

T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

**HAVA KİRLİLİĞİNİN YAPAY ZEKA  
TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

İsmet BIYIK

İSTANBUL, 2010

T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

**HAVA KİRLİLİĞİNİN YAPAY ZEKA  
TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

İsmet BIYIK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEKTAŞ

İSTANBUL, 2010

**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi**

Tezin Başlığı : Hava kirliliğinin yapay zeka teknikleri ile belirlenmesi

Öğrencinin Adı Soyadı : İsmet BIYIK

Tez Savunma Tarihi : 12 / 06 / 2010

Bu yüksek lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylamıştır.

Yrd. Doç. Dr. Tunç BOZBURA

Enstitü Müdürü

Bu tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Tez Sınav Jürisi Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Mehmet TEKTAŞ :

Prof. Dr. Oktay ALNIAK :

Prof. Dr. Mustafa ILICALI :

## **TEŐEKKÖR**

Öncelikle tez konunun belirlenmesi aşamasından sonlandırma aşamasına kadar yardımcı olan tez danışmanım Yrd. Doç Dr. Mehmet TEKTAŞ'a, bana destek olarak yardımını esirgemeyen aileme, kurumum İ.B.B Park ve Bahçeler Müdürlüğüne, Avrupa Yakası Planlama Şefi Erman UZUN'a, harita teknikerleri Muhammed Ali KILDIR ve Cihan AKKAYA'ya, peyzaj teknikeri Eyüp KOCABIYIK'a ve kimyager Hasan ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Haziran, 2010**

**İsmet BIYIK**

## ÖZET

### HAVA KİRLİLİĞİNİN YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ

BIYIK, İsmet

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr, Mehmet Tektaş

Haziran 2010, 70 sayfa

Hava kirliliği özellikle büyük şehirler için kış aylarında önemli bir sorun olarak kendisini göstermektedir. Kirleticilerin atmosfere bırakılma miktarı yanında olumsuz atmosferik şartlar büyük şehirlerde hava kirliliğinin insan sağlığı için olumsuz konsantrasyon değerlerine ulaşmasına neden olmaktadır. İstanbul ilinin geçmişi göz önüne alındığında bu tür olumsuzluklar özellikle kış aylarında sıkça gözlemlenmiştir. Hava kirliliği modellemesi ile kirletici konsantrasyonların doğru bir şekilde tahmininin yapılması kirliliğin olumsuz etkilerinin azaltılmasında ya da gerekli önlemlerin alınmasında etkili olacaktır.

Bu çalışmada İstanbul ili ele alınarak, hava kirliliği konularında giderek daha yaygın uygulama olanağı bulan ve başarılı sonuçlar veren Yapay Zeka Tekniklerinden Bulanık Mantık modeli kullanılarak hava kirliliğinin çeşitli hava kirliliğinin tahmini yapılmıştır. SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO kirletici parametreleri için uygun modeller oluşturulmuş ve bu modeller yardımı ile kirletici konsantrasyonlarının etkileri incelenmiştir.

Bulanık mantık modelinde, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO konsantrasyonları modellenen ve tahmin edilen hava kirliliği parametreleri olarak kullanılmıştır. Veri tabanı olarak kirletici parametrelerin EPA standartları kullanılmış, bu veri seti ile dört giriş bir çıkıştan oluşan model oluşturulmuş ve hava kirliliği indeksi tahmin edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hava kirliliği, Bulanık mantık modelleme, Kirletici konsantrasyonları, Hava kirliliği EPA standartları.

## **ABSTRACT**

### **The ARTIFICIAL INTELLIGENCE AIR POLLUTION DETERMINATION AND TECHNIQUES**

Bıyık, İsmet

Urban Systems and Transportation Management

Supervisor: Yrd. Doç. Dr, Mehmet Tektaş

June, 2010, 70 pages

Air pollution in large cities poses a problem to the public health in winter months. Not only the amount of pollutants released into the atmosphere but also adverse atmospheric conditions increase the air pollution values to the extreme values that pose a great threat to the human health. Considering the archive values of the city of Istanbul, these negativities have been observed at winter months. Air pollution modeling and prediction of pollutant concentrations will lead decrease the negative effects and also required precautions will be taken by these assumptions.

This study considers the city of Istanbul. With the fuzzy logic model using Artificial Intelligence Techniques that is being used widely and considered to be the most trusted model that can be used for estimating the air pollution values. SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and CO pollutant models were created according to parameters and pollutant concentrations.

In fuzzy logic model, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> and CO concentrations were modeled and estimated parameters used as air pollution. EPA pollutant database used as standard parameters, this data set, consisting of four input output model was developed and an air pollution index was predicted.

**Key words:** air pollution, fuzzy logic, modeling, pollutant concentrations, air pollution, the EPA standards.

## İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR .....	VII
TABLolar.....	VII
ŞEKİLLER.....	IX
1. GİRİŞ VE ÖN BİLGİLER .....	1
1.1. GİRİŞ .....	1
1.2. KİRLLETİCİLERİN ATMOSFERDEKİ HAREKETLERİ .....	3
1.3. KİRLLETİCİ KAYNAKLARI.....	5
1.4. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ (AQI).....	8
1.5. KONSANTRASYON HESAPLANMASINDA BİRİM DÖNÜŞÜMÜ ..	9
1.6. HAVA KALİTESİ İNDEKSİNİN HESAPLANMASI .....	10
1.7. KİRLLETİCİLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ.....	11
2. MATARYEL VE METODLAR .....	15
2.1. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİ TABANI .....	15
2.1.1. Çalışma Bölgesi .....	15
2.1.1.1. Çalışma Bölgesinin Topografik Durumu .....	15
2.1.2. Veri Tabanı.....	17
2.1.3. Hava Kirliliği Verileri .....	17
3. BULANIK MANTIK.....	20
3.1. BELİRSİZLİK KAVRAMLARI.....	22
3.2. BELİRSİZLİK VE KESİN OLMAYIŞ .....	24
3.3. BELİRSİZLİK YÖNTEMLERİ.....	26

3.4. BULANIK KÜMELER VE ÜYELİK DERECELERİ.....	28
3.5. BULANIK SİSTEM NE DEMEKTİR? .....	31
3.6. ÜYELİK FONKSİYONLARI.....	38
3.6.1. Üyelik Fonksiyonunun Kısımları .....	41
3.7. BULANIKLAŞTIRMA .....	45
3.8. DURULAŞTIRMA .....	45
3.9. ÜYELİK DERECE Sİ ATAMASI.....	46
3.10. BULANIK MANTIK YÖNTEMLERİ.....	48
3.10.1. Mamdani Bulanık Mantık Yöntemi .....	48
3.10.2. Takagi-Sugeno Bulanık Mantık Yöntemi .....	51
3.11. BULANIK MANTIK TEORİSİNİN UYGULAMALARI VE KULLANIM ALANLARI .....	54
4. BULANIK MANTIK UYGULAMA MODELİ.....	57
5. BULANIK MODELİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKÇA.....	69



## KISALTMALAR

<b>EPA</b>	:	Çevre koruma ajansı.
<b>AQI</b>	:	Hava kalite indeksi.
<b>BM</b>	:	Bulanık Mantık.
<b>YZ</b>	:	Yapay Zeka.
<b>FIS</b>	:	Bulanık Çıkarım Sistemi.
<b>TSK</b>	:	Takagi, Sugeno, Kank.

## TABLULAR

<b>Tablo 1.1:</b> İstanbul'da 2009 yılındaki kirletici emisyonlarının dağılımı .....	7
<b>Tablo 1.2:</b> Amerika'da 2009 yılı için kirletici emisyonları EPA (2007) .....	8
<b>Tablo 1.3:</b> Hava Kirletici Parametrelerinin EPA Standart Değerleri.....	11
<b>Tablo 1.4:</b> Bazı hava kirliliği olayları ve sonuçları EPA (1989).....	12
<b>Tablo 1.5:</b> Hava kalitesi indeksi – Sağlıkla ilgili seviye.....	13
<b>Tablo 2.1:</b> 2002-2009 yılları arası hava kirliliği parametrelerinin değerleri.....	13
<b>Tablo 5.1:</b> Parametreler arasındaki korelasyon ilişkisi... ..	66
<b>Tablo 5.2:</b> Berraklaştırma yöntemlerinin karşılaştırması.....	67

## ŞEKİLLER

<b>Şekil 1.1:</b> Kuzey yarım kürede bir siklonda yakınsayan rüzgarların düşük irtifa saat yönü tersindeki spiralleri.....	4
<b>Şekil 1.2:</b> Kuzey yarım kürede bir antisiklondan uzaksayan rüzgarların saat yönündeki spiralleri..	5
<b>Şekil 2.1:</b> İstanbul ili şehir haritası .....	15
<b>Şekil 2.2:</b> İstanbul ili topografik haritası .....	17
<b>Şekil 2.3:</b> Hava kirliliği ölçüm noktaları .....	18
<b>Şekil 3.1:</b> Klasik mantık ve BM yaklaşımları ile boy kümelerinin oluşturulması .....	20
<b>Şekil 3.2:</b> Bulanık çıkarım sistemi, FIS. ....	21
<b>Şekil 3.3:</b> Üyelik Derecesi Fonksiyonları (a) Klasik Küme, (b) Bulanık Küme .....	30
<b>Şekil 3.4:</b> (a) Geometrik Şekiller (b) Müphem Terimler .....	30
<b>Şekil 3.5:</b> Klasik Sistem .....	34
<b>Şekil 3.6:</b> Genel Bulanık Sistem .....	34
<b>Şekil 3.7:</b> TSK Bulanık Sistemi.....	36
<b>Şekil 3.8:</b> Bulanıklaştırma-Durulaştırma Birimli Bulanık Sistem .....	37
<b>Şekil 3.9:</b> Bitişik Üçgen Gösterimi .....	39
<b>Şekil 3.10:</b> Örtüşmeli Üçgen Gösterimi .....	39
<b>Şekil 3.11:</b> Bulanık Küme .....	40
<b>Şekil 3.12:</b> Yamuk ve Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonları.....	41

<b>Şekil 3.13:</b> Üyelik Fonksiyonu Kısımları .....	41
<b>Şekil 3.14:</b> Bulanık Kümeler (a) Normal (b) Normal Olmayan.....	42
<b>Şekil 3.15:</b> Bulanık Kümeler (a) Dışbükey (b) Dışbükey Olmayan .....	43
<b>Şekil 3.16:</b> Dışbükey Bulanık Kümelerin Kesişimi.....	44
<b>Şekil 3.17:</b> Hassaslık (a) Bulanık (b) Klasik(kaynak) .....	45
<b>Şekil 3.18:</b> Sıcaklık Bulanık Alt Kümeleri.....	47
<b>Şekil 3.19:</b> Dilsel Değişkenler, Sıcaklık .....	48
<b>Şekil 3.20:</b> Dilsel Durum Uzayı.....	49
<b>Şekil 3.21:</b> Birkaç Durulaştırma Metodu .....	50
<b>Şekil 3.22:</b> Beş Adımda Mamdani Tipi Kontrolün Gösterimi .....	50
<b>Şekil 3.23:</b> Birinci Dereceden Sugeno Tipi Modelin Girdi Değişkenleri ile Çıktı değişkenleri arasındaki ilişki.....	52
<b>Şekil 3.24:</b> 1. Dereceden Sugeno Tipi Modelin Girdi Değişkenleri ile Çıktı değişkenleri arasındaki ilişki.....	52
<b>Şekil 3.25:</b> Beş Adımda Sugeno Tipi Kontrolörün Gösterimi.....	53
<b>Şekil 4.1:</b> Bulanık Mantık modeli editör ekranı.....	57
<b>Şekil 4.2:</b> FIS Editörü .....	58
<b>Şekil 4.3a:</b> PM <sub>10</sub> üyelik fonksiyon değerleri.....	59
<b>Şekil 4.3b:</b> CO üyelik fonksiyon değerleri.....	59
<b>Şekil 4.3c:</b> SO <sub>2</sub> üyelik fonksiyon değerleri .....	60
<b>Şekil 4.3d:</b> Hava Kirliliği üyelik fonksiyon değerleri.....	60

<b>Şekil 4.4:</b> Kural editör ekranı .....	61
<b>Şekil 4.5a:</b> CO – PM <sub>10</sub> için grafik arayüzleri.....	61
<b>Şekil 4.5b:</b> CO – SO <sub>2</sub> için grafik arayüzleri.....	62
<b>Şekil 4.5c:</b> PM <sub>10</sub> – SO <sub>2</sub> için grafik arayüzleri .....	62
<b>Şekil 4.6a:</b> Centroid berraklaştırma .....	63
<b>Şekil 4.6b:</b> Bisector berraklaştırma .....	63
<b>Şekil 4.6c:</b> Mom berraklaştırma.....	64
<b>Şekil 4.6d:</b> Lom berraklaştırma .....	64



# 1.GİRİŞ VE ÖNBİLGİLER

## GİRİŞ

Teknolojideki gelişmeler doğrultusunda giderek daha hızlı bir şekilde oluşan hava kirliliği, insanlar için çok önemli bir sorun olmuştur. Bu kirlilik insan sağlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı birçok istenmeyen durumlara yol açmaktadır. Hava kirliliğinin birincil kaynağı yanma reaksiyonlarıdır. Bunların başlıca kaynakları fabrikalar, motorlu araçlar, ısınma, enerji üretimi olarak sayılabilir. Teorik olarak yanma gerçekleştiğinde, yakıt içindeki hidrojen ve karbon, havanın içindeki oksijen ile birleşerek ısı, ışık, karbondioksit ve su buharı açığa çıkar. Bununla beraber yakıttaki safsızlıklar, uygun olmayan hava/yakıt oranı veya çok yüksek ya da çok düşük yanma sıcaklıkları oluşmaktadır. Ayrıca karbonmonoksit, kükürt oksitleri, azot oksitleri, uçucu kül ve yanmayan hidrokarbonlar gibi hepsi hava kirleticileri olan maddelerin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. En önemli hava kirleticilerinden SO<sub>2</sub>, PM ve CO öncelikli olarak; benzin yanması, araç emisyonları, fosil yakıtların fabrikalarda, termik santrallerde rafinerilerde, ofis binalarında evlerde ve yakma tesislerinde yakılması sonucu ortaya çıkmaktadır.

