çarpılıp toplanması ile hedef değere yaklaşılmaya çalışılır. Sinir ağının modeli Şekil 2-3'te görülmektedir.

McCulloch ve Pitts 1943'te YSA'yı matematiksel olarak açıkladıklarından beri bu konudaki yayınlar sürekli artmaktadır. YSA ile ilgili ilk pratik uygulama 1958 yılında Frank Rosenblatt tarafından perceptron ağı ve öğrenme kuralı geliştirilerek ve birkaç yıl sonra Bernard Widrow ve Marcian E. Hoff [1960] tarafından yapılmıştır. Bu ilk ağların kısıtlamaları, öğrenme algoritmalarının kompleks ağları eğitmede yeterli olamamaları ve güçlü bilgisayarların 1980'li yıllara kadar gelişmesindeki yavaşlık idi. Fakat bazı başarılı çalışmalar, 1977 yılında Kohonen tarafından yapıldı. 1980'li yılların 2 önemli gelişmesi Hopfield'ın [1982] kurduğu içeriğe dayalı sinir ağı ve Rumelhart ile McClelland'ın [1986a] kurduğu geri yayımlı, çok tabakalı sinir ağları idi. Bu yeni gelişmeler YSA çalışmalarına olan ilgiyi arttırdı ve bir çok yayında ve uygulamada kullanılmasını sağladı. YSA hakkında ayrıntılı bilgi Patterson [1996] ile Meireles ve ark., [2003], tarafından verildi.



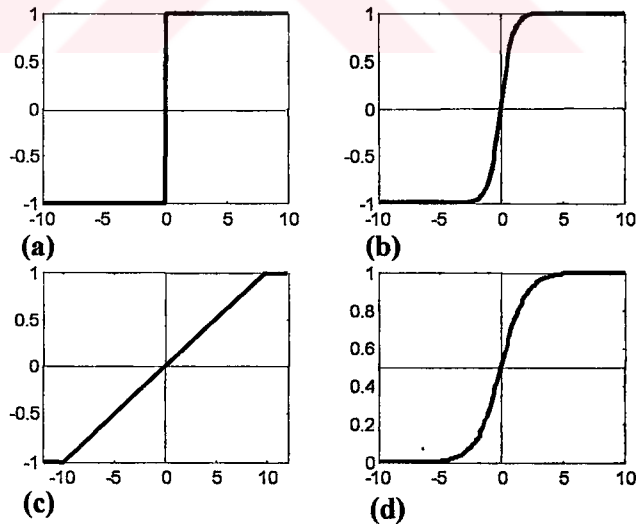
Şekil 2-3. Yapay sinir ağı mimarisi

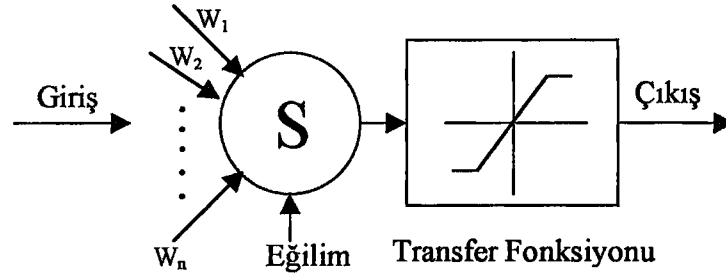
Sinir ağıları genel olarak 2 ana uygulama alanında kullanılmaktadır. Bunlar fonksiyona yaklaşma ve sınıflama analizidir. Fonksiyona yaklaşma uygulamalarında sinir ağı eğitilerek bilinen giriş ve çıkış değerleri arasında ilişki kurulur. Sınıf analizi, fonksiyona yaklaşmanın bir alt başlığı olarak incelenebilir. Bu konuda iyi bir örnek, giriş verileri ve belli bir sayıda sınıf için Kosko tarafından 1992’de uygulanmıştır.

YSA yapısında düğüm adı verilen birbirlerine bağlı elemanlar aracılığıyla bilgi işlenir. Bu düğümler tabakalaşmış yapıdadır. Temel bir ağ genelde bir giriş, çıkış ve bir veya daha fazla gizli tabakadan oluşur [Rumelhart et al,1986b]. Birbirini takip eden tabakalar arasında bağlantılar sayesinde bilgi bir tabakadan diğerine düğümler üzerinden iletilir. Giriş verileri ağa giriş tabakası üzerinden verilir. Gizli tabakaları ve çıkış tabakasını oluşturan düğümler gelen sinyali belli ağırlıklarla çarparak toplar. İşlenmiş sinyal belli bir transfer fonksiyonu ile çarpılarak bir sonraki tabakaya iletilir. Transfer fonksiyonu düğümdeki çıkış sinyalini 0 ve 1 veya -1 ve 1 değerleri arasına normalleştirir. Örnek transfer fonksiyonları Şekil 2-4’te görülmektedir. Bir düğümün işleyişi ve geri yayımlı ağ mimarisinin akış diyagramı Şekil 2-5 ve 2-6’da görülebilir.

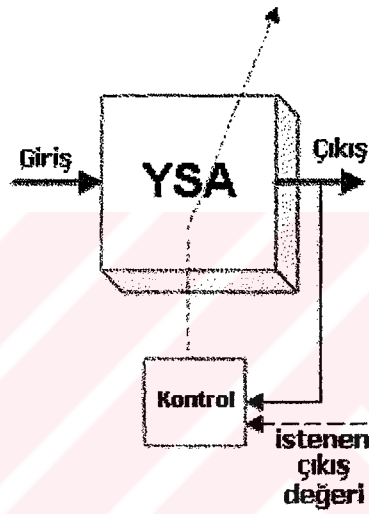
Şekil 2-4. Geri yayımlı ağlarda kullanılan çeşitli transfer fonksiyonları (x eksenini giriş değeri, y eksenini çıkış değeri)

- (a) Simetrik keskin sınırlayıcı (2 kutuplu)
- (b) Logaritmik sigmoid
- (c) Simetrik doyunlaştırıcı sınırlayıcı
- (d) Hiperbolik tanjant sigmoid





Şekil 2-5. Düğümün işleyişi



Şekil 2-6. Geri yayımlı ağ mimarisi

Ağın eğitimi, çıkış tabakasında bir değer elde edinceye kadar tabakalar boyunca devam eder. Eğitim boyunca çıkış tabakasındaki değerler olması beklenen değerlerle karşılaştırılır. Hatalar hesaplanır ve istenen hata seviyesine ulaşabilmek için geri yayılım ile ağırlıklar değiştirilerek işlemler tekrarlanır. Bu işlemlere ağın eğitimi denir.

2.2.1. Yapay Sinir Ağları ile Genel Uygulamalar

Son yıllarda YSA'ları, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan veya ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmektedir. YSA'lar 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 imkanı vardır. Bu amaçla YSA; elektrik makinelerinin, uçakların veya bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır.

- **Tıp Alanında**

Tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu 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 alanlarda 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.



2.2.2. Yapay Sinir Ağları ile Çevre Mühendisliği Uygulamaları

YSA son yıllarda çevre mühendisliği alanında aşağıda listelenen alanlarda kullanılmıştır.

- Nükleer enerji [Ziver et al., 2004; Ortiz and Requena, 2003]
- Çevre Yönetimi [Yang and Kim, 2004; Liu and Ling, 2003]
- Çevre Modellemesi [Filippi and Bisgambiglia, 2004; Kralisch et al., 2003]
- Ekosistem [Recknagel, 2003; Guimarães and Lapa, 2003]
- Su kalitesi yönetimi [Mahfouz and Haddara, 2003; Deo and Jagdale, 2003]
- Atmosferik çevre [Kukkonen et al, 2003; Libiseller and Grimvall, 2003]
- Atık yönetimi [Dong et al, 2003; Filipponi et al, 2003]

Sinir ağları, koku analizi için elektronik burun ile geçmiş yıllarda yiyecek [Dutta et al, 2003a], içecek [Gardner et al, 1992a; Lu et'al, 2000; Dutta et al, 2003b], kahve [Gardner et al, 1992b], et kokusu [Schweizer-Berberich et al, 1994; Winqvist et al, 1993], süt ömrü tayini [Yüçetürk et al, 2001], içme suyu kalitesi [Gardner et al, 2000], atıksu izleme [Bockreis and Jager, 1999] ve egzoz gazı [Hong et al, 2000] koku sınıflamasında kullanılmıştır.

2.3. Değerlendirme

Bu bölümde bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile ilgili literatür araştırmasının değerlendirmesi sunulmuştur. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile ilgili uygulama alanları genel ve çevre mühendisliği alanları olmak üzere sıralanmıştır. Bu araştırmalar bu alanlara ilginin son yıllarda yapılan çalışmalar ile arttığını göstermiştir.

Hava kalitesi ile ilgili çalışmalara baktığımızda yaygın olarak kullanılan EPA'nın hava kalitesi indeksi ile SBD tekniklerinin karşılaştırılması bu alanlara olan ilgiyi arttıracığı düşünülmektedir. Ayrıca Türkiye'de hava kalitesi alanında bu metodun kullanılması ve 6 kalite sınıf analizi değerlendirmesinin uygulamaya konulması için gerekli çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir.

Elektronik burun ile ilgili çalışmalar incelendiğinde yapay sinir ağı kullanımı yeni uygulanmaya başladığı görülmüştür. Bu sebeple koku dataları ile sinir ağlarının sınıflama ve korelasyon analizinde kullanımına karar verilmiştir. Bu sayede 5 gün süren bir BOİ₅ analizi yerine elektronik burun – yapay sinir ağı bileşimi bir hibrit sistem ile arıtma tesisleri için biyolojik içeriğin izlenmesi 1 dakika gibi bir süreye indirilmesi amaçlanmıştır.



3. METOTLAR

Bu bölümde bulanık mantığa dayalı değerlendirme metotları ile yapay sinir ağları kapsamında kullanılan geri yayımlı algoritma matematiksel olarak ifade edilmiştir.

3.1. Bulanık Mantık'a Dayalı Değerlendirme Metotları

Bu bölümde bulanık mantığa dayalı Sentetik Bulanık Değerlendirme (SBD) metotları olan Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD), Bulanık Benzerlik Metodu (BBM) ve Basit Bulanık Sınıflama (BBS) metotları anlatılmaktadır.

3.1.1. Sentetik Bulanık Değerlendirme (SBD)

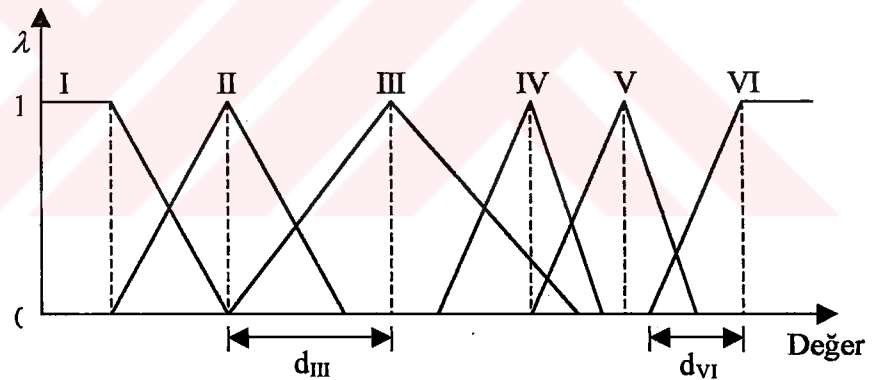
Hava kalitesi yönetimi için güvenli bir hava kalitesi sınıflandırmasına ihtiyaç vardır. Ancak sınırların kesin olmaması veya üst üste gelmesi gibi karşılaşılan kompleks durumlar güvenli sınıflama analizinin yapılmasını zorlaştırmaktadır. SBD önceden tanımlanmış kalite parametreleri ile verileri çeşitli kategorilere göre sınıflar ve belirsizliği giderir. Daha sonra sistemdeki her bileşeni inceler ve sistemin geneline uygun şekilde değerlendirir.