Düşük kalitede fosil yakıtların, ısınma amaçlı kullanımı ve endüstriyel faaliyetler sonucunda, havadaki kirletici konsantrasyonları giderek artış göstermektedir. Diğer büyük şehirlerde olduğu gibi İstanbul'da da bu kirlilik önemli bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle kış aylarında bu kirlilik seviyesinde gözle görünür bir artış görülmektedir.

Hava kirliliği, atmosferde bulunan kirleticilerin insan sağlığı, bitki, yapı ve malzemelerde, zararlı etkiler meydana getirecek konsantrasyon ve sürede bulunması şeklindedir (Wark ve diğerleri, 1981).

Bu nedenle hava kirliliğini, oluşmadan tahmin edebilmek ve önceden önlemler almak, giderek daha önemli olmaktadır. Bu doğrultuda tahmin yapabilmek için istatistiksel ve deterministik modeller oluşturulmuştur. Gauss modelleri kirleticinin bir yöndeki dağılımı bilindiğinde kullanılabilir (Collet ve Oluyemi, 1997).

Ayrıca, kirletici ve diğer parametreler ile ilgili yeterli veri bulunamadığından, istatistiksel modeller giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Ziomass ve diğerleri 1995).

Kirleticiler arasındaki kompleks ve doğrusal olmayan ilişkilerin, geleneksel istatistiksel metotların, büyük veri setini algılamakta yetersiz kalması nedeniyle, ifadesi zordur (Bakshi ve diğerleri, 1999).

Bulanık Mantık, doğrusal olmayan sistemleri modelleyebilmekte ve başarılı sonuçlar, elde edilebilmektedir (Boznar ve diğerleri, 1993; Comrie, 1997).



## 1.2 KİRLETİCİLERİN ATMOSFERDEKİ HAREKETLERİ

Çeşitli kaynaklardan yayılan bütün hava kirleticileri, meteorolojik şartlara bağlı olarak taşınır, yayılır veya bir bölgede toplanır. Taşınma sırasında kirletici seyrelir ya da fotokimyasal reaksiyonlara uğrar (Myer, 1999).

Çevrim, kirleticilerin yağmur ile atmosferden yıkanması vasıtasıyla, sonuçta bitkiler, yüzey suları, toprak ve diğer malzemeler üzerine çökmesi ile ya da bazı faktörler etkisi ile ortamdan uzaklaşması ile tamamlanır. Bazı durumlarda kirleticiler rüzgar sebebiyle tekrar atmosfere girebilirler. Kirleticilerin atmosferdeki hareketleri dikey ve yatay yönde hareketler olmak üzere iki şekildedir.

### • Dikey hareketler:

Kirleticilerin atmosferde dikey taşınımalarını sağlayan ve ya engelleyen atmosferik hareketler, meteorolojik ölçeklerine bakılmaksızın, atmosfer kararlılığı, alçak ve yüksek basınç durumlar, atmosferik durgunluk olarak önemli başlıklar altında sıralanabilir.

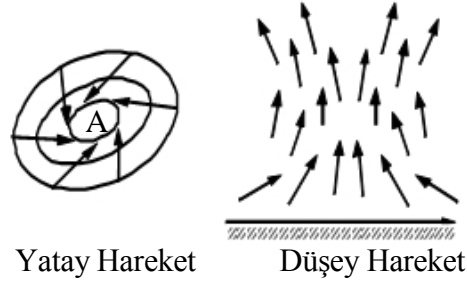
Atmosfere bırakılan kirleticilerin dağılma derecesini tahmin edebilmek için atmosferin ararlılık durumunun bilinmesi gerekmektedir. Atmosferin kararlılığı, dikey karışım ve ya hareket yapma derecesinin ölçüsüdür. Atmosfer kararlı ise, yani yeterince dikey karışım ve ya hareket göstermiyorsa, kaynaktan bırakılan kirleticiler yer yüzeyine yakın bölgede kalır ve dağılmazlar. Atmosferin kararlılığı doğrudan düşey sıcaklık profiline bağlıdır. Sıcaklığın yükseklikle değişme oranı kararlılığı belirleyen parametredir. Bu sıcaklık profiline bağlı olarak atmosferin kararlılığı genel olarak kararsız, nötr, kararlı ve enversiyon olmak üzere dört tiptir.

### • Alçak basınç (Siklon hareketi) :

Bir sıcak hava kütesinin soğuk hava kütesi altına girmesi ile oluşur. Oluşan sıcaklık farkı dolayısıyla altta kalan sıcak hava kütesi yükselme eğilimi gösterir. Sıcak hava kütesi yükselirken düşük irtifalarda yerini çevresinden gelen hava doldurur. Oluşan bu içeri doğru hareket, yakınsayan siklonik bir harekettir ve spiral şeklinde yukarı doğru

oluşur (Şekil 1.1).

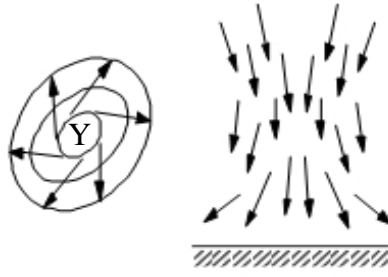
Bu spiralin yönü kuzey yarım kürede saat yönünün tersinde, güney yarım kürede ise saat yönünde oluşur. Oluşan bu yukarı doğru hareket alt atmosferdeki kirleticileri de yukarı doğru taşıyarak dağıtır. Bu bakımdan alçak basınç sistemi kirleticilerin dağıtılması açısından istenen bir durumdur.



Şekil 1.1 Kuzey yarım kürede bir siklonda yakınsayan rüzgarların düşük irtifa saat yönü tersindeki spiralleri.

• **Yüksek basınç ( Antisiklon hareketi ) :**

Yüksek basınç durumu da alçak basınç durumunun tersine bir soğuk hava kütesinin bir sıcak hava kütesi üzerine çıkması ile oluşur. Yukarıda kalan soğuk hava kütesi aşağı doğru hareket etme eğilimi gösterir. Aşağı inerken yerini çevresinden gelen hava doldurur. Bu durumda oluşan aşağı doğru hareket dışarı doğru bir spiral şeklini alır (Şekil 1.2). Bu hava hareketine antisiklon hareketi de denilmektedir. Hareket aşağı doğru olduğu için böyle bir basınç sisteminin bulunduğu bölgede atmosfere bırakılan kirleticiler yukarı doğru yükselemez. Bunun için hava kirliliği açısından istenmeyen bir durumdur.



Yatay Hareket      DüŖey Hareket

Ŗekil 1.2 Kuzey yarım kürede bir antisiklondan uzaksayan rüzgarların saat yönündeki spiralleri.

### **Atmosferik durgunluk (Blocking) :**

Avrupa ve ABD'nin doğusundaki en ciddi hava kirliliği olayları bir antisiklonun doğuya doğru hareketini geçici bir süre için durdurması ve birkaç gün süreyle durgunluk oluşturması ile olmuŖtur. Durgunluk oluŖturan antisiklonlara müsait topografik yapılı bölgeler, hava kirliliği için ciddi potansiyel taşımaktadır.

### **• Yatay yöndeki hareketler ( Rüzgarlar ) :**

Kirleticilerin atmosferde yatay yayılmaları, emisyon kaynağı yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızına büyük ölçüde bağlı bir fonksiyondur. Bölgenin topografik yapısı, ağaçların yoğunluğu ve yerleŖimi, göllerin, nehirlerin, tepelerin ve yapıların yerleŖimi ve boyutları dikey yönde farklı rüzgâr hızı profillerini oluŖturmaktadır.

## **1.3 KIRLETİCİ KAYNAKLARI**

Hava kirliliği doğal veya insan kökenli kaynaklardan gaz, toz veya sıvı halde atmosfere atılan maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak diğer maddelerle reaksiyona girmesiyle oluŖmaktadır.

Doğal yollar; volkanlar, tozlar, orman yangınlar, su yüzeyinden olan atımlardır. İnsan kaynaklı hava kirliliği oluşum sebepleri genel olarak üç grupta toplanmaktadır.

• **Alansal Kaynaklar:**

Bu grupta en önemli kaynak konutların ısıtılmasıdır. İstanbul'da son yıllarda doğalgaz kullanımını hızla artmakta ve kükürt değeri az, kalori değeri yüksek olan tamamen ithal veya ithal yerli kömür karışımı yakıt kullanılmaktadır. Isıtmada kullanılan diğer yakıt cinsleri de fuel-oil, motorin, kerosin, gaz ve odundur. Konut ısıtılmasında ve enerji temininde kullanılan fosil yakıtlar içerisinde en büyük pay kömür ve petrole aittir. Kullanılan yakıtın kalitesi bu tür kaynaklardan gelen hava kirliliği üzerine çok fazla etki yapmaktadır.

• **Çizgisel Kaynaklar:**

Bu tür hava kirliliği ulaştırma kaynaklıdır. Yolcu ve yük taşıyan araçların getirdiği kirlilik başlıcalarıdır. Bunlar benzinli, mazotlu ve gaz tribünlü içten yanmalı motorla çalışmaktadırlar. Bu kaynaklardan yanma sonucu karbon monoksit (CO), Azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), hidrokarbonlar(HC) ve partiküller madde(PM) kirlenici olarak atmosfere yayılmaktadır (Şen,1996). Karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksitler bakımından en yüksek emisyonlar araçlar tarafından oluşturulmaktadır.

• **Noktasal Kaynaklar:**

Bu gruptaki kaynaklar fabrikalar, sanayi ve enerji santralleridir. Bu işletmelerde üretim yapmak için gerekli olan enerjiyi sağlamak için kullanılan yakıttan atmosfere kirlenici çıkmaktadır. Ayrıca noktasal olarak katı atıkların fırınlarda ve açık arazide yanması sonucu kirlenme oluşmaktadır. Yine benzin, boya maddeleri gibi organik maddelerin buharlaşmasından noktasal olarak kirlilik meydana gelmektedir.

İstanbul'da hava kirliliğinin en önemli kaynaklarını, ev ve apartmanlarda kış aylarında ısınma amacıyla kullanılan yakıtların yakılmasından ileri gelen ve alan kaynak olarak sınıflandırılan kaynaklar teşkil etmektedir. Bunların yanında, hareketli kaynaklar olarak sınıflandırılan motorlu taşıtlar ve nokta kaynaklar kategorisine giren endüstriyel kaynaklar da bölgesel olarak hava kirlenmesine yol açmaktadır. Isıtma ve endüstriyel

kaynaklardaki emisyonları sabit kaynaklarda yakıt yanması olarak belirlemek mümkündür.

Bu yakıtların yakılması neticesinde atmosfere verilen belli başlı kirleticiler arasında, partiküler madde (PM), kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksit (CO), hidrokarbonlar (HC) bulunmaktadır. Bunlardan son üçünün önemli bir kaynağını motorlu taşıtlar oluşturmaktadır. İstanbul'da sabit kaynaklar ve taşıtlardan meydana gelen kirletici miktarları, emisyon faktörleri kullanılarak hesaplandığında bu emisyonların relatif dağılımları bulunabilir. 2009 yılı için bu faktörler kullanılarak tahmin edilen kirletici emisyonlarının dağılımı Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1 İstanbul'da 2009 yılındaki kirletici emisyonlarının dağılımı.