Bu yöntem kapsamında ilk olarak, hava kalitesi değerlendirme kriterleri EPA'nın belirlediği şekilde (mükemmel, iyi, orta, zayıf, kötü, zararlı) 6 sınıfa ayrılmıştır. Bu çalışmada kullanılan değerlendirme kriterleri Türkiye hava kalitesi standartlarından alınmıştır (Tablo 3-1). Tabloda her parametre için zararlı seviye (D_6) Türkiye uzun vade standart sınır değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 3-1. Hava kalitesi değerlendirme kriterleri ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

Kriter Seviyesi	SO ₂	PM	CO	NO ₂	O ₃
D ₁ Mükemmel	15	15	1000	10	24
D ₂ İyi	30	30	2000	20	48
D ₃ Orta	45	45	3000	30	72
D ₄ Zayıf	60	60	4000	40	96
D ₅ Kötü	90	90	6000	60	144
D ₆ Zararlı	150	150	10000	100	240

Şekil 3-1’de sınır değerlerindeki bulanıklık (olası üst üste gelme durumları) açık olarak görülmektedir. Görüldüğü gibi hava kalitesi kriterleri 6 gruba ayrılmıştır ve tolerans seviyeleri, mesela d_{III} veya d_{IV} , kesin olmayan alanları göstermektedir. Eğer tolerans seviyesi büyükse, sınıf belirleme analizinde zorluklar artacaktır.



Şekil 3-1. Sınır değerler arasındaki bulanıklık (üst üste gelme durumu)

Burada λ üyelik derecesini, x eksenini ise değerlendirilecek değeri ve sınıflarına ait sınır değerlerini göstermektedir. Şekil 3-1’de de görülen 6 değerlendirme seviyesi için her parametreye ait bulanık mantık üyelik fonksiyonu aşağıdaki bağıntılar aracılığı ile hesaplanmıştır (3-1):

$$\begin{aligned}
\mu_M &= \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq D_1 \\ \frac{D_2 - x}{D_2 - D_1} & D_1 \leq x \leq D_2 \\ 0 & x \leq D_2 \end{cases} & \mu_l &= \begin{cases} 0 & x \leq D_1 \text{ veya } x \geq D_3 \\ \frac{x - D_1}{D_2 - D_1} & D_1 < x < D_2 \\ 1 & x = D_2 \\ \frac{D_3 - x}{D_3 - D_2} & D_2 < x < D_3 \end{cases} \\
\mu_O &= \begin{cases} 0 & x \leq D_2 \text{ veya } x \geq D_4 \\ \frac{x - D_2}{D_3 - D_2} & D_2 < x < D_3 \\ 1 & x = D_3 \\ \frac{D_4 - x}{D_4 - D_3} & D_3 \leq x \leq D_4 \end{cases} & \mu_{zy} &= \begin{cases} 0 & x \leq D_3 \text{ veya } x \geq D_5 \\ \frac{x - D_3}{D_4 - D_3} & D_3 < x < D_4 \\ 1 & x = D_4 \\ \frac{D_5 - x}{D_5 - D_4} & D_4 \leq x \leq D_5 \end{cases} \\
\mu_K &= \begin{cases} 0 & x \leq D_4 \text{ veya } x \geq D_6 \\ \frac{x - D_4}{D_5 - D_4} & D_4 < x < D_5 \\ 1 & x = D_5 \\ \frac{D_6 - x}{D_6 - D_5} & D_5 \leq x \leq D_6 \end{cases} & \mu_{Zr} &= \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq D_5 \\ \frac{x - D_5}{D_6 - D_5} & D_5 < x < D_6 \\ 1 & x \geq D_6 \end{cases} \quad (3-1)
\end{aligned}$$

Burada μ_j j. sınıf için üyelik değeri, D_j j. sınıf için değerlendirme kriteri değeri, x ise belli bir zamana ait kirletici konsantrasyonu değeridir. 5 farklı kirletici ve 6 farklı sınıf için üyelik dereceleri hesaplanmış ve $[5 \times 6]$ boyutunda değerlendirme matrisi (R) oluşturulmuştur (3-2).

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & & r_{16} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{26} \\ & \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{51} & r_{52} & \dots & r_{56} \end{bmatrix}, \quad r_{ij} = \mu_j(x) \quad i=1,2,\dots,5 \quad j=1,2,\dots,6 \quad (3-2)$$

$$\{\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6\} = \{\mu_M, \mu_l, \mu_O, \mu_{zy}, \mu_K, \mu_{Zr}\}$$

Bilindiği gibi hava kalitesi sadece bir kirletici parametreye dayandırılmaz. Her kirleticinin hava kirliliği üzerinde kendine özgü bir etkisi vardır. Bu sebeple ağırlık

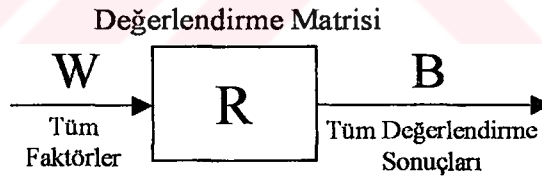
belirlemek kompleks bir işlemdir. Aşağıda görülen ağırlık faktörleri (3-3) uzmanların deneyim ve bilgilerine dayandırılarak oluşturulmuştur.

$$W = \{w_{SO_2}(0.15), w_{PM}(0.3), w_{CO}(0.3), w_{NO_2}(0.1), w_{O_3}(0.15)\} \quad (3-3)$$

Ağırlıklar, üyelik fonksiyonları ve faktör matrisinin (R) belirlenmesinin ardından 3 farklı SBD metodu hava kalitesi verilerinin sınıflandırılması amacı ile uygulanmıştır. Her metot için ilgili açıklama aşağıda verilmiştir.

3.1.1.1. Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD)

Kapsamlı Bulanık Değerlendirme metodu 3 aşamada uygulanmaktadır [Lu et al, 1999]. İlk olarak, üyelik fonksiyonları belirlenir. Sonra üyelik fonksiyonları ve standartlar kullanılarak bulanık ilişkiler matrisi (R) oluşturulur. Son olarak, hava kalitesi değerleri bir bulanık operatöre verilir. KBD sonucu denklem 3-4'de olduğu gibi B değerinden elde edilir. Şekil 3-1, toplam değerlendirme sonucunun nasıl elde edildiğini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 3-2. Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD)

$$B = W \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6) \quad (3-4)$$

Burada W matrisi [1x5] boyutunda, 5 farklı kirleticinin 1 üzerinden ağırlıklarını içerir. W vektörünün bulanık ilişkiler matrisi R ile çarpımından B matrisi elde edilir. B matrisi bir kirleticinin belli bir zamana ait konsantrasyon değerinin 6 farklı sınıftan hangisine ne derecede üye olduğunu verir.

$$\{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6\} = \{b_M, b_I, b_O, b_{Zy}, b_K, b_{Zr}\}$$

$$Sınıf = maks(b_j) \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (3-5)$$

Burada b_j değerinin maksimum değeri, ilgili alan için hava kalitesi sınıfını vermektedir. (3-5)

3.1.1.2. Bulanık Benzerlik Metodu (BBM)

Bu metotta ilk olarak Tablo 3-1’de verilen değerlendirme kriterleri, bağımsız üyelik fonksiyonları elde etmek için 0 ile 1 arasında bir değere normalleştirilir [Chang et al, 2001]. Normalleştirme işlemi için değerlendirme kriterleri 6 farklı sınıftan en büyük değere sahip olan D_6 değerine bölünür. Üyelik değerleri aracılığı ile bir değerlendirme matrisi (R') oluşturulur (3-6). Burada, r'_{ij} normalleştirilmiş değerlendirme kriteri değerlerini, r_{ij} ise bulanık üyelik fonksiyonları ile değerlendirilmiş verilerin değerlerini göstermektedir.

Bulanık yakınlık denklemi (3-7) 2 üyelik fonksiyonu seti arasındaki benzerliği ortaya koyar.

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{16} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r'_{51} & r'_{52} & \dots & r'_{56} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, 5, \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (3-6)$$

$$\text{Bulanık yakınlık } B_j = \frac{\sum_{i=1}^5 \min[r_{ij}(x), r'_{ij}]}{\sum_{i=1}^5 \max[r_{ij}(x), r'_{ij}]} \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (3-7)$$

$$Sınıf = maks(B_j) \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (3-8)$$

Burada x , 20 ay boyunca elde edilen verileri ve B_j ’nin maksimum değeri ise o aya ait hava kalitesi sınıf değerini göstermektedir.

3.1.1.3. Basit Bulanık Sınıflama (BBS)

Diğer SBD metotlarında olduğu gibi, bu metotta da hava kalitesi ölçümleri ile tanımlanan hava kalitesi seviyeleri arasında ilişki kurmak için bulanık üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Değerlendirme matrisi (R) ölçülen değerler ile hava kalitesi sınıfları arasındaki benzerlik derecesini belirlemek için kullanılır. Son basamak olarak denklem 3-9'da ile son değerlendirme yapılır.

$$k_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (w_i \cdot \lambda_{ij})^2}{\sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^5 (w_i \cdot \lambda_{ij})^2}}, \quad k_f = \max(k_j) \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (3-9)$$

Denklem 3-9 standartlar ile hava kalitesi verileri arasındaki göreceli uzaklığı değerlendirme işlemini kolaylaştırmak için kullanılır. Bu metot sayesinde her kirleticinin göreceli etkisi yansıtılmış olur. Denklem 3-9'da k_f hava kalitesi sınıf değerini göstermektedir.

3.2. Yapay Sinir Ağları – Geri Yayımlı Algoritma

Bu çalışmada, ileri akışlı bir YSA geri yayımlı algoritma ile eğitilmiştir. Çok yaygın olan bu algoritma Qnet programı aracılığıyla uygulanmıştır. Qnet programı ile ilgili ayrıntılı kurulum ve kullanım bilgilerini Ek 1'de verilmiştir.

Geri yayımlı eğitme algoritması mantık dizisi aşağıda görülmektedir. (Vektörler italik yazı stili ile belirtilmiştir)

1. Giriş parametreleri bir giriş vektörüne aktarılır. $X(P,1) = (X_{p,1}, X_{p,2}, X_{p,3}, \dots, X_{p,N})$, burada P parametre dizelerini ve N ise vektörün uzunluğunu göstermektedir. Bu vektörler giriş tabakası tarafından değiştirilmeden diğer tabakaya aktarılır.

2. Verilen gizli veya çıkış tabakasının her düğümü bir önceki tabakadan bir giriş vektörünü (X) alır. Her düğüm vektörü aşağıdaki denkleme göre işler.

$$Y(P,L,J) = X(P,L-1) W(J,L) + B(J,L) \quad (3-10)$$

Burada $Y(P,L,J)$, L tabakasındaki J düğümü için işlenmiş sonuçtur. Düğümün giriş vektörü, $X(P,L-1)$, düğümün iç ağırlık vektörü, $W(J,L)$, ile nokta çarpıma tabi tutulup, eğilim değeri, $B(J,L)$, eklenir.

3. J düğümü için sonuç değeri, $Y(P,L,J)$, düğümün çıkış bağlantısı için sinyalin gücünü belirlemek için bir transfer fonksiyonu ile işlenir. Qnet tarafından kullanılan transfer fonksiyonları sigmoid fonksiyonu, $f(Y) = 1/(1+\exp(-Y))$, gaussian fonksiyonu, $f(Y) = \exp(-Y*Y)$; hiperbolik tanjant, $f(Y) = (\tanh(Y) + 1)/2$; veya hiperbolik sekant, $f(Y) = \text{sech}(Y)$ fonksiyonudur. Bu fonksiyonlar bir düğümün çıkış değerini 0 ile 1 arasında normalleştirir.

4. Her düğümün çıkış değeri tabakanın çıkış vektörünü oluşturmak için bulunduğu gizli veya çıkış tabakasında tutulur.

$$X(P,L) = (f(Y(P,L,1)), f(Y(P,L,2)), \dots, f(Y(P,L,K))) \quad (3-11)$$

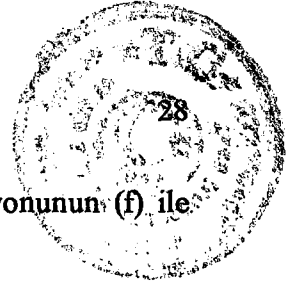
burada K , L tabakasındaki toplam düğüm sayısıdır. Bu çıkış vektörü bir sonraki tabakaya giriş vektörü olur.

5. İşlemler son tabakaya kadar devam eder ve çıkış vektörü, $X(P,O)$ elde edilir.

6. Son çıkış vektörü, çıkış tabakasının hata vektörünü, $E(P)$, elde etmek için eğitim hedef vektörü, $T(P)$, ile birleştirilir. Hesaplama hata vektörü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E(P,O) = (T(P) - X(P,O)) X'(P,O) \quad (3-12)$$

Burada:



$X'(P,O) = (f'(Y(P,O,1)), f'(Y(P,O,2)), \dots, f'(Y(P,O,K)))$ (f' transfer fonksiyonunun (f) ile türevidir).

L gizli tabakasındaki J düğümü için hata aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$E(P,L,J) = X'(P,L,J) * \text{SUMK}(E(P,L+1,K) * W(K,L+1,J)). \quad (3-13)$$

burada K, L+1 numaralı tabakadaki K düğümünü temsil etmektedir. Bu metotla hata vektörü, $E(P,L)$, her tabakada elde edilir. Bu denklem hataların ağ üzerinde geri yayılmasını sağlar. (Algoritma ismini buradan almaktadır)

7. Sonra her düğüm için ağırlık vektörleri güncellenir. L tabakasındaki J düğümü için yeni ağırlıklar aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$W(J,L).T+1 = W(J,L).T + (\text{eta}).\text{SUMP}(E(P,L,J).X(P,L-1)) + (\text{alpha}) (W(J,L).T - W(J,L).T-1). \quad (3-14)$$

burada (eta) öğrenme hızı, (alpha) momentum faktörü ve T iterasyon sayısıdır. Ağırlık değişimi önceki ağırlık güncelleme adımından momentum faktörü ile çarpılarak hesaplanır. Momentum terimi ağırlık değişimindeki salınımları azaltmak için öğrenme prosesinin tutarlı olmasını sağlar.

8. Her giriş vektörü ağırlıkları belirlemek üzere ağ boyunca işlenir.

9. Ağ tepkisi ve öğrenme hedefleri arasındaki hata Q_{net} tarafından her iterasyonda aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Hata} = \text{SQRT}(\text{SUMP}_K((T(P,K) - X(P,O,K))^2)/(PT.KT)) \quad (3-15)$$

burada P, P numaralı giriş parametresi, K ise K. çıkış parametresidir. PT toplam parametre sayısı ve KT toplam çıkış düğümü sayısıdır. Hata ayrıca ağı standart sapmasına da eşittir.

10. Bütün bu prosesler her öğrenme iterasyonunda tekrarlanır.



Geri yayımlı sinir ağıları [Rumelhart et al] 1986(b)'da geliştirilmiştir. Genelde tüm öğrenme hedeflerinin 0 ile 1 arasına normalleştirilmesini gerektirir. Qnet ayrıca öğrenme karakteristiğini geliştirmek için giriş normalleştirilmesini de gerektirir.

Qnet programının öğrenme hızı kontrolü (ÖHK*) fonksiyonu öğrenme hızı katsayısını kontrol etmeye yarar. ÖHK öğrenme hızını iterasyonlar boyunca optimum aralıkta tutmaya yarar. Momentum faktörü eğitim sırasında ağırlıklardaki değişim büyüklüğünü belirler ve hızlı öğrenme sırasında algoritmanın stabilizesini ve ağırlık değişim frekansında ciddi sapmaların olmasını engeller. Momentum faktörü başlangıçta analiz için 0,8 olarak belirlenmiştir.

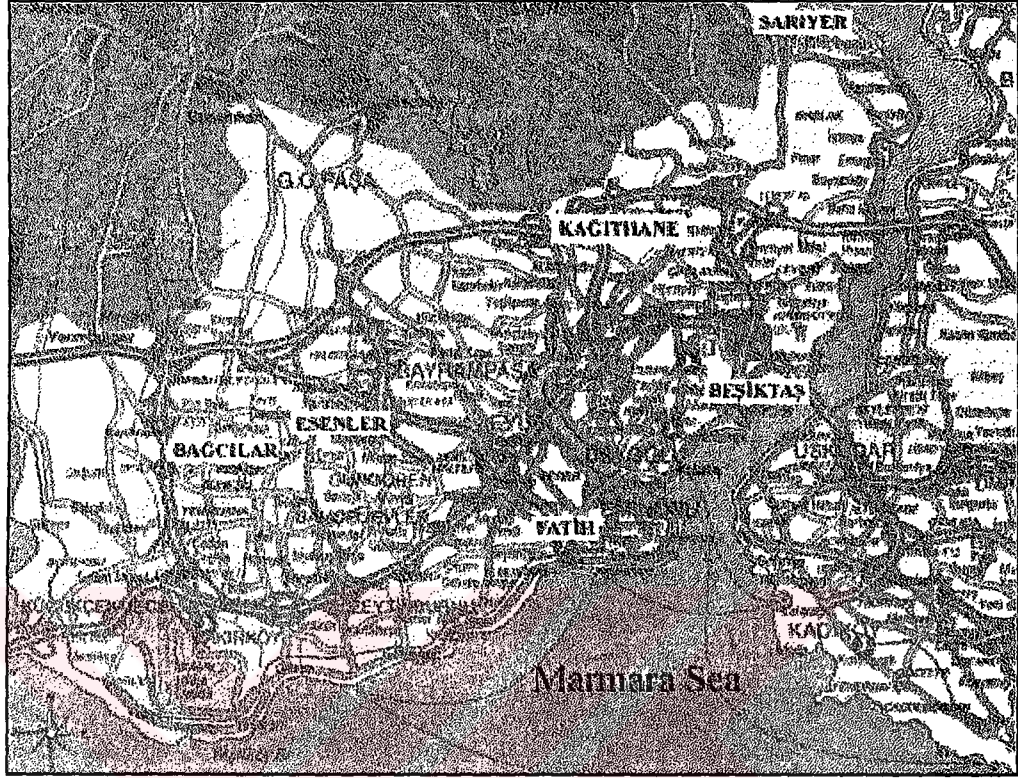
* LRC - Learn Rate Control

4. BULANIK MANTIK İLE HAVA KALİTESİ DEĞERLENDİRMESİ

4.1. Saha Çalışması

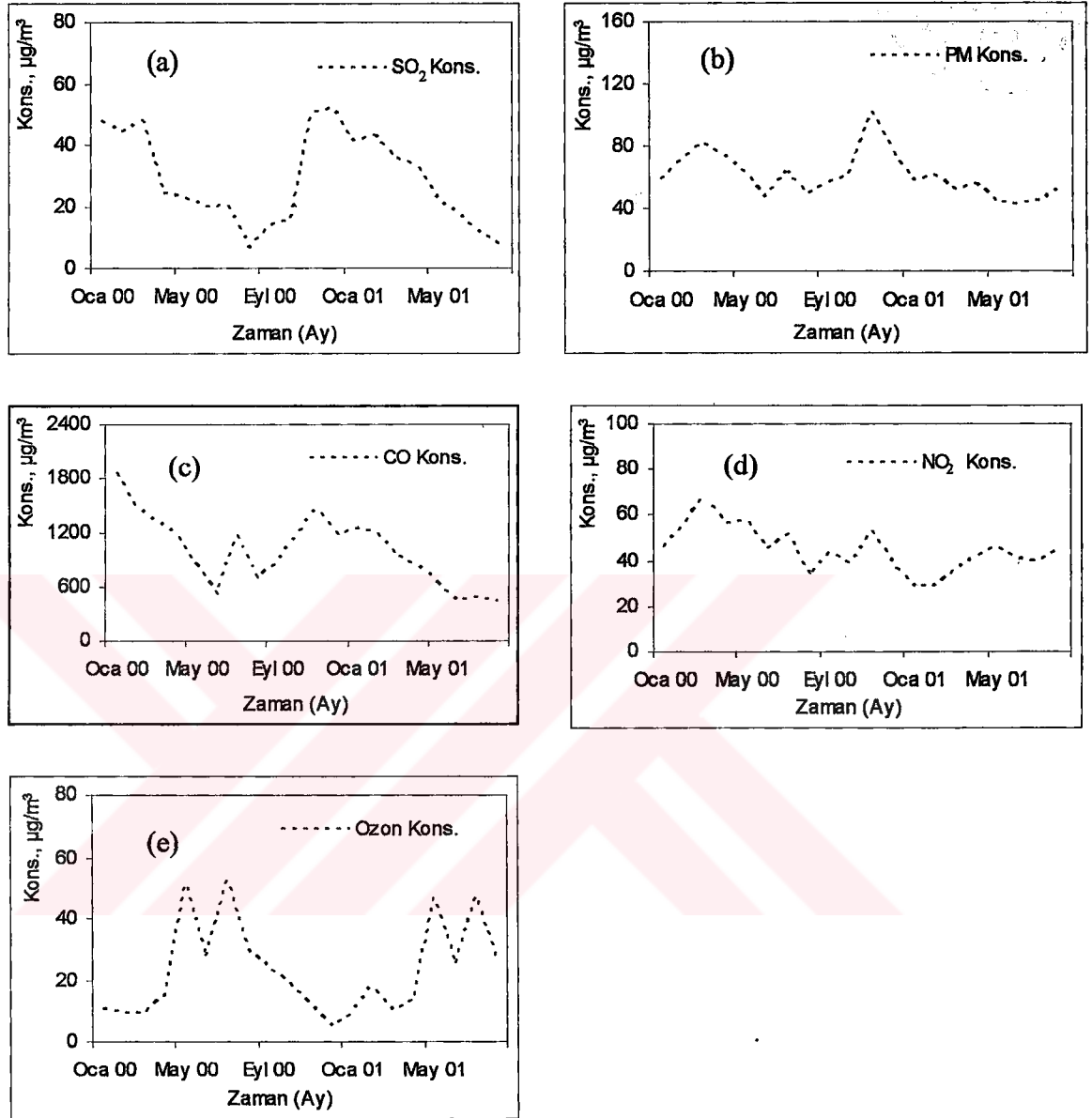
Bu çalışmada İstanbul'un Avrupa yakasında 6 farklı bölgeden (Kağıthane, Beşiktaş, Esenler, Sarıyer, Fatih ve Bağcılar), İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Dairesi tarafından toplanan veriler kullanılmıştır. Çalışma alanındaki nüfus İstanbul'un toplam nüfusunun yaklaşık % 30'unu oluşturmaktadır. Veriler, hava izleme cihazları ve bilgisayar donanımlı araçlarla toplanmıştır.

Şekil 4-1'de çalışma bölgesinin genel bir haritası verilmiştir. Çalışma için bu bölgenin seçilmesinin sebebi bölgenin yoğun nüfuslu ve yoğunlukla oturma alanları ile bazı endüstriyel bölgelerin bölgede yer almasıdır. Endüstriyel aktiviteler yoğunlukla Esenler bölgesinde yapılmaktadır. Ne yazık ki devam eden göçler, kontrolsüz kentleşme ve endüstrileşmeyi beraberinde getirmektedir, bu da istenmeyen hava kirliliği probleminin en büyük etkenidir. Fakat geçmiş yıllarda İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından getirilen sınırlandırmalar, kaliteli kömür ve doğal gaz kullanımını arttırmıştır. Şekil 4-2'te yıllara göre CO ve SO₂ seviyelerindeki düşüş görülmektedir. Bunlara ek olarak, şehir içindeki endüstriler şehir dışında kurulan endüstriyel bölgelere doğru çekilmeye başlamıştır. Bu nedenlerden dolayı hava kirliliği önemli ölçüde azalmıştır. Ancak CO ve NO₂ değerleri zaman zaman artmaktadır (Şekil 4-2). Bunun nedeni İstanbul'daki yüksek boyutlardaki karayolu taşımacılığıdır.