	Emissions (t/y)				
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOC	CO
Industry	7,630	58,468	9,394	117	1,714
Residential heating	13,631	10,983	7,014	18,351	123,510
Traffic	5,200	1,016	138,000	38,500	270,000
<b>TOTAL</b>	<b>26,461</b>	<b>70,467</b>	<b>154,408</b>	<b>56,968</b>	<b>395,224</b>

Tablo 1.1'den görüldüğü gibi, İstanbul'da hava kirlenmesine büyük ölçüde taşıtlar için kullanılan yakıtlar sebep olmaktadır. Tablo 1.2'de bazı kirleticilerin Amerika'da toplam emisyon içindeki paylar ve kaynakları verilmektedir.

Tablo 1.2 Amerika’da 2009 yılı için kirletici emisyonları EPA (2007).

Kirletici	Taşıma (10 <sup>6</sup> ton/yıl)	Yakıt emisyonu (10 <sup>6</sup> ton/yıl)	Endüstriyel faaliyetler (10 <sup>6</sup> ton/yıl)	Toplam (10 <sup>6</sup> ton/yıl)
Partiküller	1,4	1,8	3,8	7,0
SO <sub>2</sub>	0,9	16,4	3,1	20,4
CO	40,7	7,2	13,5	61,4
NO <sub>x</sub>	8,4	10,3	0,8	19,5
Organik oksitler	6,0	2,3	11,3	19,6
Kurşun	3,0	0,5	4,6	8,1
Toplam Emisyon	60,4	38,5	37,1	136,0

#### 1.4 HAVA KALİTESİ İNDEKSİ (AQI)

Özellikle kış aylarında yüzlerce insan, sağlıksız yakıt ve yakma sistemi kullanımından dolayı, hava kirliliğinden hastalanmakta veya ölmektedir. Hava kirliliği ciddi boyutlarda ekonomik zarara neden olmakta ve insanların aşırı derecede ilaç tüketimine sebebiyet vermektedir. İş yerlerinde iş veriminin ve okullarda eğitim veriminin düşmesine neden olmaktadır. Özellikle yaşlıların ve çocukların sağlıklarını hızlı şekilde tahrip etmekte, hastalanmalarına ve ölümlerine neden olmaktadır. İllerimizde hava kirliliği sorunu çözülsün faydası en az dört kat olacaktır. Sorumlu birimler hava kalitesini ölçmelidirler. Herkes soluduğu havanın kalitesini bilmelidir.

Hava; yaşamımızın en önemli kaynağıdır. Yerel hava kalitesi, yaşadığımız ve soluduğumuz havayı ve hayatımızın kalitesini direk etkiler. Hava durumu gibi hava kalitesi de gün gün veya saat saat değişmektedir. Hava kalitesini ölçen otoriteler, insanlara soluduğu hava kalitesi hakkında sürekli bilgi vermelidir. Hava kalitesi ile ilgili bilgiler kolay ve anlaşılabilir olmalıdır. Hava kalitesi ve hava kirliliği hakkında

basit bilgilerle halkın bilgilendirilmesi ve sağlıklarını nasıl koruyacaklarını öğrenmeleri için hesaplanan hava kalitesi indeksi verilmelidir. Hava kalitesi indeksinin temeli; bilgilerin halka kolay ve anlaşır olarak ulaştırılmasıdır.

Hava kalitesinin sürekli ölçüldüğü bölgelerde, hava kalitesi indeksi hesaplaması yapılmalı ve elde edilen veriler halka duyurulmalıdır. Problemlı kirleticiler günlük olarak incelenmelidir. Meteorolojik parametreler kullanılarak diğer günler için hava kalitesi ile ilgili yapılmalıdır.

Hava kalitesi indeksi, hava kalitesinin ölçüldüğü yerlerde; havanın kalite olarak iyi, orta, sağlıksız, kötü veya zararlı olduğu hakkında bilgi verir. Hava kalitesi indeksi, farklı hava kalitesi ile birlikte genel halk sağlığı üzerine etkisini, hava kirliliği seviyesini, sağlıksız seviyeye yükseldiğinde alınması gereken kademeleri de belirler. Hava kalitesi indeksi; sağlığımızı hava kirliliğinden nasıl koruyacağımız konusunda bizlere yardımcı olur.

Hava kalitesi indeksi, günlük hava kalitesini raporlamak için basit bir yoldur. Soluduğumuz havanın temiz veya kirli olduğunu bize söyler. 5 temel kirleticı için hava kalitesi indeksi hesaplanmaktadır. Bunlar; partikül maddeler, karbon monoksit, CO, kükürt dioksit, SO<sub>2</sub> ve azot dioksit, NO<sub>2</sub>, yer sayesinde ozon, O<sub>3</sub>, dır. Bu kirleticilerin her biri için hava kalitesi indeks değerleri geliştirilmiştir.

## 1.5 KONSANTRASYONLARIN HESAPLANMASINDA BİRİM DÖNÜŞÜMÜ

Hava kirletici konsantrasyonu, ppm, ppb, mg/m<sup>3</sup>, µg/m<sup>3</sup> olarak ifade edilmektedir. ppm, milyonda bir birim demektir. ppm'in µg/m<sup>3</sup>'e dönüşümü,

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{MA} \times 10^3}{62.36 \times (T/P)} \quad (1.1)$$

denklemleri ile tespit edilebilir. Burada;

MA: Kirleticinin molekül ağırlığı (g/mol);

(Ozon, 48, karbon monoksit, 28, kükürtdioksit, 64 ve azot dioksit, 46 g/mol alınır)

T: Ölçülen Sıcaklık (°K); (genel olarak 293°K alınır)

P: Ölçülen Basınç (mm Hg); (genel olarak 760 mm Hg alınır).

## 1.6 HAVA KALİTESİ İNDEKSİNİN HESAPLANMASI

Hava kalitesi ölçümleri her gün yapılmalıdır. Ölçülen hava kirleticisi değerleri EPA tarafından geliştirilen standart formül kullanılarak hava kalitesi indeksi değerlerine dönüştürülür. Her bir kirletici için ayrı ayrı hava kalitesi indeksi hesaplanır.

Kirleticilerden en yüksek hava kalitesi indeksine sahip değer o günün kirleticisidir.

Kirletici konsantrasyonu verileri, Tablo 1'deki kesme noktaları ve aşağıdaki denklemi kullanılarak hava kalitesi indeksini, AQI 'u, hesaplayabiliriz.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1.2)$$



- Ip : Kirletici için index  
Cp : Kirleticinin Yuvarlak kons.  
BHHi : Cp'e eşit veya daha büyük kesme noktası.  
BPLo : Cp'e eşit veya daha küçük kesme noktası  
IHi : BPHi le uyumlu AQI değeri  
ILo : BPLo'le uyumlu AQI değeri

Tablo 1.3 Hava Kirletici Parametrelerinin EPA Standart Değerleri.

This Breakpoint...					...equal this AQI		...and this category	
O <sub>3</sub> (ppm) 8-hour	O <sub>3</sub> (ppm) 1-hour <sup>1</sup>	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	AQI	
0.000 - 0.064	-	0 - 54	0.0 - 15.4	0.0 - 4.4	0.000 - 0.034	( <sup>2</sup> )	0 - 50	Good
0.065 - 0.084	-	55 - 154	15.5 - 40.4	4.5 - 9.4	0.035 - 0.144	( <sup>2</sup> )	51 - 100	Moderate
0.085 - 0.104	0.125 - 0.164	155 - 254	40.5 - 65.4	9.5 - 12.4	0.145 - 0.224	( <sup>2</sup> )	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups
0.105 - 0.124	0.165 - 0.204	255 - 354	65.5 - 150.4	12.5 - 15.4	0.225 - 0.304	( <sup>2</sup> )	151 - 200	Unhealthy
0.125 - 0.374 (0.155 - 0.404) <sup>4</sup>	0.205 - 0.404	355 - 424	150.5 - 250.4	15.5 - 30.4	0.305 - 0.604	0.65 - 1.24	201 - 300	Very unhealthy
( <sup>3</sup> )	0.405 - 0.504	425 - 504	250.5 - 350.4	30.5 - 40.4	0.605 - 0.804	1.25 - 1.64	301 - 400	Hazardous
( <sup>3</sup> )	0.505 - 0.604	505 - 604	350.5 - 500.4	40.5 - 50.4	0.805 - 1.004	1.65 - 2.04	401 - 500	Hazardous

## 1.7 KİRLLETİCİLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Pek çok kentimizde özellikle kış aylarında yoğun olarak karşılaştığımız hava kirliliği insan sağlığı açısından önemli problemler yaratmakta ve hatta bazı durumlarda ölümlere neden olabilmektedir. Örnek olarak geçmiş yıllarda dünya üzerinde toplu ölümlere neden olmuş bazı hava kirliliği olayları Tablo 1.4'te görülmektedir.

Tablo 1.4 Bazı hava kirliliği olayları ve sonuçları EPA (1989)

Yeri	Tarihi	Ölü Sayısı
Aralık 1930	Meuse Valley, Belçika	63
Ekim 1948	Donora, Pensilvanya	17
26 Kasım – 1 Aralık 1948	Londra, İngiltere	700 – 800
5 – 9 Aralık 1952	Londra, İngiltere	4000
3 – 6 Ocak 1956	Londra, İngiltere	1000
2 – 5 Aralık 1967	Londra, İngiltere	700 - 800
26 – 31 Ocak 1959	Londra, İngiltere	200 - 250
5 – 10 Aralık 1967	Londra, İngiltere	700
7 – 22 Ocak 1963	Londra, İngiltere	200
9 – 12 Şubat 1963	New York, Amerika	200 - 400

SO<sub>2</sub> yüksek konsantrasyonlarda öldürücü etkileri olan bir gazdır. 1952'de Londra'da binlerce insan hava kirliliği nedeniyle yaşamlarını yitirmişlerdir. SO<sub>2</sub>'nin insan sağlığına diğer etkileri bağışık sistemi zayıflığı ve ciğerlerde patolojik değişiklikler olarak sıralanabilir.

NO<sub>x</sub> da SO<sub>2</sub> gibi yüksek konsantrasyonlarda ölüme yol açabilir. Yüksek konsantrasyon seviyelerinde gözlerde tahriş, bronşit ve pneumonya NO<sub>x</sub> kirleticisinin diğer etkilerindedir.

CO akciğerlerde kendisini hemoglobine bağlamaktadır. Bu kandaki oksijen miktarının azalmasına neden olmaktadır. PM solunum sistemine girerek buralarda depolanabilir.

Bazı partiküller yüksek toksisite değerleri yüzünden tehlikeli olabilmektedirler. Yüksek toz konsantrasyonlarının solunması bronşite neden olabilir (Eagleman, 1991).

Havadaki partikül, katı ve sıvı damlaların karışımından oluşmaktadır. Bazı partiküller direkt olarak bacadan atılır. Bazıları ise atmosferde oluşur. Sağlık açısından boyutu 10 µm küçük olan partiküller önemlidir. Küçük partiküller akciğere kadar ulaşabilirler. Bunlar sağlık açısından büyük problem oluştururlar.

Çapları 2,5 µm'den küçük partiküllere ince partiküller denir. Bu partiküller o kadar küçüktür ki ancak elektronik mikroskop ile tespit edilebilirler. İnce partikül kaynakları, tüm yanma tesislerinde oluşur. Motorlu taşıtlar, termik santraller, yerleşim ısınma tesisleri, orman yangınları, çimento ve inşaat sanayi önemli partikül madde kaynağıdır. Daha önceki ölçüm değerleri ile meteorolojik parametreler kullanılarak gün içinde hava kalitesi tahmininde bulunmak mümkündür.

Tablo 1.5 Hava kalitesi indeksi – Sağlıkla ilgili seviye.

<b>Hava Kalitesi İndeksi Değeri</b>	<b>Sağlıkla İlgili Seviye</b>	<b>Renkler</b>
0 ila 50	İyi	Yeşil
51 ila 100	Orta	Sarı
101 ila 150	Hassas gruplar için sağlığa zararlı	Portakal Rengi
151 ila 200	Sağlığa zararlı	Kırmızı
201 ila 300	Sağlığa çok zararlı	Mor
301 ila 500	Tehlikeli	Kestane rengi

Hava kalitesi indeksi yükseldikçe hava kirliliği de artmaktadır. Hava kalitesi indeksi, 100'ün üzerinde olduğu zaman hava kalitesinin sağlık açısından kötü olduğunu söyleyebiliriz. Hava kalitesi indeksi 300'ün üzerinde olduğunda, hava kalitesi sağlık açısından zararlı demektir.