Şekil 4-1. Çalışma Alanının Haritası

Hava kalitesi modellemesinde sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, basınç ve çökme gibi çeşitli meteorolojik olaylar da önemli rol oynar. Bu çalışmada sınıf analizi amaçlandığından bu parametreler dikkate alınmamıştır, sadece kirlilik konsantrasyonu kullanılarak bir kentsel hava kalitesi değerlendirilmesi yapılmıştır. Veriler Ocak 2000, Ağustos 2001 arasındaki 20 ay periyotta günlük olarak toplanmıştır. Şekil 4-2’te kirleticilerin 20 ay boyunca değişimi görülmektedir. Hesaplamalar sırasında aylık ortalamalar ve ulusal standartlardaki limit değerler kullanılmıştır. Standart aralığı HKİ’de olduğu gibi 6 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 4-2. Verilerin değişimi a) SO₂, b) PM, c) CO, d) NO₂ ve e) Ozon

4.2. Hava Kalitesinin Değerlendirmesinde Karşılaşılan Problemler

Hava kalitesi değerlendirmesi kompleks bir analizdir. Havada bir çok kirleticinin bulunması, kirleticilerin birbirleri ile etkileşimleri, her parametrenin hava kalitesine

kendi ağırlıklarınca etkilerini değerlendirme işlemini zorlaştırır. Parametrelerin standartlardaki sınır değerleri arasındaki ayrımın kesin çizgilerle belli olması, sınırlara yakın değerler için bir bulanıklık meydana getirir. Sınıra yakın değerdeki çok küçük değişikliklerle bir sınıftan diğerine geçmesi değerlendirmenin zayıf yönlerindendir. Türkiye dahil, bazı ülkelerde sınıf analizinde 2 sınıf uygulanması analizi iyice duyarsız hale getirmektedir. Yani kirleticinin belli bir değerden büyük olması durumunda kalitenin kötü, altında olması durumunda iyi olduğu kabul edilir. Bu sınır değere yakın değerler ufak bir artış veya azalma ile sınıf değiştirmektedir.

4.3. Hava Kalitesinin Değerlendirmesi

Hava kalitesi değerlendirmesi kapsamında Türkiye ve Amerika hava kalitesi standartları incelenmiştir. EPA'nın kullandığı HKİ ile 3 SBD tekniği olan Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD), Bulanık Benzerlik Metodu (BBM) ve Basit Bulanık Sınıflama (BBS) metotları ile veriler incelenmiş ve metotlar karşılaştırılmıştır.

4.3.1. Ulusal Hava Kalitesi İndeksi

Hava kirliliği, havadaki kirleticilerin partikül, gaz, duman, koku veya su buharı cinsinden artış miktarı olarak tanımlanabilir. Hava kirliliği, Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde, ulusal hava kalitesi standardı ile tanımlanmaktadır. 4-1'de her kirliliğe ait uzun ve kısa dönem sınır değerleri sunulmuştur. Türkiye'de hava kalitesi standartları kirlilik parametrelerinin uzun ve kısa vadeli sınır değerlerini belirtmektedir, HKİ'de olduğu gibi bir sınıflama yoktur. Uzun vade sınır değeri kabul edilebilir maksimum yıllık ortalama değeri, kısa vade sınır değeri ise maksimum günlük ortalama kirlilik değeridir. Tablo 4-1'de karşılaştırma amaçlı EPA standart değerleri de görülmektedir.

Tablo 4-1. Hava Kalitesi Standartları

Kirletici	Ulusal Standartlar	EPA Standartları
Kükürt dioksit (SO ₂)	150 µg/m ³ (UVS ¹) 400 µg/m ³ (KVS ²)	80 µg/m ³ (yıllık ortalama) 365 µg/m ³ (24-saatlik ortalama)
Karbon monoksit (CO)	10 mg/m ³ (UVS) 30 mg/m ³ (KVS)	10 mg/m ³ (8-saatlik ortalama) 40 mg/m ³ (1-saatlik ortalama)
Nitrojen dioksit (NO ₂)	100 µg/m ³ (UVS) 300 µg/m ³ (KVS)	100 µg/m ³ (yıllık ortalama)
Ozon (O ₃)	240 µg/m ³ (maks. saatlik sınır değeri)	235 µg/m ³ (1-saatlik ortalama) 157 µg/m ³ (8-saatlik ortalama)
Partikül Madde (PM10)	150 µg/m ³ (UVS) 300 µg/m ³ (KVS)	50 µg/m ³ (yıllık ortalama) 150 µg/m ³ (24-saatlik ortalama)

¹ UVS: Uzun Vadeli Sınır Değer (Kabul edilebilir maksimum yıllık ortalama)

² KVS: Kısa Vadeli Sınır Değer (Kabul edilebilir maksimum günlük ortalama)

4.3.2. Hava Kalitesi İndeksi

EPA, HKİ metodunu günlük hava kalitesini raporlamak için anahtar bir araç olarak kullanmaktadır. EPA ve yerel otoriteler HKİ'yi yerel hava kalitesi hakkında bilgi sağlamak ve ilgili halk sağlığı konusundaki duyarlılığı sebebiyle kullanmaktadır. Troposfer tabakasındaki ozon, partikül madde, karbon monoksit, kükürt dioksit ve nitrojen dioksit 5 önemli hava kalitesi parametresidir. Tüm bu kirleticilerin sağlık üzerinde yapacağı zararlı etkilerinden korunmak amacıyla EPA hava kalitesi standartlarını belirlemiştir. İndeks, Tablo 4-2'de görüldüğü şekilde 6 kategoriye ayrılmıştır.

Tablo 4-2'de görüldüğü üzere, HKİ halk için sağlıkla ilgili bir uyarıcı maksadıyla kullanılmaktadır. HKİ değeri 50'nin altında ise hava kalitesi iyidir ve kirlilik risk olarak kabul edilmez. Eğer değeri 51-100 arasında ise hava kalitesi kabul edilebilir değerlerdedir, ancak belli bir kirlilikten bahsetmek mümkündür. Ancak HKİ değeri arttıkça sağlığı tehdit edici problemler oluşmaya başlar [EPA, 2000].

Tablo 4-2. EPA'nın belirlediği HKİ Kategorileri [EPA, 2000].

HKİ Değerleri	Sağlık Etkisi Seviyesi
0 - 50	İyi
51 - 100	Kabul edilebilir
101 - 150	Duyarlı grupların sağlığına zararlı
151 - 200	Sağlığa zararlı
201 - 300	Çok zararlı
301 - 500	Zehirleyici

Bir kirletici konsantrasyonunun HKİ değerine dönüştürülmesi aşağıda görüldüğü gibi oldukça basit bir şekilde yapılmaktadır (4-1). Bu denklemde konsantrasyon ilgili standardın bir oranı şeklinde ifade edilmektedir. Burada C_i ve S_i sırasıyla kirletici ve standart kirlilik konsantrasyonlarını ifade etmektedir.

$$Indeks = \frac{C_i}{S_i} \cdot 500 \quad (4-1)$$

4.3.3. SBD Metotları İle Hava Kalitesi Sınıf Analizi

Sentetik bulanık değerlendirme ile hava kalitesi sınıf analizi için Bölüm 3.1'de anlatılan bağıntılar aracılığı ile Microsoft Excel 2002 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4-3'te HKİ ve 3 SBD tekniğinin sonuçları çalışmayı kapsayan 20 ay için gösterilmiştir. Sınıflama mükemmelden zararlı hava kalitesi seviyesini gösterir şekilde A'dan F'ye Tablo 4-3'te kodlanmıştır. Bu kodlama kolay gösterim için kullanılmıştır. Kodlamada kullanılan artı ve eksi işaretler ilgili sınıfa yakınlığı göstermektedir.

4.4. Hava Kalitesi Sınıf Analizi Sonuçları

Bu çalışmada HKİ ile 3 SBD tekniği olan BBM, BBS ve KBD metotları hava kalitesi sınıflaması için kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 4-3'te görülmektedir.

Tablo 4-3. HKİ ile 3 SBD tekniği (BBM, BBS, KBD) sonuçları

Yıl	Ay	HKİ	BBM	BBS	KBD
2000	Ocak	E	D	C	C
	Şubat	E	D+	C-	C-
	Mart	F	D+	C	C
	Nisan	E	D+	C-	C
	Mayıs	E	D+	C-	C-
	Haziran	E	C	B	A
	Temmuz	E	C	C-	C-
	Ağustos	D	C+	B	B
	Eylül	E	C+	C-	C-
	Ekim	E	C	C-	C-
	Kasım	F	D+	C	C
	Aralık	E	C+	C	C-
2001	Ocak	D	B+	C-	C-
	Şubat	E	B+	C-	C-
	Mart	D	C+	A	B
	Nisan	E	C+	C-	C-
	Mayıs	E	C	B	B
	Haziran	E	C	B	B
	Temmuz	D	C+	B	B
	Ağustos	E	C+	A	C-

Tablo 4-3'te de görüldüğü üzere BBS ve KBD sonuçları birbirine oldukça yakındır. BBM tekniği diğer SBD metotları (BBS ve KBD) ile karşılaştırıldığında daha zayıf değerler verdiği görülmektedir. Bunun sebebi son aşamada kullanılan bulanık yakınlık yaklaşımıdır. Değerlendirme HKİ ile yapıldığında sınıflama duyarsız ve SBD metotları ile karşılaştırıldığında daha kaba bir analiz olduğu görülmektedir. HKİ sonuçlarının daha kötümser olduğu açıkça görülmektedir. SBD metotlarının duyarlılığı üyelik fonksiyonları ve önceden tanımlanan ağırlıkların kullanımından kaynaklanmaktadır. Çalışmada kullanılan 3 SBD metodundaki farklar son değerlendirme aşamasında kullanılan operatörden kaynaklanmaktadır.

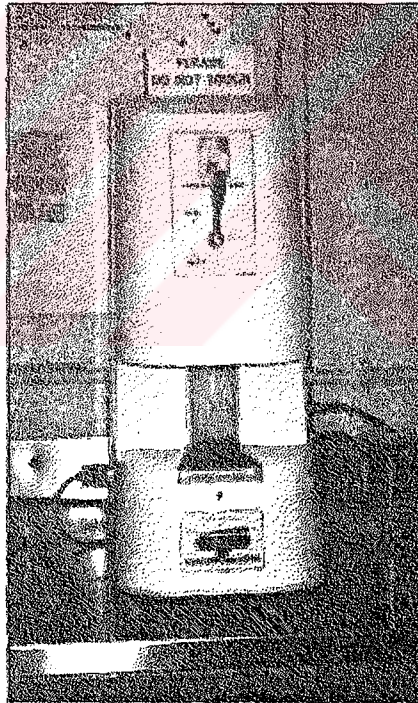
HKİ tüm kirlilik parametrelerini bir bütün olarak değerlendirmektedir ve bu yüzden duyarlı bir sınıflama yapılamamaktadır. Ancak, SBD metotları probleme çok daha gerçekçi bir açıdan yaklaşır. Üyelik fonksiyonları standartların sınır değerlerindeki bulanıklığı gidermektedir ve önceden tanımlanan ağırlıklar sayesinde her kirlletici parametrenin kendi önemi seviyesinde sonuca katkıda bulunmasını sağlamaktadır. Bu, özellikle hava kalitesinin düşük olduğu kış ayları gibi kritik dönemlerde değerlendirme yapmak için önemlidir.

Güvenli bir hava kalitesi yönetimi için duyarlı sınıflama analizine ihtiyaç vardır. BBM metodu diğer 2 SBD metoduna göre daha düşük sonuçlar vermiş olmakla beraber, SBD metotları HKİ ile karşılaştırıldığında seçilen dönem (Ocak 2000-Ağustos 2001) için daha duyarlı ve iyi bir sınıflama ortaya koymuştur.

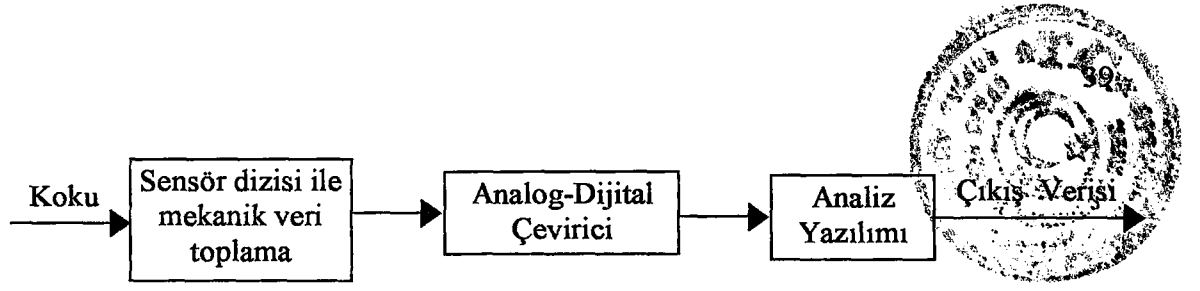
5. YSA KULLANILARAK ELEKTRONİK BURUN DATALARI İLE BOİ₅ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN TESBİTİ

5.1. Elektronik Burun

Elektronik burun, isminden de anlaşılacağı üzere, insan koku algılama sisteminin elektronik bir emülatörüdür. Bu çalışmada kullanılan elektronik burun, Neotronics Scientific şirketinin bir ürünüdür. Ürünün bir fotoğrafı Şekil 5-1’de görülmektedir. Tüm sistem, sensörler, analog-dijital veri dönüştürücü ve burun verilerini oluşturacak yazılımı içermektedir. Şekil 5-2’de sistemin blok diyagramını göstermektedir.