• **İyi:** Hava kalitesi indeksi, 0-50 arasında olduğunda, hava kalitesinin sağlık açısından iyi olduğunu ve hava kirliliğinin küçük etkiye sahip olduğunu söyleyebiliriz.

• **Orta:** Hava kalitesi indeksi, 51 ile 100 arasında olduğunda ise hava kalitesi kabul edilebilir sınırlar içinde demektir. Bazı kirleticiler bazı insanlar için olumsuz etkiye sahiptir. Ozona karşı oldukça hassas olan kişilerde solunum semptomları görülür.

• **Hassas Gruplar için Sağlıksız:** Hava kalitesi indeksi 101-150 arasında olduğunda hassas grup üyelerinin sağlıkları üzerinde olumsuz etkileri görülür. Akciğer hastası kişiler büyük risk altındadırlar. Partikül kirliliğine maruz kalan akciğer hastası kişiler daha büyük risk altındadırlar. Hava kalitesi indeksi bu aralıkta iken genel olarak sağlıklı kişiler çok fazla etkilenmez.

• **Sağlıksız:** Hava kalitesi indeksi 151-200 arasında olduğunda herhangi bir kişide sağlık etkileri görülmeye başlar. Hassas kişilerde daha ciddi sağlık etkisi görülmeye başlar.

• **Çok Sağlıksız:** 201-300 arasındaki hava kalitesi indeksi, AQI, sağlık açısından alarm işaretini gösterir. Herhangi bir kişide ciddi sağlık etkileri görülebilir.

• **Zararlı:** Hava kalitesi indeksi, 300'ü aştığı zaman acil sağlık ikazları başlar. Tüm halk olumsuz olarak etkilenir.

İllerde yerel yönetimler veya mahalli idareler, günlük olarak ölçülen değerleri hava kalitesi indeksine dönüştürerek sağlık üzerinde oluşturacağı etkileri ile birlikte kamuoyuna duyururlar. Bazı şehirlerde meteorolojik parametreler kullanılarak diğer günler için hava kalitesi indeksi tahmininde bulunmak mümkündür.

Hesaplanan hava kalitesi günlük olarak gazete, radyo ve TV'lerde yayınlanarak halka duyurulmalıdır. Hava kalitesi indeksi yerel hava kalitesinin sağlık üzerinde ne anlama geldiği konusunda bizlere yardımcı olur. Aşağıda hava kalitesi indeksinin yüksek çıkmasına neden olan sorumlu kirletici ve bunun sağlık üzerine etkileri verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METODLAR

### 2.1 ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİ TABANI

#### 2.1.1 Çalışma Bölgesi

İstanbul, yaklaşık 5712 km<sup>2</sup> yüzölçümüne ve 2007 yılı nüfus sayımına göre 11 milyon 8 bin 790 (Devlet İstatistik Enstitüsü, 2007) nüfusa sahip bir büyük şehirdir. İstanbul genelde birçok vadi ile birbirinden ayrılmış tepelerden oluşmaktadır. Bugün yerleşim son derece büyük bir alana yayılmıştır. Çalışma bölgesi Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1 İstanbul ili şehir haritası

### 2.1.1.1 Çalışma Bölgesinin Topografik Durumu

İstanbul'un topografyası 4 ana bölümden oluşmaktadır:

- Batı Bölgesi: Kumburgaz'dan Bakırköy'e kadar uzanan 35 km uzunluğundaki Batı Bölgesinde, Büyükçekmece, Küçükçekmece ve Marmara Denizi'ne ulaşan başlıca üç vadi bulunmaktadır. Bu üç vadi sularını Büyükçekmece'ye, Küçükçekmece'ye ve doğrudan Marmara Denizi'ne vermektedir. Vadiler Marmara Denizi'nden kuzeye doğru uzanan alçak tepelerle sınırlanmıştır. Topografik bakımdan Kuzey Marmara sahilleri karakteristiğindedir. Bu bölgede arazi kotları 0-200 m arasında değişmektedir.

Merkezi Bölge: Bakırköy'den Boğaz'daki Ortaköy'e kadar uzanan ve Haliç'i de içine alan Merkezi Bölge, kuzey-batı yönünde uzanan vadilerden oluşmakta, arazi yüksekliği deniz seviyesinden 120 m'ye kadar değişmektedir. Arazi meyili, Boğaz sahillerinde Marmara sahillerine nazaran daha diktir. Bu bölgede üç havza tariflemek mümkündür. Bunlar sularını Marmara Denizi'ne, Haliç'e ve Boğaz'a veren alanlardır. Sularını Marmara'ya veren bölgede Çırpıcı Deresi, Haliç'e veren bölgede ise Alibeyköy ve Kağıthane Dereleri yer almaktadır. Bu bölgede, hava kirliliği açısından en kritik kesim, Eminönü'nden Şişli'ye kadar uzanan ve Eyüp, Alibeyköy, Gaziosmanpaşa, Bayrampaşa, Kağıthane, ve Kasımpaşa'yı da içine alan Haliç koridorudur.

Boğaziçi Bölgesi: Asya ve Avrupa kıtalarını ayıran ve toplam uzunluğu 27 km olan İstanbul Boğazı'nı içine alan Boğaziçi Bölgesi, boğaza dik olarak gelen vadilerden oluşmaktadır. Boğaz'ın Avrupa kıyısı, Ortaköy'e kadar düzgün olarak giden yükseklikleri yaklaşık 130 m'yi bulan tepelerle 5 km genişliğindeki şerit halinde Haliç drenaj sahasından ayrılır. Ortaköy'den Rumeli Kavağı'na kadar olan kısımda bulunan tepelerin rakımları 150 m'ye kadar çıkar. Boğaz'ın Anadolu tarafında ise, Avrupa yakasına göre daha engebeli ve daha yüksek tepelerden oluşan bir topografya mevcuttur. Bu kesimde, 200 m'ye kadar çıkan Kısıklı ve 250 m'ye kadar çıkan Büyük ve Küçük Çamlıca tepesi, en yüksek rakımları teşkil etmektedir. Anadolu Kavağı'na kadar devam eden bölgede 16 adet küçük vadi vardır.

Pendik-Kadıköy Bölgesi: İstanbul'un topografik olarak dördüncü önemli bölümünü Kadıköy ile Pendik arasında uzanan, kuzeyde Kayışdağı ve Yakacık tepeleri ile

sınırlanan ve deniz seviyesinden yaklaşık 50 m yüksekliğe kadar değişen araziler teşkil etmektedir. Bölge genel olarak fazla yüksek olmayan tepe ve platolardan oluşmuştur. Topografik yönden bölgeyi iki bölüme ayırabiliriz. Bunlar sularını Marmara Denizi'ne ve Boğaz'a veren sahalardır. Bölge içinde zaman zaman kuruyan derelerin de bulunduğu dört vadi mevcuttur. Bunlardan Kurbağalıdere, Bostancı Deresi ve İbrahimağa Deresi Marmara Denizi'ne, Beylerbeyi Deresi ise Boğaza dökülmektedir. İstanbul ili topografik haritası Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 İstanbul ili topografik haritası

### 2.1.2 Veri Tabanı

İstanbul'un hava kirliliğinin bulanık mantık ile modellenmesinde, model hedef girdisi olarak, SO<sub>2</sub>, CO ve PM<sub>10</sub>'in hedef sınır değerleri için, Tablo 1.3'te gösterilen, EPA standartları kullanılmıştır. Modelde kullanılan girdi parametreleri için sınır değerler kullanılmış ve üç farklı sözel anlatımla, bu sınır değerler ifade edilmiştir. Modelin çıktı parametreleri için ise hava kalitesi indeksi kullanılmış olup, bu parametrelerin sınır değerleri, altı farklı sözel anlatımla ifade edilmiştir.

### 2.1.3 Hava kirliliği verileri

Bu çalışmada kullanılan kirlilik verileri sınır değerleri, Tablo 1.3'te gösterilen, EPA standartlarından temin edilmiştir. SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, ve CO konsantrasyonları için, ölçüm

istasyonların yerleri Şekil 2.3’de gösterilmektedir.

Bu istasyonlardan ölçülen kirleticilerin, EPA standartlarına uygunluğu için hedef parametreleri oluşturulmuş, ve Tablo 1.3’te gösterilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin arasındaki ikili korelasyon ilişkilerini, yorumlamak amacıyla Tablo 2.1’de gösterilen, değişik parametrelerin 2002-2009 yılları arası hava kirliliği verileri kullanılmıştır.



Şekil 2.3 Hava kirliliği ölçüm noktaları (1.Sarıyer, 2.Beşiktaş, 3.Esenler, 4.Yeni Bosna, 5.Alibeyköy, 6.Saraçhane, 7.Üsküdar, 8.Kadıköy, 9.Ümraniye, 10.Kartal



Tablo 2.1 2002-2009 yılları arası hava kirliliği parametrelerinin değerleri.

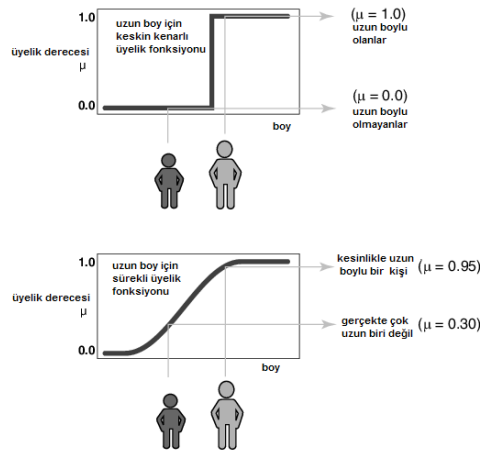
**İSTANBUL GENELİ HAVA KİRLİLİĞİ PARAMETRELERİ DEĞERLERİ**

2002	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	2003	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
Ocak	53	88	2128	53	Ocak	37	56	1349	83
Şubat	43	100	2109	63	Şubat	18	45	1017	66
Mart	30	70	1227	57	Mart	21	62	1248	79
Nisan	24	63	931	52	Nisan	21	79	1000	64
Mayıs	15	50	806	56	Mayıs	14	57	568	57
Haziran	14	53	830	59	Haziran	12	58	601	55
Temmuz	11	50	1029	44	Temmuz	13	53	598	36
Ağustos	8	50	939	50	Ağustos	7	48	673	25
Eylül	15	60	1140	42	Eylül	11	48	744	38
Ekim	25	67	1214	49	Ekim	12	51	837	39
Kasım	48	91	1922	43	Kasım	17	81	1602	47
Aralık	48	67	1576	54	Aralık	26	53	1181	50
2004	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	2005	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
Ocak	28	52	1119	50	Ocak	20	57	1115	47
Şubat	28	69	1274	56	Şubat	22	48	894	45
Mart	25	59	939	61	Mart	26	52	1009	49
Nisan	20	50	791	55	Nisan	15	49	730	48
Mayıs	11	40	533	49	Mayıs	12	48	547	46
Haziran	10	38	567	43	Haziran	7	36	460	51
Temmuz	6	28	398	29	Temmuz	4	39	473	50
Ağustos	9	40	601	44	Ağustos	4	42	524	39
Eylül	8	37	530	43	Eylül	8	46	611	33
Ekim	13	43	735	51	Ekim	14	53	851	31
Kasım	18	48	836	38	Kasım	18	53	1053	30
Aralık	22	56	1289	46	Aralık	19	51	1015	42
2006	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	2007	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
Ocak	17	51	1018	76	Ocak	24	57	1007	62
Şubat	22	61	1232	77	Şubat	20	53	787	43
Mart	15	63	1013	52	Mart	17	51	787	36
Nisan	15	60	691	52	Nisan	18	56	830	63
Mayıs	14	48	511	45	Mayıs	14	53	734	44
Haziran	8	54	565	51	Haziran	12	58	625	35
Temmuz	9	51	453	55	Temmuz	8	54	471	28
Ağustos	10	55	533	63	Ağustos	6	60	527	23
Eylül	10	51	515	64	Eylül	7	48	1260	40
Ekim	10	46	563	56	Ekim	6	52	639	36
Kasım	21	65	1011	69	Kasım	13	59	1816	58
Aralık	27	88	1408	75	Aralık	13	66	1175	60
2008	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	2009	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
Ocak	13	75	1011	76	Ocak	17	75	928	69
Şubat	10	69	899	74	Şubat	12	59	752	61
Mart	7	63	626	67	Mart	17	67	832	69
Nisan	10	74	593	64	Nisan	11	55	570	55
Mayıs	7	62	469	69	Mayıs	11	52	496	79
Haziran	6	54	394	56	Haziran	7	46	417	73
Temmuz	4	48	441	48	Temmuz	6	39	480	65
Ağustos	3	51	487	51	Ağustos	4	30	435	49
Eylül	5	42	434	61	Eylül	5	36	486	58
Ekim	6	49	510	80	Ekim	6	47	563	68
Kasım	6	55	699	73	Kasım	9	87	1105	92
Aralık	11	61	880	0	Aralık	0	0	0	0

### 3. BULANIK MANTIK

Klasik mantıkta önermelerin sonucu “doğru” veya “yanlış” (1, 0)tır. Fakat bütün olaylarda bu şekilde kesinlik yoktur. Örneğin “uzunluk” göreceli bir kavramdır. Uzunluk kişiden kişiye değişir. Bir kişi tarafından uzun olan bir kişi, diğer bir kişi tarafından uzun olarak kabul edilmeyebilir. Bu önerme klasik mantıkla açıklanamaz.

Matematiksel olarak ‘bulanıklık’, ‘çok-değerlilik’ demektir. Bulanık mantığın temel fikri, bir önermenin ‘yaklaşık olarak doğru’, ‘doğru’, ‘çok doğru’ yada ‘yaklaşık olarak yanlış’, ‘yanlış’, ‘çok yanlış’ v.b. gibi, olabirliğidir. Klasik mantık ifadelerinde sayısal nitelemeler olabildiğince kesin sınırlarla ayrılır ve tanımlamalarda belirsizlikten kaçınılır. Şekil.1’de, klasik mantık ve BM yaklaşımlarına göre kişilerin boy uzunluğuna göre farklı kümeler üyeliklerine karar vermeye ilişkin nitelemelerin nasıl yapıldığını göstermektedir

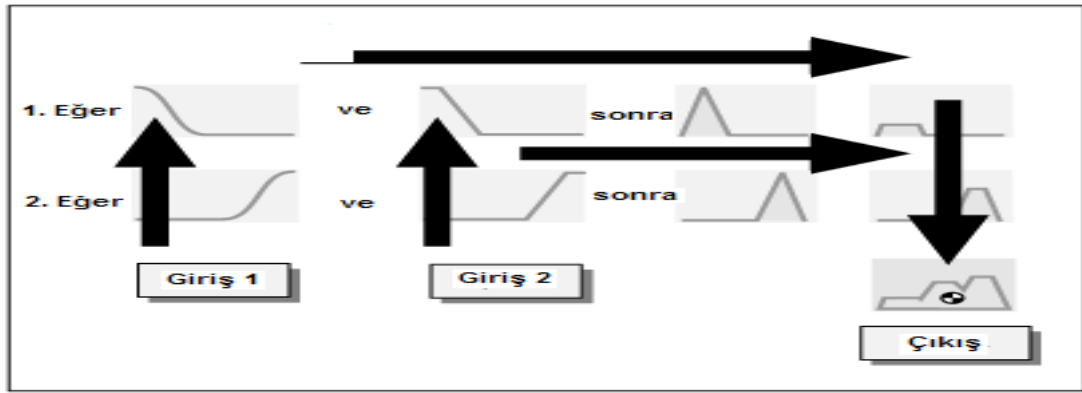


Şekil 3.1 Klasik mantık ve BM yaklaşımları ile boy kümelerinin oluşturulması.

YZ çözümlerine daha başka yollardan ulaşmak da mümkün olmakla beraber, BM bu yolların en hızlı ve en ucuz olanıdır. BM ile karmaşık problemler sözel ifadeler ile kolay çözülebilir hale getirilmektedir. Doğal olarak, bütün problemlerin en hızlı ve en ucuz

çözümü her zaman BM ile mümkün olmayabilir. Bu durumda, bilinen diğer YZ araçlarının denenmesi gerekebilir.

BM kullanılarak, bir sistemin verilen girişlerinden çıkışlarına ulaşmayı sağlayan işlemler dizisi bulanık çıkarım sistemi (Fuzzy Inference System, FIS) olarak adlandırılır. Şekil..2’de görüldüğü gibi; bir FIS yapısında, girişlerin değişimine göre çıkışın nasıl oluşacağına ilişkin değerlendirme, üyelik fonksiyonları, bulanık operatörler ve kurallar kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.2 Bulanık çıkarım sistemi, FIS.

FIS yapılarında temel olarak iki çıkarım yöntemi kullanılır: Mamdani ve Sugeno. Her iki yöntem de, giriş değişkenlerine bir üyelik derecesinin atanması (bulanıklaştırma) ve bulanık operatörlerin uygulanması açısından benzer yaklaşımları kullanır. Aralarındaki temel fark, Mamdani yönteminde çıktıdaki bulanık kümeler için seçilebilecek üçgen, çan, sigmoid, lineer gibi üyelik fonksiyonu tiplerinin, Sugeno yönteminde yalnız lineer veya sabit fonksiyonlarla sınırlı olmasıdır.

Bulanık mantıkta önerme birden fazla değer alabilmektedir. Fakat bu değerler 0 ile 1 aralığında tanımlanmalıdır. Bu değer o elamanın üyelik değeridir denir.

ve  $\mu_A(x) \in [0,1]$  ile gösterilir ( Taş, Ü., 2009).

### 3.1 BELİRSİZLİK KAVRAMLARI

Her insan günlük hayatında kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak, sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Bulanık mantığa kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerinde, bu varsayım, kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalarda bulunulmuştur. Büyük ölçeklerden küçük ölçeklere doğru gidildikçe, incelenen olayların kesinlikten uzaklaşarak belirsizlikler içeren yönleri doğru gitmeleri söz konusudur. Örnek olarak, çok uzakta bulunan bir cisme bakıldığında, bunun nokta şeklinde algılanması onun boyutsuz ve şekilsiz olduğu sonucuna varmamıza neden olur. Bu cisim bize yaklaştıkça, bir boyutludan önce tepsi gibi, iki daha sonra da sanki üç boyutlu hale dönüşür. Böylece boyutlar arasında kesin bir geçişten çok, tedricen bir değişimin olduğu düşüncesine varılabilir. Bu konuda, Mandelbrot (1982) tarafından ilkeleri açıklanan kesitli fraktal geometrisinde boyutlar ondalık sayıdır. Doğanın geometrisi denilen fraktal geometrisi, belirsiz ve gelişigüzel şekillerin incelenmesine yaramaktadır (Şen, 1999).

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünce ve kararlar verilemeyişten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda, insan düşüncelerinin tam anlamı ile olgunlaşmamış olusundan dolayı, belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işleyemezler ve çalışmaları için sayısal bilgilere ihtiyaç duyarlar. Gerçek bir olayın tam olarak kavranılması, insan bilgisinin yetersizliği sonucunda tam anlamı ile mümkün olmadığından, insan düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlar. Bilgisayarlardan farklı olarak, insanın yaklaşık düşünme, eksik ve belirsizlik içeren bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Bu yetenek bilgisayarlarda bulunmaz. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık kaynaklar adı verilir.

1973 yılında Zadeh tarafından, gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmiştir. Bunun nedeni, çok fazla olan bilgi kaynaklarının tümünü, insan aynı zamanda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz. Burada bilgi kaynaklarının, temel

ve kesin bilgilere ilave olarak, özellikle sözel olan bilgileri de içerdği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre, bu ifadelerin kesin olması söz konusu olamaz.

Bir sistem hakkında ne kadar fazla öğrenerek bilgi sahibi olursak, onu o kadar iyi anlayabiliriz ve sistem hakkındaki karmaşıklıkları da o derece azaltabiliriz, ancak tamamen yok edemeyiz. İncelenen sistemlerde, karmaşıklığı ne kadar fazla veri bulunursa, bulanıklık o kadar etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında, bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir.

Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Azerbaycan asıllı Lütfü Asker Zade (Zadeh, 1965) tarafından literatüre sokulmuştur. Bu fikirler, batı dünyasında şüphe ile karşılanmış ve oldukça yoğun eleştiri almıştır. Bunun ana sebebi, batı kültürünün temelinde ikili mantık, yani Aristo mantığının yatması ve olaylara evet-hayır, beyaz-siyah, kurak-sulak, artı-eksi vb. gibi ikili esasta yaklaşılmasıdır. Bu iki değer arasında başka seçeneklere, kesin olmadığı düşüncesi ile hiç yer verilmez. Batı toplumunda bulanık kelimesi güvenirsizliği ifade eder. Ancak, 1970'li yıllardan sonra doğu dünyasında ve özellikle de Japonya' da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilmiştir. Bu sistemlerin, teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması sonrasında, tüm dünyada yaygın bir biçimde tanınmışlardır (Şen, 1999).

Bulanık kavram ve sistemlerin, dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanması, 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile olmuştur. Bu araştırmacılar, ilk olarak bir buhar makinesi kontrolünün, bulanık sistem ile modellenmesini başarmıştır. Bu ön çalışmadan, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar basit ama sonuçlarının ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır.

İlerleyen yıllarda, Holmblad ve Östergaard(1978), bulanık sistem uygulamasını bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolü için yapınca, artık bulanık kavramlar dünyanın birçok yerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu geçiş, batıda çok yavaş olurken, doğuda ve özellikle de Japonya, Singapur, Kore ve Malezya'da fazlaca kendisini göstermiştir. Teknolojiye duyarlı olan Japon mühendisleri, bulanık kontrol birimlerini kurmanın ne kadar kolay olduğunu görerek, bunları birçok cihazın yapımında kullanmaya başlamışlardır. Bulanık sistemlerin elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda yaygın bir biçimde kullanılmasında, 1980 sonrasında patlama olmuştur. Son yıllarda birçok mühendislik dallarında, veri tabanlarının sözelleştirilmesinde, tele sekreterlerin cevaplamasında ve birçok konularda dünyada kullanılır hale gelmektedir. Değişik bilim ve mühendislik konularını yayınlayan uluslararası dergilere bakıldığında, hemen her mühendislik konusunda ve teknolojik çalışmalarda artık bulanık sistem kontrollerinin ve hesaplamalarının yaygınlaştığı görülmektedir (Şen, 1999).

### **3.2 BELİRSİZLİK VE KESİN OLMAYIŞ**

Bulanıklık, (mantık, sistem, küme) belirsizliğin bir ifadesi olarak karşımıza çıkar. Geçmişte, belirsizliklerin islenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Matematik ve mühendislikte bu teori, belirsizlik durumlarında istatistik yöntemlerle birlikte kullanılır. Bu nedenle, bütün belirsizliklerin gelişigüzel karakterde olduğu kavramı yerleşmiştir. Rasgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması, gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukla önceden yapılamamasıdır. Günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğunun tesadüf olmadığı kolayca anlaşılabilir. Rasgele karakterde olmayan olayların, örneğin, sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde, ihtimal teorisi ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren yöntem bilimler kullanılamaz (Şen, 1999).

Etrafımızda ilgimizi çeken birçok sorunun yorumlanmasında, sayısal bilgidен çok kendi görüş ve düşüncelerimizi sözel olarak ifade ederek, olayları inceleriz. Bu ifadelerin anlamlı olmaları ve başkalarına iletilebilmesi için, mutlaka her insanın en az bir dil konuşmaya ihtiyacı vardır. Dil ne kadar kesin olmayan kelime ve cümleleri içerse de, insan iletişiminde ve bilgi akısında kullanılan en etkin araçtır. Örnek olarak, 'hava sıcak' denildiğinde herkes hava kelimesinin günlük hayattaki kullanımını kesinlikle anlamakta, ancak 'sıcak' kelimesinin ifade ettiği anlam göreceli olarak birbirinden farklı olabilmektedir. Kutuplarda bulunan bir kişinin sıcak için 15 °C' yi algılamasına karşılık, ekvatorda yaşayan bir kişi için bu değer 35 °C' yi bulabilir. Böylece, 'sıcak' kelimesinin altında insanların ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak, belirsiz bir durum ortaya çıkar. Bu rasgele değildir ancak belirsizdir ve bu şekilde kelimelerin algılanmalarındaki belirsizliklere bulanıklık denir. Bazı insanların sıcaklığı 15 °C, bazılarının ise 35 °C gibi oldukça farklı algılamasına karşılık, bu insanlar arasında bir ihtilaf bulunmaz. Aristo mantığı geçerli sayılacak olsaydı, bu iki grup insan arasında sürekli anlaşmazlıklar bulunacaktı. Bunun nedeni, Aristo mantığında sadece sıcak veya soğuk ifadesi olması, ikisi arasına değer verilmemesidir. Böylelikle, bulanık mantığın sayılardan çok, sözel kelimeleri esas aldığı anlaşılması olmaktadır (Şen, 1999).