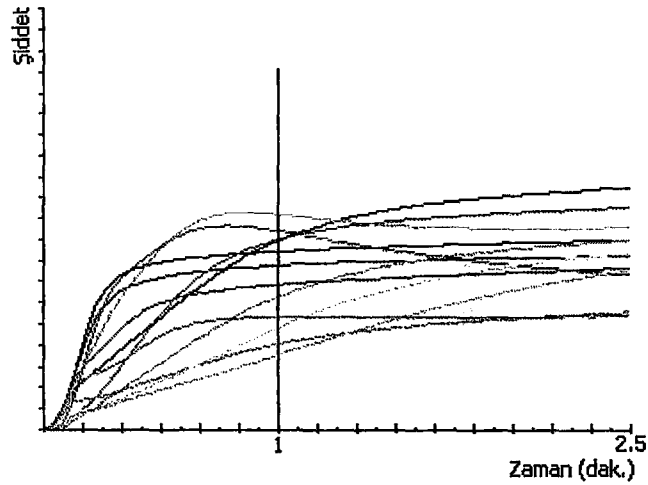


Şekil 5-1. Elektronik burunun fotoğrafı.



Şekil 5-2. Elektronik burun sisteminin diyagramı

Elektronik burun 12 farklı elektro-kimyasal olarak oluşturulmuş polimer sensörden oluşmaktadır. Bu sensörler için kullanılan polimer polipiroidür. Sensör malzemeleri arasındaki çeşitlilik, polimer zincirini modifiye eden iyon ve çözeltilerden kaynaklanmaktadır [Hodgins, 1994]. Sensörler, seçici özellik göstermeden, kokuya karşı yüksek duyarlılık göstermiştir. Her sensörün çıkış sinyalindeki değişiklik, kokunun açığa çıkma zamanına karşı çizilmiş ve seçilen zamanda anlık değerler okunmuştur (genelde 1 dak. sonra). Bir koku sensörle ilk karşılaştığında, kendisini kararlı hale götüren daha yavaş ve uzun süreli bir etkinin takip ettiği güçlü fakat geçici bir tepki görülür. Elektronik burun tarafından elde edilen tipik bir atıksu koku profili Şekil 5-3'te verilmiştir. Bu güçlü tepki genelde 1 dk. sonra sona erer. Elektronik burun hacimce %75'lik 1,2-propandiyol çözeltisi ile haftalık olarak kalibre edilmiştir. Sensörleri temizlemek için tazyikli hava kullanılmıştır.



Şekil 5-3. Elektronik burun verisinden oluşturulmuş tipik bir atıksu koku profili

5.2. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

Bu çalışmada kullanılan elektronik burun ve BOİ₅ analizi verileri başka bir çalışmadan (Stuetz ve ark. [1999]) alınmıştır. Atıksu numuneleri için evsel ve hafif endüstriyel atıksu kabul eden yerleşim merkezlerine uzak büyük bir arıtma tesisi seçilmiştir. Sıvı numuneler giriş suyu, çöktürme tankı, biyolojik arıtma ünitesi ve çıkış suyu bölümlerinden alınmıştır. Numuneler oda sıcaklığında saklanmış ve en geç 5 saat sonra BOİ₅ analizi için ilk ölçüm yapılmıştır. 100 mL'lik numunelerde ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, farklı atıksu numunelerinin biyolojik karakteristiğini belirlemek için standart 5 günlük BOİ₅ ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Bu test, mikroorganizmaların organik maddeyi parçalamak için kullandıkları çözünmüş oksijen miktarını tespit etmektedir. BOİ₅ kollektif bir parametredir. Ölçümü 5 gün sürdüğü için biyolojik içeriğin izlenmesi ancak 5 gün ileriden takip edilebilmektedir.

5.3. Elektronik Burun Dataları ile BOİ₅ Arasındaki İlişkinin Tespiti

Elektronik burunla yapılan her ölçüm 12 farklı değer verdiği için, bu sensör verilerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Burun verilerinin analizi daha önce Stuetz ve ark. [1999] tarafından diskriminant ve kanonik analiz gibi çeşitli istatistiksel metotlarla yapılmıştır. Bu çalışmada Qnet v2000 Build 721 yazılımı ile koku analizinde ileri akışlı* yapay sinir ağı kullanılmıştır.

Burun verileri üzerinde 2 farklı analiz yapılmıştır. İlk olarak farklı atık numuneleri sınıflanmıştır, daha sonra burun verileri ile o verilerle ilgili BOİ₅ değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu analizlerin sonuçları ilerideki bölümlerde açıklanacaktır.

* Feed-forward

5.3.1. Atıksu Kokusunun Sınıflanması

Bu analizde geri yayımlı sinir ağı algoritması atıksu arıtma tesisinin farklı bölgelerinden toplanan atıksu numunelerinin sınıflamasında kullanılmıştır. Ağda 1 giriş, 2 gizli ve 1 çıkış tabakası bulunmaktadır. Elektronik burunda 12 sensör olduğu için giriş tabakası 12 düğüme sahiptir. Çeşitli denemelerin ardından gizli tabaka ve bu tabakalardaki düğüm sayısı için en iyi sonuç 12'şer düğümlü 2 gizli tabakada elde edilmiştir. Çıkış tabakası atıksu numunelerinin sınıfını gösteren sadece 1 düğüme sahiptir. Eğitim için tüm veri setleri kullanılmıştır.

5.3.2. Atıksu Kokusu ile BOİ₅ Arasındaki İlişki

Atıksu verileri ile BOİ₅ arasındaki ilişki daha önce Stuetz *ve ark.* [1999] tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada bu ilişki geri yayımlı bir YSA aracılığıyla incelenmiştir. Bu analizde kullanılan model 1 giriş, 3 gizli ve 1 çıkış tabakasından oluşmaktadır. Giriş tabakasında, burundaki sensör sayısı 12 olduğundan, 12 düğüm kullanılmıştır. En iyi sonuçlar 9'ar düğümlü 3 gizli tabakada elde edilmiştir. Çıkış tabakasında 1 düğüm BOİ₅ değerini temsil etmektedir. Veri setlerinin 1/3'ü test için kullanılmıştır.

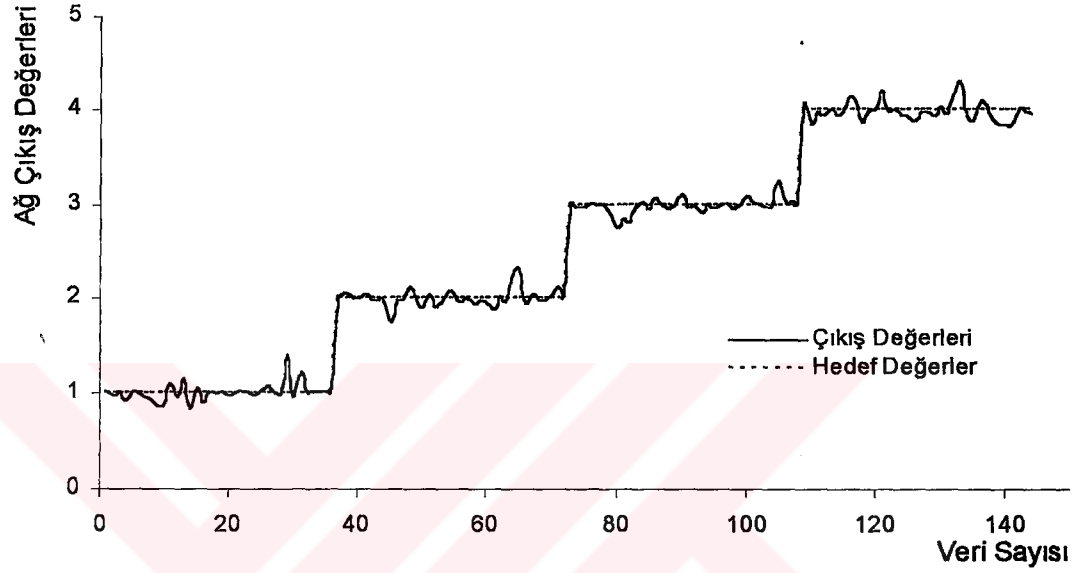
5.4. YSA ile Elektronik Burun Analizinin Sonuçları

Atıksu kokusunun sınıflanması ve atıksu kokusu ile BOİ₅ arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlı çalışmalar ile ilgili sonuçlar aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

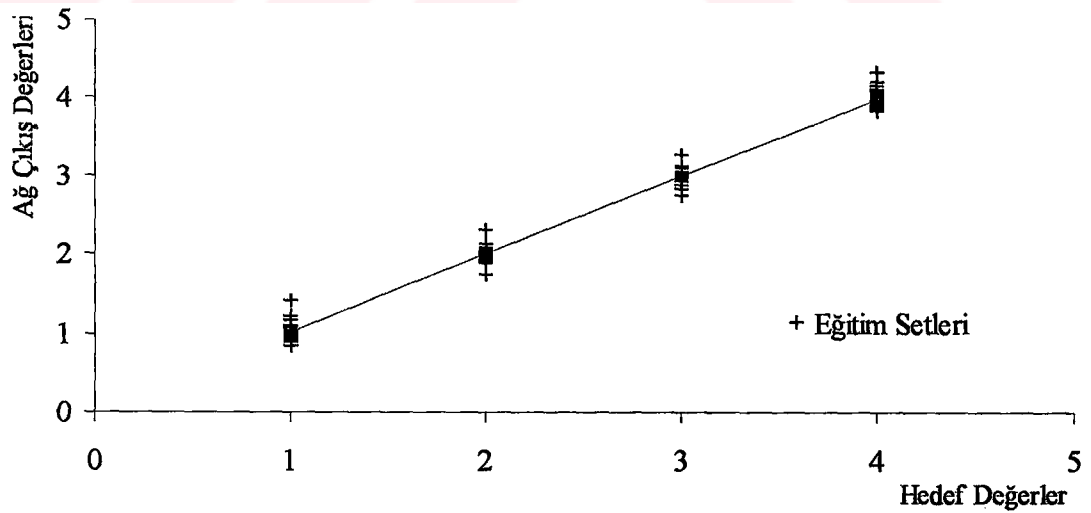
5.4.1. Atıksu Kokusunun Sınıflanması

Bu analizde geri yayımlı sinir ağı modeli atıksu arıtma tesisinin farklı bölgelerinden toplanan atıksu numunelerinin sınıflamasında kullanılmıştır. 4 farklı atıksu sınıfı (birimsiz) ve ağır çıkış değerleri (birimsiz) Şekil 5-4'de görülmektedir. Şekil 5-5'de 0.9963 korelasyon ve 0.0224 hata (hataların karelerinin ortalamasının karekökü) değerine sahip net bir sınıflama görülmektedir. Şekil 5-4 ve 5-5'ten görüldüğü üzere yüksek bir korelasyon değeri, sınıflama başarılı bir şekilde

gerçekleşmiştir. Atıksu tesisinin belli bir koku problemi olmamasına rağmen bazı günler ortalamanın üstünde görülmektedir. Bu farklılıklar mevsimsel değişikliklerden ve atıksuyun yapısından kaynaklanabilir. Bu yüzden iyi sonuçlar aynı mevsimde toplanan daha fazla data ile elde edilebildiği düşünülmektedir.



Şekil 5-4. Ağ çıkış değerleri ile hedef değerleri grafiği



Şekil 5-5. Normalleştirilmiş, ağın çıkış ve hedef değerleri arasındaki korelasyon

Tablo 5-1, %1 ile %40 arasında seçilen 6 hata değerleri için başarılı sınıflama, sayı ve yüzdesini özetlemektedir. Tablodan görüldüğü üzere verilerin %93.06'sı başarılı bir şekilde %10 hatanın altında sınıflamıştır.

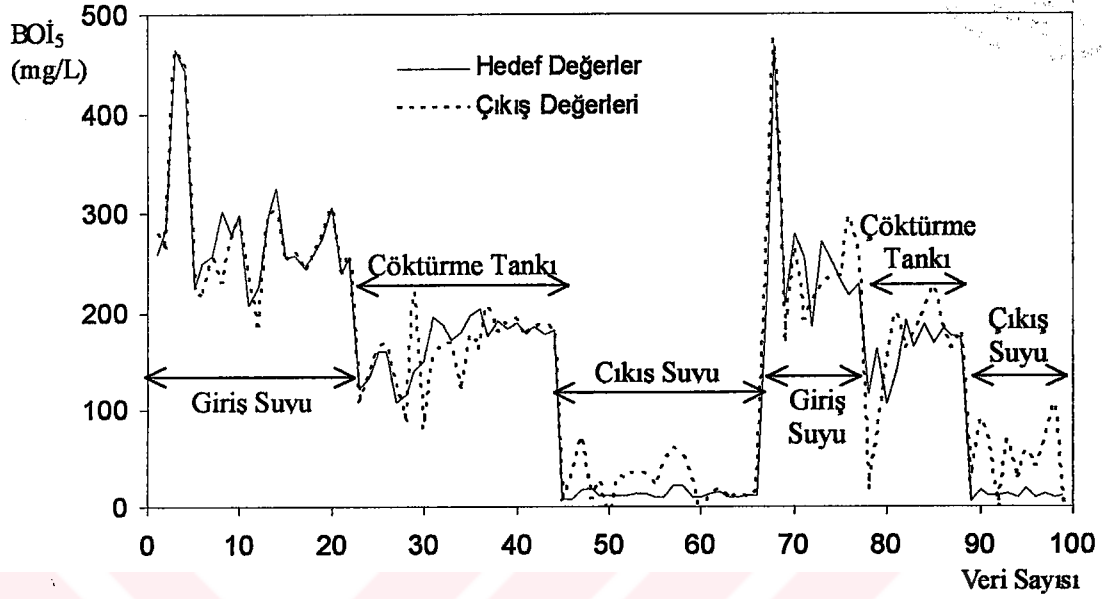
Tablo 5-1. Verilen hata değerleri arasında bulunan çıkış değer sayıları ve yüzdeleri

% Hata	Çıkış Değeri Sayısı	Çıkış Değerleri Yüzdesi
1	54	37.50
5	116	80.56
10	134	93.06
20	142	98.61
30	143	99.31
40	144	100.00

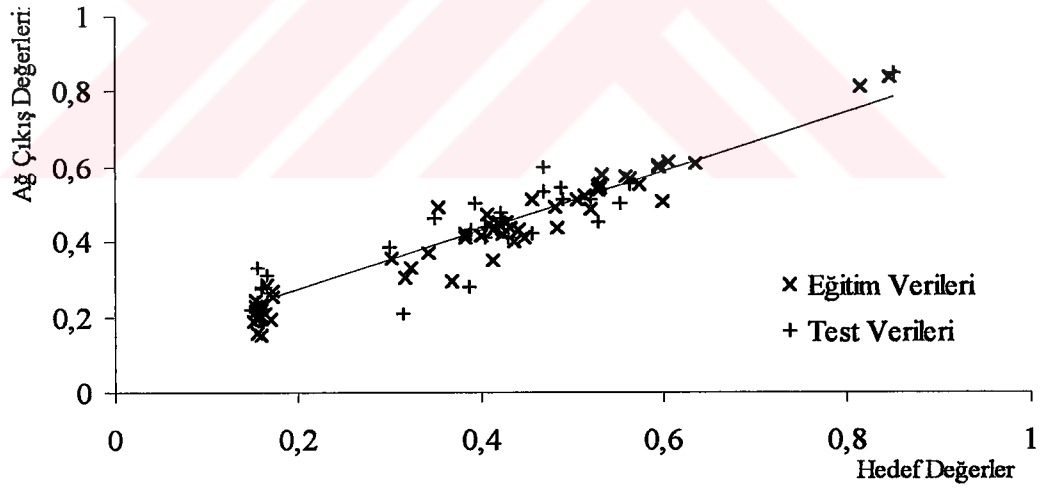
5.4.2. Atıksu Kokusu ile BOİ₅ Arasındaki İlişki

Atıksu verileri ile BOİ₅ arasındaki ilişki geri yayımlı bir YSA aracılığıyla incelenmiştir. Modellenen ve hedef BOİ₅ değerleri Şekil 5-6'da görülmektedir. İlk 66 değer eğitim, sonraki 33 değer test değerleridir. Eğitim ve test setleri için korelasyon değerleri sırasıyla 0.9802 ve 0.9107 (bkz. Şekil 5-7), hata değerleri ise 0.0371 ve 0.0709'dir.

Hata değerlerinin yüksek olmasının nedeni veriler arasındaki düşük BOİ₅ değerli çıkış suyu atıksu numuneleridir. Bu değerlerin ihmal edilmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilebilecektir. Fakat elde edilen değerlerden atıksuyun elektronik burun verileri ile bu verilerle ilgili BOİ₅ değerleri arasında net bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Kurulan YSA mimarisi aracılığıyla atıksu kokusu bilinen bir atıksuyun BOİ₅ değeri yüksek bir korelasyon ile tahmin edilip, suyun biyolojik içeriği hakkında fikir sahibi olunabilir.



Şekil 5-6. BOI₅ ağı hedef ve çıkış değerleri grafiği



Şekil 5-7. Normalleştirilmiş çıkış ve hedef değerleri arasındaki korelasyon

Yukarıdaki sonuçlardan elektronik burunun farklı koku örneklerinin sınıflandırılması ve BOI₅ detektörü olarak kullanılabilirliği sonucuna varılabilir.

6. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Sentetik bulanık değerlendirme metotları ile hava kalitesi sınıf analizi, atıksu kokusunun sınıflanması ve atıksu kokusu ile BOİ₅ arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlı çalışmalar ile ilgili genel değerlendirmeler ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için tavsiyeler aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

6.1. Genel Değerlendirme

Çalışmanın ilk kısmında sentetik bulanık değerlendirme metotları ile hava kalitesi sınıf analizi için hava kalitesi değerlendirmesi kapsamında Türkiye ve Amerika hava kalitesi standartları incelenmiştir. EPA'nın kullandığı HKİ ile önerilen 3 SBD tekniği olan Kapsamlı Bulanık Değerlendirme (KBD), Bulanık Benzerlik Metodu (BBM) ve Basit Bulanık Sınıflama (BBS) metotları ile veriler incelenmiş ve metotlar karşılaştırılmıştır.

Hava kalitesi modellemesi, kimyasal etkileşim ve ilgili parametrelerin hava kalitesi üzerindeki ağırlıklarının farklılığından dolayı kompleks bir işlemdir. Farklı metotlarla elde edilen sonuçlar arasındaki büyük farklılıklar hava kalitesi yönetimi için duyarlı bir analiz ve değerlendirme gerekliliğini ortaya koymuştur. HKİ hava kalitesi sınıflaması için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. HKİ yeterli duyarlılığı sağlamadığı için karar verme mekanizmalarını etkileyebilir. HKİ daha karamsar sonuçlar ortaya koyduğu için hava kalitesi iyileştirme çalışmaları için gereken harcamaların artmasına sebep olmaktadır. Fakat HKİ yerel hava kalitesi ve halkı sağlık hakkında bilgilendirmek maksatlı kullanılabilir.

Bulanık sentetik değerlendirme metotları veriler ve standartlar arasında bulanıklık bulunan durumlarda hava kalitesi değerlendirmesi amacı ile kullanılabilir. Üyelik fonksiyonların ve önceden tanımlanan ağırlıkların kullanımı SBD metotlarının duyarlılığını artırır. Bu sebeple SBD teknikleri akademisyenler ve devlet otoriteleri tarafından kalite yönetiminde kullanılabilir. İstanbul'un batısından toplanan hava kalitesi verileri 3 SBD tekniği ile değerlendirilmiştir ve sonuçlar bu tekniklerin kentsel hava

kalitesi yönetimi için uygun olduğunu göstermiştir. Bu çalışma sadece uzun dönem sınır değeri yerine 6 hava kalitesi sınıfı kullanımının, değerlendirmenin duyarlılığını önemli bir şekilde arttırdığını göstermiştir. Bu sebeple hava kalitesi sınıflarının kullanımı tavsiye edilmektedir.

İkinci kısımda elektronik burun atıksuyun ve kokusunun sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Koku analizi kompleks bir işlemdir. Kimyasal içerikte çok küçük değişiklikler bile koku üzerinde değişikliklere sebep olmaktadır. Atıksu kokusu ise suyun kimyasal içeriği itibari ile daha zor bir çalışmayı getirmiştir. Fakat elektronik burun ve sinir ağları birleşik bir çalışma bu zorluğun üstesinden gelmiştir. Atıksu numuneleri arıtma tesisinin farklı noktalarından toplanıp YSA ile analiz edilmiştir. Ek olarak, atıksu kokuları ile BOI_5 değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu metot klasik istatistiksel metotlara göre daha hızlıdır.

Atıksu kokuları kolayca karakterize edilemez. Özellikle evsel ve az endüstriyel içerikli atıksuları arıtan bir tesis için atıksu kokusu ile BOI_5 arasında ilişki kurmak zordur. Ancak bu çalışmada sınırlı sayıda veri ile kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Daha fazla veri ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği açıktır. Atıksu kokusu ile ilgili BOI_5 değerleri arasında korelasyon % 90'ın, atıksu numunelerinin sınıflandırılmasında ise % 99'un üzerinde çıkmıştır. Buradan, elektronik burunun farklı koku örneklerinin sınıflandırılması ve BOI_5 detektörü olarak kullanılabilirliği sonucuna varılabilir.

Akıllı sistemlerin yapılan iki örnek çalışma ile çevre mühendisliği alanında da klasik metotlara göre avantajlar sağladığı görülmüştür. Doğrusal olmayan, kompleks, parametre sayısının yüksek olduğu, veriler arasında düşük korelasyonun bulunduğu, eksik verilerin bulunduğu, duyarlılık gerektiren, sınır değerlerin yakın olduğu sistemler de kullanılabilir.



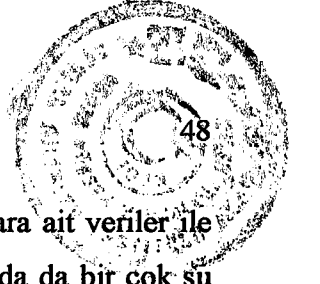
6.2. Öneriler

Yapılan iki örnek çalışma ile yapay sinir ağları ile bulanık mantık sistemlerinin kullanımı, sağladıkları avantajlar itibarıyla fen bilimleri ve mühendislik alanında tavsiye edilmektedir. Çalışmanın ilk kısmı ile kalite parametrelerinin sınır değerlerindeki bulanıklığın giderilmesi ve parametrelerin değerlendirmeye kendi ağırlıklarınca etkisinin verilmesi, duyarlılığı arttırarak bulanık sentetik değerlendirme metotlarının gelecekte yapılacak benzer çalışmalar için avantajlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca 6 hava kalitesi değerlendirme sınıfının kullanımı otoritelere tavsiye edilmektedir.

İleride yapılacak benzer çalışmalar için daha geniş bir bölgeye ve zaman aralığına ait verilerin kullanımı, farklı bulanık mantık değerlendirme metotları ile karşılaştırma ve hava kalitesi için daha fazla veya farklı parametrelerin kullanımı, çalışmalar için daha iyi avantajlar sağlayacaktır. Ayrıca sınıf analizi için yapay sinir ağlarına dayalı 'Kohonen Self Organizing Maps' metodu ile daha fazla parametre kullanımına ve parametreler arasındaki kompleks ilişkilere rağmen duyarlı bir analiz sağlayacaktır.

Çalışmanın ikinci kısmında yapay sinir ağları atıksu kokularının sınıflandırılması ve atıksu kokusu ile BOI_5 arasında bir ilişkinin belirlenmesi için kullanılmıştır. YSA kullanılarak yapılan 2 analizde de sinir ağlarının başarılı olduğu gösterilmiştir. Gelecekte koku üzerine çalışmak isteyenler için elektronik burun kullanımı diğer koku analiz yöntemlerine göre avantaj sağlayacaktır. Sinir ağları ile sınıflama analizini kokunun bölgesel analizi için değil de kalite sınıfı analizi için kullanımı atıksu arıtma tesisi operatörleri için daha sağlıklı ve güvenli işletme imkanı ortaya koyacaktır.