İnsanın fizik olayları hakkındaki bilgi ve yorumlarının çoğu, kişisel görüşleri şeklinde ortaya çıkar. Bu bakımdan, insan düşüncesinde sayısal olmasa da belirsizlik, faydalı bir bilgi kaynağıdır. Mühendislik modellemelerinde, kesinliğin kazanılması durumunda maliyetlerin artması ve zamanın uzaması söz konusudur. Bunun nedeni, maliyetle kesinlik arasında doğru orantı bulunmasıdır. Olayın bulanık mantık ile incelenmesinde, araştırmacı veya mühendisin her şeyden önce yapacağı çıkarımların, belirli tolerans sınırları içinde kalmasına karar vermesi gerekir. Yüksek kesinlik sadece yüksek maliyetleri değil, aynı zamanda sorunun çözülmesinin çok karmaşıklaşmasına da sebep olur.

Bir sorunun çözümlenmesine başlamadan önce, mühendis toplayabildiği kadar sayısal ve sözel verileri göz önünde tutarak, çözüm için en uygun yöntem hakkında karar vermelidir. Bir annenin çocuğuna fırına koyduğu keklerin pişmesi durumunda, fırını kapatmasını söylemesi için ya sayısal olarak sıcaklığın hangi dereceye kadar devam

etmesini ya da basit olarak keklerin üstünün açık kahverengi olmaya başlaması halinde kapatmasını söyleyebilir. Bunlardan birinci tür bilgi bulanıktır ve sayısal yönleri belirtmesine karşın kesinlikle bilinmemektedir. İkinci tür sözel bilginin ise yani renk bilgisinin, birçok kişi tarafından tercih edilebileceği gerçektir. Bu durumda, böyle bilgileri bilgisayarlara tanıtılarak, bulanık işlemlerin yapılmasını sağlama yoluna gidilmelidir. İşte bu yoldaki en geçerli yöntem bilim, bulanık küme, mantık ve sistemlerdir. Yukarıdaki kek örneğinde, sıcaklığın 60°C olması gibi bir bilgiyi uygulamak oldukça zordur ancak keklerin piştiğini açık kahverengi rengin belirlenmesini, bir çocuk bile anlayabilmektedir (Şen, 1999).

### **3.3 BELİRSİZLİK YÖNTEMLERİ**

Yukarıda kısaca bahsedilen belirsizlik durumu aslında doğa, sosyal, toplum ve fizik olaylarının hepsinde olduğu, insanlar tarafından anlaşılmıştır. Örnek olarak, matematik hesaplamaların sadece belirgin yöntemlerle çözümlenmesinin yetersiz olduğu, nasıl 17.yüzyılda şans oyunlarının hesaplanmalarının düşünülmesi ile anlaşıldı ise, ilerleyen yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar belirgin yönler gideceğine, belirsizlik yöntemlerinin gelişmesi ve hesaplamalara karışması yönlerinde olmuştur. Sanayi devriminin 18.yüzyılda gelişmesi ile elde edilen bilgi ve bilimsel sorgulamalar sonunda ortaya çıkan, termodinamik yani ısı iletimi olayının moleküler seviyede tamamen belirsizlik yöntemleri ile çözümlenebileceği anlaşılacak, belirsizliğin bilimsel ölçütü olarak entropi kavramı karşımıza çıkmıştır. Bunun anlamı, doğal ve fizik olayların sürekli olarak belirsizliklerinin arttığı ve kesinlikle azalmadığı yani, bir düzensizliğe doğru gelişme bulunduğu durumdur. Bir bakıma entropi, belirsizlik ve düzensizliğin ölçüsüdür. Belirsizliğin ve düzensizliğin arttığı bir dünyada doğal olarak, bunları objektif biçimlerde kontrol edebilecek belirsizlik yöntemlerine önem verilmelidir (Şen, 1999).

Son yüzyıl içinde yapılan bilimsel devrimlerin tümü, belirsizlik ilkelerini ve bunların sonucunda geliştirilen yöntemleri içermektedir. Örnek olarak, daha 20. yüzyılın başında fizikçiler bundan sonra fizikte yapılacak bir şey kalmadı, her şey belirlilik yöntemleri



olan Newton ilke ve kanunları ile açıklanabilir diyerek bir genelleme yapmışlardır. İlerleyen yıllarda, molekül ve atom altı yapılarla uğrasan fizikçilerin, belirgin yöntemlerin bu olayları inceleyemeyeceği sonucuna varmaları, bilim adamları arasında bir huzursuzluğa neden olmuştur. Yapılan araştırmalar sonucunda klasik, yani Newton fiziğini devrim yaparak yıkan Kuantum fiziği ortaya çıkmıştır.

İnsanların bütün tasarımlarında kullandıkları yaklaşık 2000 yıllık Öklit geometrisi, 1970'li yıllarda yerini artık daha doğal olayların geometrisini yapabilen fraktal yani kesirli geometriye bırakmıştır. Öklit geometrisinde noktanın 0, doğrunun 1, yüzeyin 2 ve hacmin 3 boyutlu olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımlar birer belirginlik örneğidir. Fraktal geometrisinde ise belirsizlik isin içine girerek, incelenen her seklin kesirli boyutlarının olabileceği ileriye sürülmüştür. Örnek olarak, çok girintili çıkıntılı olan Türkiye'nin Ege sahillerinin uzunluğunun 1 boyutunda değil, 1,32 gibi bir boyuta sahip olabileceği söylenebilmektedir.

Belirgin fizik ve matematik kurallarının bir araya gelmesi ile elde edilen madde, enerji ve momentumun korunumu ilkeleri ile akışkanlar mekaniğinde ve diğer akla gelen her türlü durumlarda geçerli olan diferansiyel denklemler elde edilmiştir. Aslında, bunların çözülmesi ile incelenen olayın gelecek durumlarının tahminleri yapılır. Başlangıç ve sınır koşulları isin içine girer. Diferansiyel denklemler çok ideal sınır ve başlangıç koşulları için analitik olarak çözülebilir. Büyük bir kısmının, özellikle mühendislik gibi uygulamalı alanlarda kullanılması için, çözülmesinde sayısal yöntemler kullanılır. Çözümlerinin belirgin olduğu düşünülen bu diferansiyel denklemlerin, sonuçlarının kesin olmadığı ve belirsiz çözümler içerdiği, son 30 yılda anlaşılmıştır.

Son 30 yıla kadar sürekli kullanılan belirgin mantık ve özellikle Aristo mantığı yerine, belirsizlik içeren ve bugün Azerbaycanlı bilim adamı Lütfü Askerzade tarafından 'fuzzy' veya Türkçe bulanık denilen bir mantık yapısı değişik teknolojik cihazlarda kullanmaya başlanmıştır. Günlük konuşma dilinde geçen sözel belirsizlikleri, modelleme veya hesaplamalar yapılırken isin içine katılması yolu seçilmiştir. Günümüz teknolojisinin, çamaşır makinesi, elektrikli süpürgesi, araba, asansör, yapay zeka,

modelleme gibi birçok atılımları son günlerde bulanık mantık yöntemlerinin katılımı ile geliştirilmektedir.

Yukarıda anlatılanlardan sonra, belirsizliğin her tarafta bulunduğu ve bunların nesnel olarak incelenmeleri için bazı teknik, yöntem, algoritma ve yaklaşımların, geleneksel matematik (diferansiyel denklem, türev) dışında belirsizliği yakalayabilecek ve onu sayısalılaştırabilecek kuralları olan bazı bilimsel yöntemlere ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır. Bu tür konular için geçerli olabilecek olasılık, istatistik, stokastik, fraktal, kaotik, pertürbasyon, kuantum gibi değişik belirsizlik yöntemleri bulunmaktadır. Bunların en eskisi ve diğerlerinin anlaşılması için gerekli olanı olasılık yöntemleridir (Şen, 1999).

### **3.4 BULANIK KÜMELER VE ÜYELİK DERECELERİ**

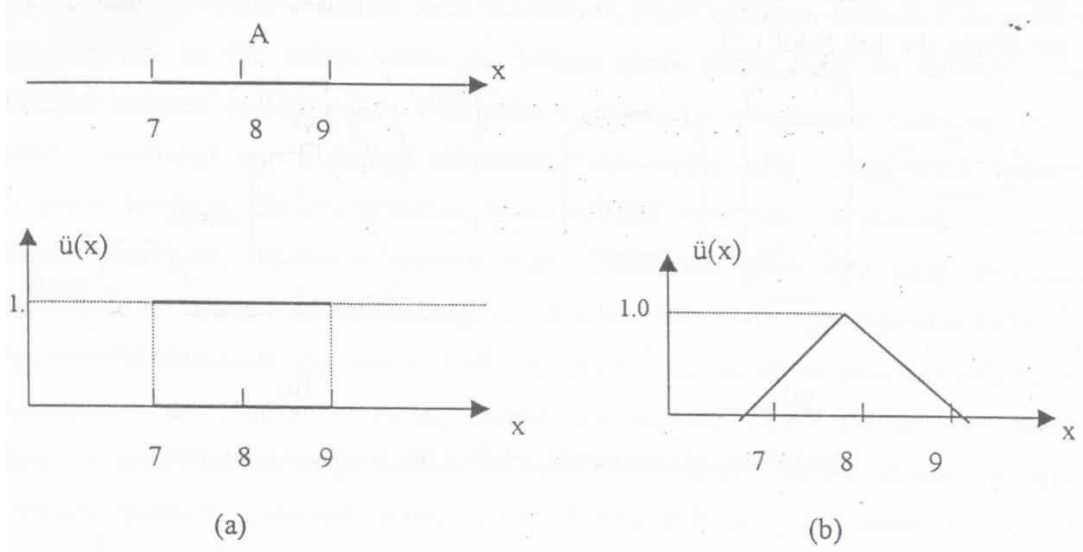
Belirsizlik durumları arasında, sözel olanlarının mükemmel olmayan bilgi içeriği olması açısından, daima yaklaşıklık ve bulanıklık içerdiği anlaşılmaktadır. Belirsizlik durumlarında en uygun yöntem bilim esasının, küme elemanlarına değişik üyelik derecelerinin verilmesi ile olacağı Lütfü Askerzade tarafından 1965 yılında belirtilmiştir. Aristo mantığına göre insanlar boy bakımından ya uzundur ya da uzun değildir. Zadeh yaklaşımına göre ise uzun boyluluğun değişik dereceleri vardır. Uzun boylulardan bir tanesi gerçek uzun boylu olarak esas alınır, ondan biraz daha uzun veya kısa olanlar uzun boylu değil diye tanımlanamazlar. Esas alınan, uzun boyluluğun altında ve üstündeki boylar o kadar kuvvetli olmasa bile, uzun boylular kümesine girmesidir. Böylelikle, dünyadaki insanlar kümesindeki tüm insanların, boy açısından bir uzunluk üyelik derecelerinin bulunduğunu söyleyebiliriz. Bunu biraz daha küçük ölçekte, Türkiye' de bulunan insanların, "insan toplumu" kümesinin bir ögesi olduğu düşünülürse, bunlarında her birinin uzun boyluluk açısından üyelik derecelerinin bulunduğunu söyleyebiliriz (Şen, 1999).

Aristo mantığına göre çalışan klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin üyelik dereceleri 1'e, o kümeye ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit olduğu varsayılmaktadır. Bu ikisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülmez, ancak bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Zadeh, küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürerek, kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayatla uyumlu olan bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Bu kadar basit temeli olan bulanık kümeler kavramının, 1980'li yıllar sonrasındaki teknoloji ve bilimsel çalışmalarda etkisi büyük olmuştur. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin, her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması tanım olarak gerekmektedir. Bunlar;

a) Bulanık kümenin normal olmasıdır. Bunun için en azından, o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin, en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekmektedir.