Atıksu kokusu ile BOI_5 arasındaki ilişkinin belirlenmesi çalışması yeni bir düşüncedir. Normalde 5 gün süren bir su kirliliği parametresi analizinin 1-2 dakika gibi sürede yapılmasını sağlayan elektronik burun ve sinir ağları birleşik çalışması çok önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bir atıksu tesisi yönetimi veya analiz laboratuvarları için çok avantaj sağlayacak bir analiz metodu tavsiye edilmektedir. Suyun biyolojik içeriği hakkında 5 gün gibi uzun bir sürede değil de 1-2 dakika gibi bir sürede bilgi sahibi olunması sisteme zamanda müdahale için çok önemlidir. Gelecekte benzer bir



Çalışma için daha fazla, daha geniş aralıklarda, beklenmeyen durumlara ait veriler ile çalışarak daha yüksek korelasyon değerleri elde edilebilir. BOI_3 dışında da bir çok su kalitesi parametresi ile çalışılabilir. Bu sayede tek bir elektronik burun ile birçok parametre analizi yapabilen sensör sistemleri ticari anlamda da piyasada yerini bulabilir.





KAYNAKLAR

- [1] Klir, G., and Yuan, B., 1995, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall, NJ, 1-50.
- [2] Inhaber, H., 1976. *Environmental Indices*, John Wiley and Sons, New York.
- [3] Ott, W. R., 1978. *Water Quality Indices: A Survey of Indices Used in the United States*, US Environmental Protection Agency, EPA-600/4-78-005. Washington, DC.
- [4] Rossbach, M., Jayasekera, R., Kniewald, G., Thang, N. H., 1999. Large scale air monitoring: lichen vs. air particulate matter analysis. *The Science of the Total Environment* 232, 59-66.
- [5] Bhuyan, S.J., Koelliker, J.K., Marzen, L.J., Harrington, Jr., J.A., 2003. An integrated approach for water quality assessment of a Kansas watershed. *Environmental Modelling & Software* 18, 473-484.
- [6] Fisher, B., 2003. Fuzzy environmental decision-making: applications to air pollution. *Atmospheric Environment* 37, 1865-1877.
- [7] Bourgeois, W., Stuetz, R.M., 2002. Use of a chemical sensor array for detecting pollutants in domestic wastewater. *Water Research*. 36, 4505-4512.
- [8] Brennan, B.M., Kenny, N., 1994. Recent advances in odour measurement. *Proc. IWEM Conference on Odour Control and Prevention in the Water Industry*. 33-41.
- [9] Toogood, S.J., 1993. Changing attitudes towards odours - Consequences for the water industry. *Proceedings of Odour Control and Prevention in the Water Industry*.
- [10] Hobson, J., 1994. The odour potential - A new tool for odour management. *IWEM Proc. of Odour Control and Prevention in the Water Industry*. 77-88.
- [11] Dewettinck, T., Hege, K.V., Verstraete, W., 2001. The Electronic Nose as a Rapid Sensor for Volatile Compounds in Treated Domestic Wastewater. *Wat. Res. Vol.* 35, 10, 2475-2483.
- [12] Stuetz, R.M., Fenner, R.A., Engin, G., 1999. Characterisation of wastewater using an electronic NOSE. *Water Research*. 33, (2), 442-452.
- [13] Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets, *Information and Control* 8, 338-353.

- [14] François, J.L., Martín-del-Campo, C., and Tavares, A., 2004, Development of a BWR control rod pattern design system based on fuzzy logic and knowledge, *Annals of Nuclear Energy*, 31(4), 343-356.
- [15] AntoniĆ, O., Pernar, N. and Jelaska, S. D., 2003. Spatial distribution of main forest soil groups in Croatia as a function of basic pedogenetic factors, *Ecological Modelling*, 170(2-3), 363-371.
- [16] Kolokotsa, D., 2003. Comparison of the performance of fuzzy controllers for the management of the indoor environment, *Building and Environment*, 8(12), 1439-1450.
- [17] Liu, M. and Ling, Y. Y., 2003. Using fuzzy neural network approach to estimate contractors' markup, *Building and Environment*, 38(11), 1303-1308.
- [18] Sadiq, R., Al-Zahrani, M. A., Sheikh, A. K., Husain, T., and Farooq, S., 2003. Performance evaluation of slow sand filters using fuzzy rule-based modelling, *Environmental Modelling & Software*, In Press.
- [19] Chen, Q. and Mynett, A. E., 2003. Integration of data mining techniques and heuristic knowledge in fuzzy logic modelling of eutrophication in Taihu Lake, *Ecological Modelling*, 162(1-2), 55-67.
- [20] Ferraro, D. O., Ghersa, C. M. and Sznaider, G. A., 2003. Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 96(1-3), 1-18.
- [21] Roussel, O., Cavelier, A., and van der Werf, H. M. G., 2000. Adaptation and use of a fuzzy expert system to assess the environmental effect of pesticides applied to field crops, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80(1-2), 143-158.
- [22] Lobbrecht, A. H. and Solomatine, D. P., 2002. Machine learning in real-time control of water systems, *Urban Water*, 4(3), 283-289.
- [23] Kalker, T. J. J., van Goor, C. P., Roeleveld, P. J., Ruland, M. F., and Babuška, R., 1999. Fuzzy control of aeration in an activated sludge wastewater treatment plant: design, simulation and evaluation, *Water Science and Technology*, 39(4), 71-78.

- [24] Phillis Y. A. and Andriantiatsaholainaina, L. A., 2001. Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic, *Ecological Economics*, 37(3), 435-456.
- [25] Francesco, F. D., Lazzerini, B., Marcelloni, F. and Pioggia, G., 2001. An electronic nose for odour annoyance assessment, *Atmospheric Environment*. 35(7), 1225-1234.
- [26] Mohamed, A. M. O., and Côté, K., 1999. Decision analysis of polluted sites — a fuzzy set approach, *Waste Management*, 19(7-8), 519-533.
- [27] Lu, R.S., Lo, S.L., Hu, J.Y., 1999. Analysis of reservoir water quality using fuzzy synthetic evaluation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 13, 327-336.
- [28] Chang, N. B., Chen, H. W., Ning, S. K., 2001. Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach. *Journal of Environmental Management* 63, 3, 293-305.
- [29] Lu, R. S., Lo, S. L., 2002. Diagnosing reservoir water quality using self-organizing maps and fuzzy theory. *Water Research* 36, 2265–2274.
- [30] Haiyan, W., 2002. Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City, Hunan Province, China. *Journal of Environmental Management* 66, 3, 329-340.
- [31] Tao, Y., Xinmiao, Y., 1998. Fuzzy comprehensive assessment, fuzzy clustering analysis and its application for urban traffic environment quality evaluation. *Transportation Research-D* 3(1), 51-57.
- [32] McCulloch, W.S., and W. Pitts. 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bull. Math. Biophys.* 5, 115.
- [21] Rosenblatt, F., 1958. The Perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain, *Psychological Review*, 62, 386.
- [22] Widrow, B., and M.E. Hoff, 1960, Adaptive switching circuits, WESCON [Institute of Radio Engineers, Western Electronic Show and Convention] Convention Record, 4, 96.
- [23] Kohonen, T., Lehtiö, P., Rovamo, J., Hyvärinen, J., Bry, K. and L. Vainio, 1977. A principle of neural associative memory, *Neuroscience*, 2 (6), 1065-1076.

- [24] Hopfield, John J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 7, 2554.
- [25] Rumelhart, D., and J. L. McClelland., 1986a, *On Learning the Past Tense of English Verbs, Parallel Distributed Processing: Psychological and Biological Models*, 2. Cambridge, MA: MIT Pres.
- [26] Patterson, D.W., 1996. *Artificial neural networks – Theory and Applications*. Prentice Hall, USA.
- [27] Meireles, M.R.G., Almeida, P.E.M., and Simoes, M.G., 2003. A comprehensive review for industrial applicability of artificial neural networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 50 (3).
- [28] Kosko, B., 1992. *A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence. Neural Networks and Fuzzy Systems*. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs. 449.
- [29] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., 1986b. Learning representations by back-propagation errors. *Nature*. 323, 533–536.
- [30] Ziver, A. K., Pain, C. C., Carter, J. N., de Oliveira, C. R. E., Goddard, A. J. H. and Overton, R. S., 2004. Genetic algorithms and artificial neural networks for loading pattern optimisation of advanced gas-cooled reactors, *Annals of Nuclear Energy*, 31(4), 431-457.
- [31] Ortiz, J. J., and Requena, I., 2003. Using a multi-state recurrent neural network to optimize loading patterns in BWRs, *Annals of Nuclear Energy*, In Press.
- [32] Yang, I. H. and Kim, K. W., 2004. Prediction of the time of room air temperature descending for heating systems in buildings, *Building and Environment*, 39(1), 19-29.
- [33] Liu, M. and Ling, Y. Y., 2003. Using fuzzy neural network approach to estimate contractors' markup, *Building and Environment*, 38(11), 1303-1308.
- [34] Filippi, J. B. and Bisgambiglia, P., 2004. JDEVS: an implementation of a DEVS based formal framework for environmental modelling, *Environmental Modelling Software*, 19(3), 261-274.

- [35] Kralisch, S., Fink, M., Flügel, W. A. and Beckstein, C., 2003. A neural network approach for the optimisation of watershed management, *Environmental Modelling & Software*, 18(8-9), 815-823.
- [36] Recknagel, F., 2003. Simulation of aquatic food web and species interactions by adaptive agents embodied with evolutionary computation: a conceptual framework, *Ecological Modelling*, 170(2-3), 291-302.
- [37] Guimarães, A. C. F. and Lapa, C. M. F., 2004. Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning, *Annals of Nuclear Energy*, 31(1), 107-115.
- [38] Mahfouz, A. B. and Haddara, M. R., 2003. Effect of the damping and excitation on the identification of the hydrodynamic parameters for an underwater robotic vehicle, *Ocean Engineering*, 30(8), 1005-1025.
- [39] Deo, M. C. and Jagdale, S. S., 2003. Prediction of breaking waves with neural networks, *Ocean Engineering*, 30(9), 1163-1178.
- [40] Kukkonen, J., Partanen, L., Karppinen, A., Ruuskanen, J., Junninen, H., Kolehmainen, M., Niska, H., Dorling, S., Chatterton, T., Foxall R., and Cawley G., 2003. Extensive evaluation of neural network models for the prediction of NO₂ and PM₁₀ concentrations, compared with a deterministic modelling system and measurements in central Helsinki, *Atmospheric Environment*, 37(32), 4539-4550.
- [41] Libiseller, C., and Grimvall, A., 2003. Model selection for local and regional meteorological normalisation of background concentrations of tropospheric ozone, *Atmospheric Environment*, 37(28), 3923-3931.
- [42] Dong, C., Jin, B. and Li, D., 2003. Predicting the heating value of MSW with a feed forward neural network, *Waste Management*, 23(2), 103-106.
- [43] Filipponi, P., Poletini, A., Pomi, R. and Sirini, P., 2003. Physical and mechanical properties of cement-based products containing incineration bottom ash, *Waste Management*, 23(2), 145-156.
- [44] Dutta, R., Hines, E.L., Gardner, J.W., Udrea, D.D., Boilot, P., 2003a. Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach. *Measurement Science and Technology*. 14, 190-198.