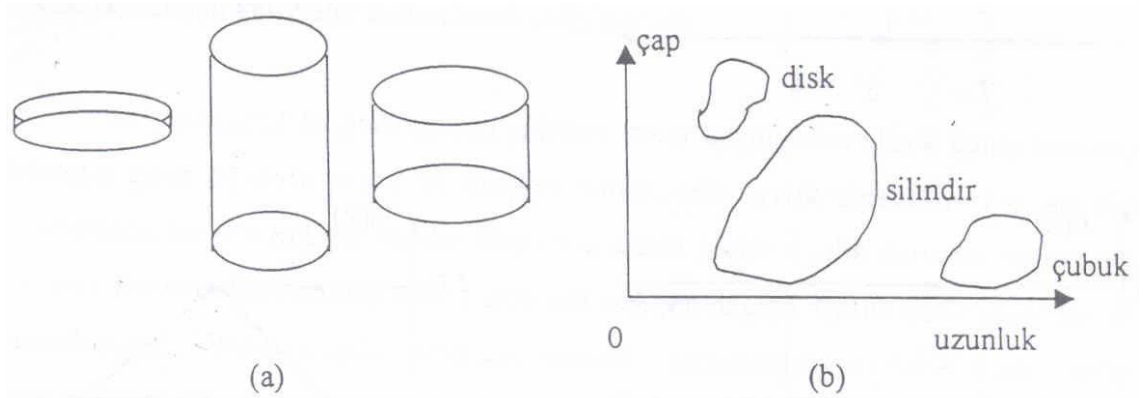
b) Bulanık kümenin monoton olmasıdır. Bunun anlamı, üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın, sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.

c) Üyelik derecesi 1 olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman, bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki buna da bulanık kümenin simetri özelliği adı verilir. Klasik kümelerle, bulanık kümelerin arasındaki önemli farklılardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde, değişik üyelik fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Şekil 3.3, 7 ile 9 arasında değişen gerçek sayıların üyelik derece fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 3.3 Üyelik Derecesi Fonksiyonları (a) Klasik Küme, (b) Bulanık Küme (Şen, 1999).

Bulanıklığı müphemlik, belirsizlik, değişik anlamlara gelebilen olayların özelliği olarak tanımlayabiliriz. Rasgeleliği ise, o olayın meydana gelmesindeki belirsizliğin sayısal ölçüsü olarak anlayabiliriz. Olay meydana gelebilir veya gelemez ancak onun bulanıklığı daima söz konusudur. Bir disk, silindir ve yuvarlak çubuk arasında ne gibi farklar olduğunu sorusunu ele alırsak, bunların her biri geometrik olarak birbirinin aynısıdır. Aralarındaki fark, yüksekliklerinin farklı olmasıdır (Bak. Şekil 3.4).



Şekil 3.4 (a) Geometrik Şekiller (b) Müphem Terimler (Şen, 1999).

Disk yüksekliği "kısa", silindir yüksekliği "orta", çubuk ise bu ikisine oranla yüksekliği "büyük (uzun)" olan silindirik şekillerdir. Bunların, birinden diğerine geçiş sınırı kesin değildir ve bulanık küme esaslarına göre Şekil 3.4' deki her bir geometrik hacim "silindir toplu" kümesinin değişik üyelik dereceleri ile birer alt kümelerini teşkil eder. Burada üç tane alt küme söz konusudur. Bunlar 'kısa', 'orta' ve 'uzun' kelimeleri ile ifade edilmiştir. Yukarıdaki üç şeklin tanımında doğal ve ideal olarak kesitlerinin daire biçiminde olduğu klasik bilgilerimizle algılanır. Ancak, kesit alanının mutlaka daire olması gerekmemektedir. Daireden sapsmaları olan, ancak genel hatları ile daireye benzeyen kesit alanları bulunmaktadır, çünkü gerçek dünya her zaman için idealleştirilmiş dünyadan sapsmalar gösterir (Şen, 1999).

Günlük hayatımızda bazı olaylar karşısında tercih yapmak durumunda kaldığımız zaman, her sözel bilginin bir bulanık kümeyle karşı geldiğini düşünerek ve kendi kendimize üyelikler vererek uygun çözümlere varabiliriz. Burada belirtilmesi gerekli çok önemli hususlardan bir tanesi, bulanık kümelerde öznel, yani bir dereceye kadar kişiye bağlı tercihler yapılarak üyelik dereceleri fonksiyonlarına karar verilebilmektedir.

### **3.5. BULANIK SİSTEM NE DEMEKTİR?**

Türkçedeki bulanık kelimesinin genel olarak puslu, dumanlı, kesinlikle ayırt edilemeyen, kesin olmayan, belirsiz, müphem gibi bir dizi anlamı vardır. Bu çalışmada teknik açıdan, İngilizce 'fuzzy' kelimesinin yerine bulanık kelimesi kullanılacaktır. Bulanıklığın anlamı, bir araştırıcının incelediği konunun kendisi tarafından, kesinlikle bilinmemesi durumunda, sahip olduğu eksik ve belirsiz bilgilerin tümüdür. Böylece araştırıcı, klasik analitik yöntemler, dinamik ve korunum ilkelerinden (enerjinin, maddenin, momentumun korunurları gibi) elde ettiği denklemleri, verilerinde ve bilgilerinde belirsizlik yani bulanıklık bulunduğu için doğrudan kullanamaz.

Araştıracının incelediği olay veya mekanizma sadece, kesin kurallı ve çıkarımlarında kabuller olan denklemler yerine, onların tamamlayıcısı olarak sözel ve belirsiz bilgilerde göz önünde tutularak modellenenabilir. Bulanık ilkelerin yardımı ile olayların incelenmesinde veri ve bilgi bakımından bir bulanıklık söz konusu ise de, bulanık yöntemlerin isleyişi tamamen belirgindir (Şen, 1999).

Araştıracıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar;

a) Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olmasından dolayı, bu olayların belirgin denklemlerle kesinlikle kontrol altına alınması mümkün olamaz. Bunun doğal sonucu olarak, araştıracı kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere başvurmayı tercih etmektedir. Yapılan bütün çalışmalarda, çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır. Aksi durumda, çok sayıda doğrusal olmayan denklemin es zamanlı çözülmesi gerekir ki, bunun günümüz bilgilerine göre belirgin olmayan kaotik çözümlere yol açacağı bilinmektedir. Kaotik incelenen olayı temsil eden denklemlerin hepsinin çözümü, sayısal verilere gerek gösterir (Şen, 1999).

b) Mühendislikte bütün teori ve denklemler, gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Birçok gerçek sistem, doğrusal olmamasına rağmen, doğrusallık kabulünü isin içine koymaktadır. Örnek olarak, mukavemet hesaplarında malzemenin gerilme altında doğrusal şekil değiştirmeler ortaya çıkaracağı, Hooke kanunu ile kesinleştirilmiştir. Ancak, malzemenin her zaman bu şekilde davranması beklenemez ve bu nedenle küçükte olsa bazı sapmaların olması beklenir. Bunun doğal sonucu olarak, mukavemet boyutlandırmalarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklük hesaplara dâhil edilerek, olabilecek belirsizlikler göz önünde tutulmuştur. Emniyet katsayısının kullanılması, bir bakıma belirsizliklerin çözümün içine bir şekilde sokulmasıdır. Gerçek olayların davranışlarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklüğe gerek kalmadan boyutlandırmaların yapılması durumunda, belirsizlik ilkelerine gerek duyulur.

Günümüzde, bilgi çağı ve bunun getirdiği sözel verilere önem verilmektedir. Bunun nedeni, insanların bir cihaz gibi sayısal değil de, yaklaşık sözel verilerle konuşarak anlaşmasıdır. Sözel veriler zamanla önemini artırmaktadır. Bu sözel verileri, bir sistem

içinde formüle ederek, cihazların verdiği sayısal bilgilerle birlikte mühendislik sistemlerinde göz önünde tutmak gerekmektedir. Bulanık sistemlerin esas isleyeceği konu, bu tür bilgilerin bulunması halinde çözümlenmelere gitmek için nasıl düşünüleceğidir. İyi bir mühendislik teorisinin, incelenen olayın önemli özelliklerini yakalayarak, onu yaklaşık bir biçimde modellemesi ve matematik bakımdan karmaşık olmayacak çözümlerle kontrol altına alması beklenir. Aslında bulanık yöntemlerle bir sistemin modellenmesinde de yaklaşıklık ve oldukça kolay çözümlülük bulunur. Bu bakımdan bulanık sistemler, teorik ve matematik aksiyomlu yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm algoritmasını temsil eder. Mühendislik yaklaşımlarında, elde edilebilen tüm sayısal ve sözel bilgilerin çözüm algoritmasına katılarak, bunların kontrolünde anlamlı çözümlere varılmalıdır. Bulanık küme, mantık ve sistem ilkeleri, uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar. Buna karşın, teorik matematik ve diferansiyel hesaplamalarda sadece sayısal değerler kullanılır. Örnek olarak, taşkın çalışmalarında risk hesaplamaları, su toplama havzasının alan, eğim, drenaj yoğunluğu, yağış ve akısının şiddeti, tekerrür süresi gibi sayısal değerlerinin yanında, o bölgede yaşayanlardan elde edilen sözel bilgiler ile arazide geçmiş taşkınların bıraktıkları izlerin düşük, orta veya çok derin debileri geçirdiği şeklindeki sözel bilgiler de hesaplamalara katılmalıdır. Bunun için bulanık sistemlerin iyi bilinmesi gerekir. İnsanların sunduğu sözel bilgilerin sayısal hale getirilerek, bilgisayarlar veya algoritmalar tarafından hesaplamaların yapılabilmesi için bulanık sistemlere gerek duyulmaktadır (Şen, 1999).

Bulanık sistemlere örnek, bir kişinin araba sürmeyi öğrenmesinde ortaya çıkan sözel bilgilerdir. Sürücü adayına hız su kadar kilometreye varınca gaza, su kadar miktar bas demektense, eğitim sırasında;

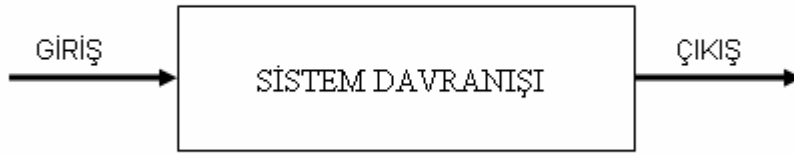
'EĞER hız düşük İSE gaza fazla bas'

Veya

'EĞER hız yüksek İSE gaza az bas'

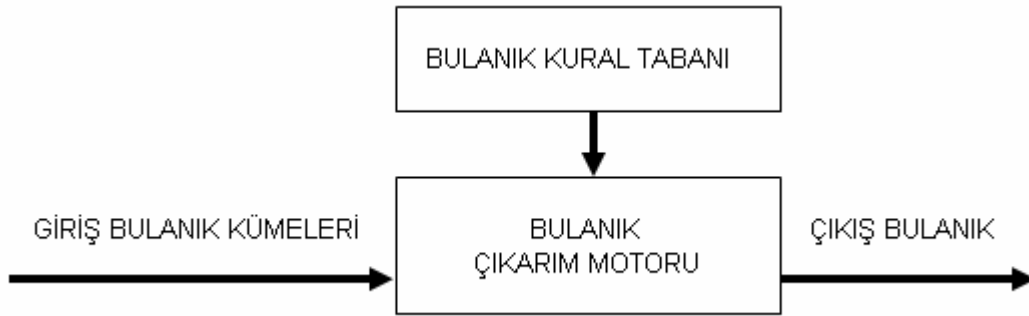
gibi kurallar söylenir. Bu kurallardaki düşük, az ve yüksek kelimeleri, kişilere belirli bir aralıkta sayısal değerleri ifade etmektedir.. Bu ifade edilen değerler topluluğuna, o

kelimeyi temsil eden küme denir. Bu kümenin her ögesi aynı derecede önemli değildir, ancak bazı değerler, diğerlerine göre önceliklidir. 'EGER – İSE' şeklindeki kuralların 'EGER' ile 'İSE' kelimeleri arasında kalan kısımlara öncül kısım ve 'İSE' kelimesinden sonra olan kısma da soncul kısım veya kural çıkarımı adı verilir. Şimdiye kadar öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3.5' de verilen üç ayrı birimden ibarettir (Şen, 1999).



Şekil 3.5 Klasik Sistem (Şen, 1999).

Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren, sistem davranışı denilen bir kutu ve buradan olan çıkış kısımlarıdır. Buradaki birimlerin hepsinde sayısal veri, çıkış veya işlemler yapılmaktadır. Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak Şekil 3.6' da gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin oluşmasıdır.



Şekil 3.6 Genel Bulanık Sistem (Şen, 1999).

Burada bulunan birimlerin her birinin farklı, fakat birbiri ile ilişkili aşağıdaki görevleri vardır.

a) Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı verilir.



Genel veri tabanı adı verilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/ya sözel olabilmesidir.

b) Bulanık Kural Taban Birimi: Veri tabanındaki girişleri, çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal 'EGER-İSE' türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece, girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını, çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlantıların tümü, kural tabanını oluşturur.