- [45] Gardner, J.W., Hines, E.L., Tang, H.C., 1992a. Detection of vapours and odours form a multisensor array using pattern recognition techniques: artificial neural networks. *Sensors and Actuators B*. 9, 9–15.
- [46] Lu, Y., Bian, L., Yang, P., 2000. Quantitative artificial neural network for electronic noses. *Analytica Chimica Acta*. 417, 101–110.
- [47] Dutta, R., Kashwanb, K.R., Bhuyanb, M., Hinesa, E.L., Gardnera, J.W., 2003b. Electronic nose based tea quality standardization. *Neural Networks*, Special issue.
- [48] Gardner, J.W., Shurmer, H.V., Tan, T.T. 1992b. Application of an electronic nose to the discrimination of coffees. *Sensors and Actuators B*. 6, 71–75.
- [49] Schweizer-Berberich, P.M., Vaihinger, S., Gopel, W., 1994. Characterization of food freshness with sensor arrays. *Sensors and Actuators B*. 18, 282–290.
- [50] Winqvist, F., Hornsten, E.G., Sundgren, H., Lundstrom, I., 1993. Performance of an electronic nose for quality estimation of ground meat. *Measurement Science and Technology (IoP)*. 4, 1493–1500.
- [51] Yücetürk, A.C., Korel, F., Balaban, M.Ö., 2001. Application of Neural Networks in Determining the Storage time of milk samples obtained by an electronic nose. *Proc. of 10th Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks (TAINN'2001)*. TRNC, 6-11.
- [52] Gardner, J.W., Shin, H.W., Hines, E.L., Dow, C.S., 2000. An electronic nose system for monitoring the quality of potable water. *Sensors and Actuators B*. 69, 336–341.
- [53] Bockreis, A., Jager, J., 1999. Odour monitoring by the combination of sensors and neural networks. *Environmental Modelling & Software*. 14, 421–426.
- [54] Hong, H., Kwon, C.H., Kim, S., Yun, D.H., Lee, K., Sung, Y.K., 2000. Portable electronic nose system with gas sensor array and artificial neural network. *Sensors and Actuators B*. 66, 49–52.
- [55] US Environmental Protection Agency (EPA), 2000. A Guide to Air Quality and Your Health, Air Quality Index, EPA-454/R-00-005, USA.
- [56] Hodgins, D., 1994. The electronic NOSE: A new technology for the characterisation of odours emitted from foods, drinks and other products. *Neotronics Scientific Internal Report*, Neotronics Scientific, Essex.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Gaziantep'te doğan İbrahim Demir, ilkokul tahsilini Gaziantep'te, orta ve lise tahsilini Antalya'da tamamladı. 1996 yılında başladığı Boğaziçi Üniversitesi Kimya Bölümü'nden, 2000 yılında mezun oldu. 2001 yılında, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2002 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevini sürdürmektedir.



EK 1

Qnet Programı

Programın Temini :

Aşağıdaki internet adresinden programın 120 günlük deneme sürümünü veya lisanslı tam sürümünü temin edebilirsiniz.

Firma : Vesta Services, Inc., USA

İnternet Adresi : <http://www.qnet2000.com>

Sistem Gereksinimleri :

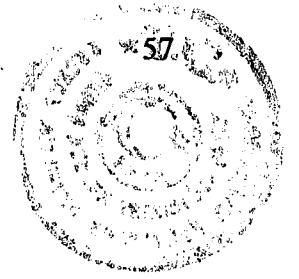
Qnet programının çalışabilmesi için minimum aşağıdaki özelliklerde bir PC gereklidir.

- Pentium™ veya daha üst sınıf CPU.
- Windows 95, 98, 2000, NT veya Windows XP.
- SVGA veya daha yüksek grafik seçeneği (800x600+ veya yüksek renk seçeneği tavsiye edilir).
- 16MB+ (32+ tavsiye edilir).
- Kurulum için 3 MByte boş hafıza (eğitim için daha fazlası).
- HTML Yardım (v1.2 veya daha yüksek)

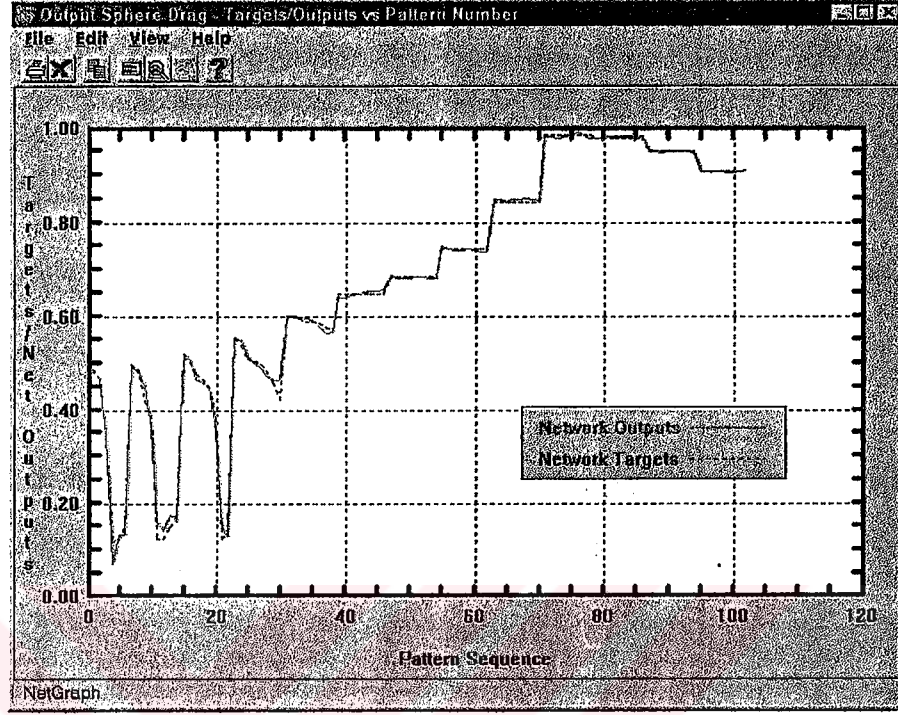
Kurulum :

Programı temin ettikten sonra dosyaya çift tıklayarak kurulumu başlatabilirsiniz.

Ekranda uyarıları takip ederek kurulumu tamamlayın.



[7] Grafik Ekranı



Yukarıdaki grafik ile ağın hedef ve çıkış değerleri karşılaştırılarak istenen modelin kurulup kurulmadığına karar verilir.

[8] Ağı Tekrar Kullanma Ekranı

Recall Setup

Input Node Data File: C:\QnetV2K\samples\SphereDrag\Sphere.dat

Input Node Data File: Data Start Column: 1

(Targets Optional for Recall Mode)

Target Data File: C:\QnetV2K\samples\SphereDrag\Sphere.dat

Target Data File: Data Start Column: 3

DataPro Load Data File

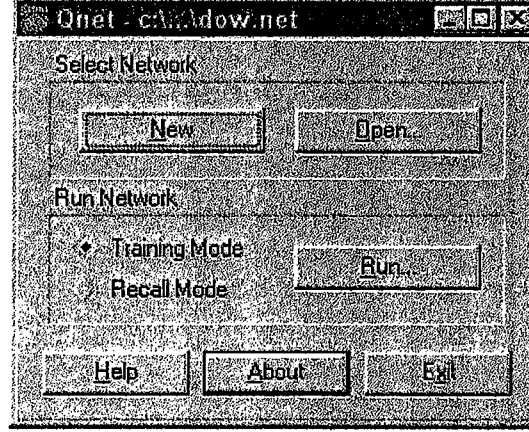
OK Cancel Help

Bu ekranı kullanarak önceden eğitilmiş bir ağı üzerinde hiç çalışılmamış değerler çalıştırılabilir.



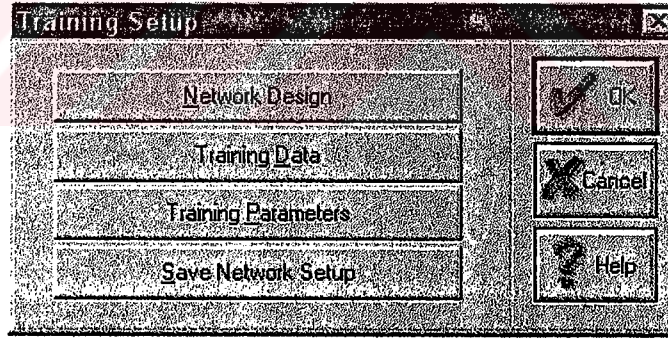
Kullanım :

[1] Başlangıç Ekranı

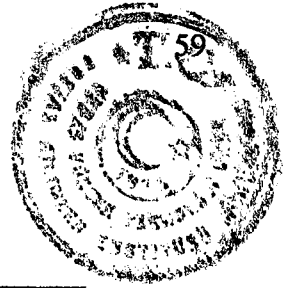


Bu \ekranı kullanarak yeni model kurabilir veya daha önce kurduğunuz modeli çağırabilirsiniz. Daha önce eğittiğiniz modeller üzerinde verilerinizi test edebilirsiniz.

[2] Eğitim Ayarları Ekranı



Bu ekranı kullanarak yeni bir ağ tasarımı veya eski ağınız üzerinde değişiklik yapabilirsiniz. Verilerini sisteme girebilir, eğitim parametrelerinizi belirlersiniz. Ağınıza yaptığınız değişiklikleri kaydederek daha sonra hızlı erişim sağlarsınız.



[3] Ağ Tasarımı Ekranı

Network Design

Network Name: DOW 5 Day/Weighted

Number of Network Layers: 4

Number of Input Nodes: 5

Hidden Layer 1 Nodes: 4

Hidden Layer 2 Nodes: 3

Hidden Layer 3 Nodes:

Hidden Layer 4 Nodes:

Hidden Layer 5 Nodes:

Hidden Layer 6 Nodes:

Hidden Layer 7 Nodes:

Hidden Layer 8 Nodes:

Number of Output Nodes: 1

View Network

Transfer Functions

Connections

OK

Cancel

Help

Bu ekranı kullanarak ağ mimarinizi belirlersiniz. Ağın kaç tabakadan oluşacağı, her tabakada kaç düğüm ve hangi transfer fonksiyonlarının kullanılacağını belirlersiniz.

[4] Eğitim Parametrelerini Belirleme Ekranı

Training Parameters

Max Iterations: 10000

Learn Rate Control Start Iteration: 10001

AutoSave Rate: 500

Screen Update Rate: 20

Learn Rate (ETA): 0.005000

Learn Rate Minimum (Learn Control): 0.001000

Learn Rate Maximum (Learn Control): 0.300000

Momentum (ALPHA): 0.800000

FAST-Prop Coefficient: 0.000000

Training Patterns used per Weight Update: 0

Tolerance: 0.000000

Quit at Training RMS Error: 0.000000

Reset/Initialize Network Weights

OK

Cancel

Help

Bu ekranı kullanarak ağınıza ait eğitim parametrelerinizi (iterasyon sayısı, eğitim hızı kontrolü, otomatik kayıt hızı, ekran yenileme hızı, eta, momentum faktörü ve tolerans vb.) belirlersiniz.



[5] Eğitim ve Test Verilerini Belirleme Ekranı

Training/Test Data

Input Node Data File: \DOW.txt
Input Node Data File: [] Data Start Column: 1 [x] Normalize Inputs [OK]

Target Data File: \DOW.txt
Target Node Data File: [] Data Start Column: 7 [x] Normalize Targets [Cancel]

Number of Test Cases: 300 Inclusion Method: [?]
[] Targets include case weightings in first column
Random
Beginning
End
None [Help]

DataPro [] Target DataPro []

Bu ekranı kullanarak eğitim ve test verilerinizi sisteme girersiniz.

[6] Eğitim Ekranı

Onet : C:\qnetv2\ksamples\stockpredictor\dow.net

File Options NetGraph Info Training Help

Network Definition

Network Layers	4
Input Nodes	5
Output Nodes	1
Hidden Nodes	7
Transfer Functions	Sigmoid
Connections	38
Training Patterns	880
Test Patterns	300
Network Size (Bytes)	100304
Training Mode	standard
Net Training/Total	1/1

Training Controls

Max Iterations	10000
Learn Control Start	10001
Learn Rate	0.005000
Learn Rate Max	0.300000
Learn Rate Min	0.001000
Momentum	0.800
Patterns per Update	880
FAST Prop	0.000
Screen Update	20
AutoSave Rate	500
Tolerance	0.00000
Quit at RMS Error	0.00000

Training Results

Iteration	320	Training Speed (CPS)	1840K
Percent Complete	3.2%	Time Remaining	0:3:39
	RMS Error	Correlation	Tot. Connect
Training Set	0.096271	0.086260	
Test Set	0.148036	0.000000	

Network Training Halted

Bu ekran eğitim sırasında sistemi takip etmenizi sağlar. Eğitim ve test setleri için korelasyon ve hata değerleri anlık takip sayesinde en uygun modelin belirlenmesi sağlanır.