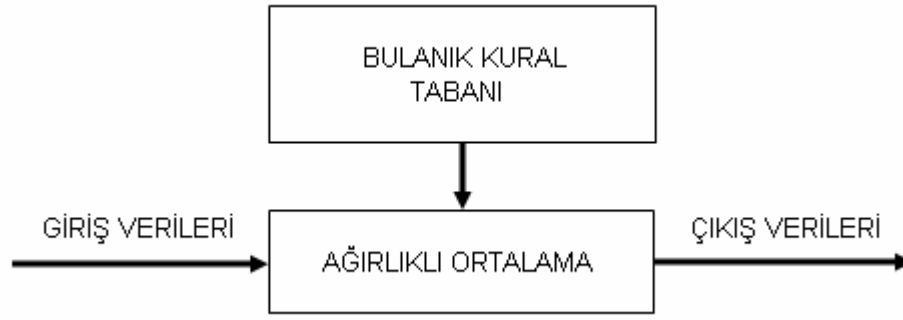
c) Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça, ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını sağlayan işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak, tüm sistemin girdiler paralelinde nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yaramaktadır.

d) Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının, bulanık çıkarım motoru ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değer topluluğunu belirtir. Şekil 3.6' deki sistem temel bir genel bulanık sistemi temsil eder. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, veri tabanındaki bilgileri ve çıktıların bulanık değerler olmasıdır. Şekil 3.7' deki sistemde, her birim bulanık kümelerden oluşmaktadır. Temel bulanık sistemin en önemli sakıncası, sayısal olan veri tabanının, böyle bir genel bulanık sisteme girememesi ve çıktıların sayısal olmaması yani, mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılamamasıdır.

Genel bulanık sistemin sakıncalarını bir dereceye kadar ortadan kaldırabilmek için Takagi, Sugeno, (1985) ve Sugeno, Kank, (1988) tarafından teklif edilen ve Takagi, Sugeno, Kank, (TSK) bulanık sistemi denilen sistem kullanılır. Burada veri tabanındaki girdiler, birer sayı ve bulanık kural, çıkarım motorunun çalışması sonunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu seklindedir. Özet olarak, kural tabanındaki öncül kısımların değişkenleri olduğu gibi İSE' den sonraki kural soncul kısmına, bu değişkenlerin birer doğrusal fonksiyonu olarak yansıtıldığı düşünülmüştür. Buna göre kural;

'EĞER' arabanın x hızı yüksek 'İSE', gazı basma kuvveti y,  $y = a.x$  sekline gelir. Örnek olarak, 3 tane öncül değişkeni ( $x_1$ ,  $x_2$  ve  $x_3$ ) bulunması durumunda, soncul değişken olan y, genel olarak bulanık sistemin kurallarından birinde;

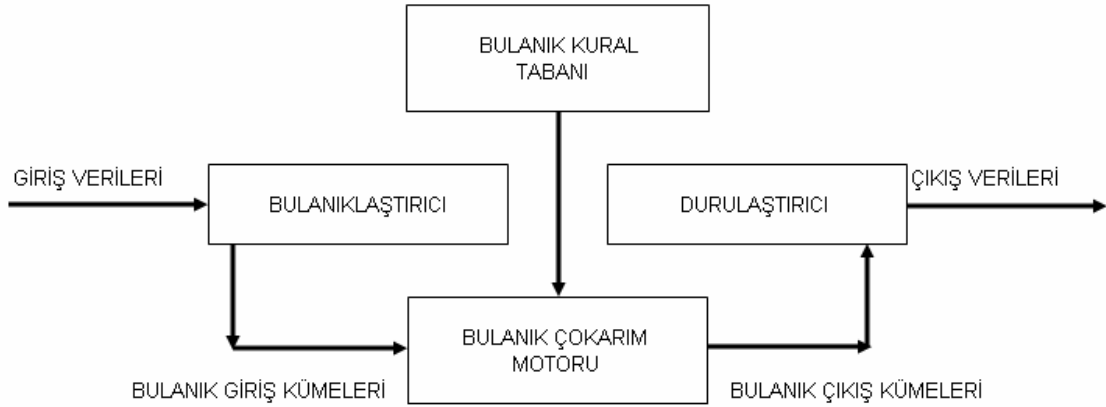
'EĞER'  $x_1$  az ve  $x_2$  yüksek ve  $x_3$  geniş 'İSE'  $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$  şeklini alır. Bütün kuralların soncul kısımları, çoklu doğrusal denklemden ibarettir. Böyle bir yapıya sahip olan bulanık sistemde, soncullar bulanık küme şeklinde olmadıklarından Şekil 3.6' daki 'Bulanık Çıkarım Motoru' birimi yerine, her bir kuralın öncül kısmından hesaplanan üyelik dereceleri ağırlık olmak üzere ağırlıklı çıkarım hesaplaması birimi gelir (Bak. Şekil 3.7).



Şekil 3.7 TSK Bulanık Sistemi (Şen, 1999).

Böyle bir bulanık sistemde çıktı uzayı, girdilerin fonksiyonu olarak her bir alt uzayda geçerli bir kural almak üzere temsil edilmiştir. TSK yaklaşımı ile çıktı yüzeyinin doğrusal olmaması halinde bile, bu yüzeyin alt uzaylar üzerinde girdi değişkenleri cinsinden düzlem parçaları şeklinde modellendiği anlaşılmaktadır. Ancak, TSK bulanık sisteminin sakıncaları arasında 'İSE' kısmından sonra matematik bir iliksi bulunduğundan, kuralların soncul kısımlarının insanlar tarafından verilecek sözel bilgileri modelleyememesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasında yazılması mümkün olan tüm kuralların, soncul kısımlarının bulanık olmaması yani yazılamamasıdır. İşte bu sakıncaları ortadan kaldırabilmek için Şekil 3.8' de verilen ve girdi-çıkı birimlerinde sırası ile bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemleri yapıldığından, bu birimlerin de kutu şeklinde gösterildiği bir bulanık sistem karşımıza çıkar.

Burada, genel bir bulanık sistemdeki bulanık kural tabanı ve çıkarım motoru aynı şekilde kalmaktadır. Girişlerin sayısal olmaları durumunda, bulanıklaştırılmasına yarayan bulanıklaştırıcı birim ile yine bulanık olan çıktıların sayısallaştırılmasına yarayan durulaştırıcı birim ilave edilmiştir. Bulanıklaştırma ve durulaştırma sırası ile giriş sayılarını bulanıklaştırılması ve bulanık sayıların sayısallaştırılması anlamına gelir. Bu sistemde, bulanık sözel bilgilerle birlikte bulanıklaştırılmış sayısal bilgiler bir arada toplanarak, Şekil 3.6' da gösterilen genel bulanık sistemin girdisine indirgenmiş bir durum ortaya çıkar. Çıkışta ise, genel bulanık sistemin çıkışlarının mühendislik tasarımlarında kullanılması amacıyla durulaştırma birimi ilave edilmiştir. Bu bulanıklaştırıcı-durulaştırıcı bulanık sistem, genel bulanık ve TSK bulanık sistemlerinde bulunan tüm mahzurları ortadan kaldırır (Şen, 1999).



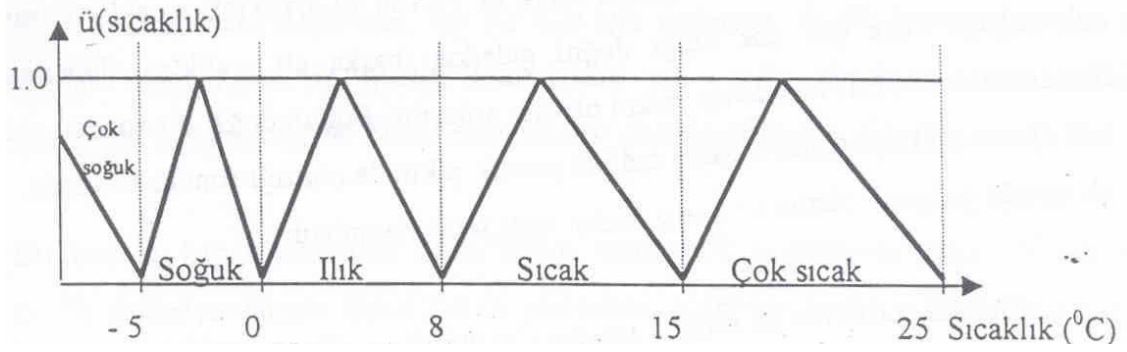
Şekil 3.8 Bulanıklaştırma-Durulaştırma Birimli Bulanık Sistem (Şen, 1999).

Bulanık sistemlerin başlıca özellikleri arasında, çoklu girdileri kural tabanı ve çıkarım motoru ile işleyerek, tek çıktı haline dönüştürmesi gelmektedir. Bazı özel durumlarda, çıktılar birden fazla olabilir. Ancak, hemen her mühendislik çalışmasında en az bir tane çıktı bulunur. Bulanık sistem doğrusal olmayan bir şekilde girdileri oluşturan değişkenleri, çıktı değişkenine dönüştürerek, sistemin davranışını tespit etmektedir. Böylelikle, bilgi tabanının doğrusal olmayan dönüşümlere maruz bırakılarak, istenen sonuçlara ulaşmak için incelenen sistemin kontrol altına alınması mümkün olmaktadır. Bulanık sistemler sayesinde mühendislikte görüntü işleme, zaman serileri esaslı tahmin yapmak, kontrol sorunlarını çözmek ve iletişim konularında uygulamalar yapılabilmektedir. Bunun dışında, bulanık sistemler mühendislik, tıp, sosyoloji,

psikoloji, isletme, uzman sistemler, yapay zekâ, sinyal islenmesi, ulaştırma, kavsak sinyalizasyonu gibi birçok alanda rahatlıkla kullanılabilir (Şen, 1999).

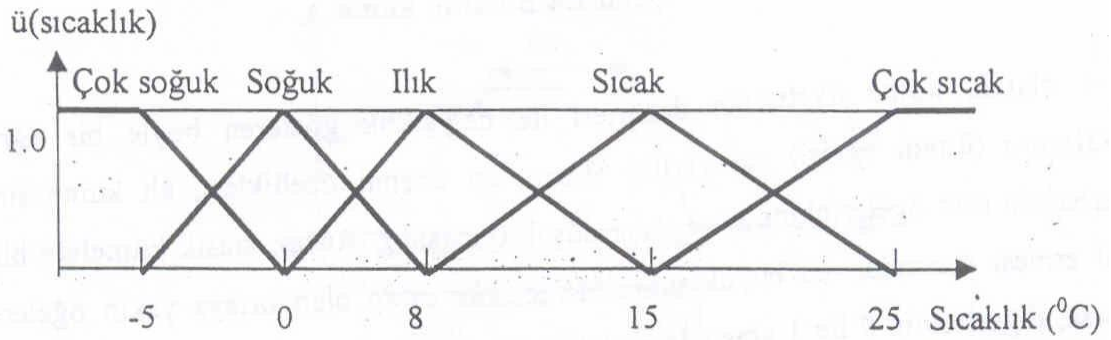
### 3.6 ÜYELİK FONKSİYONLARI

Bir bulanık ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi kişiler tarafından belirlenebilir. Örnek olarak, İstanbul’ da sıcaklık derecesinin değişim aralığının, aşağı yukarı  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu söylenebilmektedir. Bu aralık tanımı ile tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Bu sıcaklık uzayında çok soğuk, soğuk, ılık, sıcak ve aşırı sıcak gibi alt aralıklar oluşturulabilir. Örnek olarak,  $-5$  ile  $0$  çok soğuğu,  $0$  ile  $8$  soğuğu,  $8$  ile  $15$  arası ılığı,  $15$  ile  $25$  sıcığı,  $25$  üzeri sıcaklıklar çok sıcığı temsil ettiği kabulü yapılmıştır. Bu aralıkların sınırlarında, Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Yapılan sınırlamalar sonucunda,  $7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ nin soğuk,  $8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ nin ise ılık olduğu sonucu çıkmaktadır. Bu iki değerin birbirine çok yakın olmasına rağmen, farklı aralıklarda bulunmaları, Aristo mantığında bazı eksiklikler olduğunun bir göstergesidir. Bu Şekilde gösterimde, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin sadece o aralık içerisinde  $1$ ’e eşit, diğer aralıklarda ise  $0$ ’a eşit olduğu görölmektedir. Yukarıdaki tartışmanın bir doğal sonucu olarak, en basit üçgen üyelik fonksiyonları bitişik olarak alınmıştır. Bu üçgenlerin, sıcaklık alt kümelerini tam yansıtmadığı açıktır, çünkü sınırlardaki sıcaklık değerlerinin üyelik dereceleri sıfır olarak alınmıştır. Ayrıca, bu sınır değerleri ne alttaki nede üstteki sıcaklık alt kümelerine dahildir. Böylece, sınır değerleri için tam anlamı ile bir belirsizlik vardır. Şekil 3.9’ daki alt aralıklar Aristo mantığına göre işlem görür, çünkü bir alt aralığa düşen sıcaklık değerini sadece o alt aralığa aittir.



Şekil 3.9 Bitişik Üçgen Gösterimi (Şen, 1999).

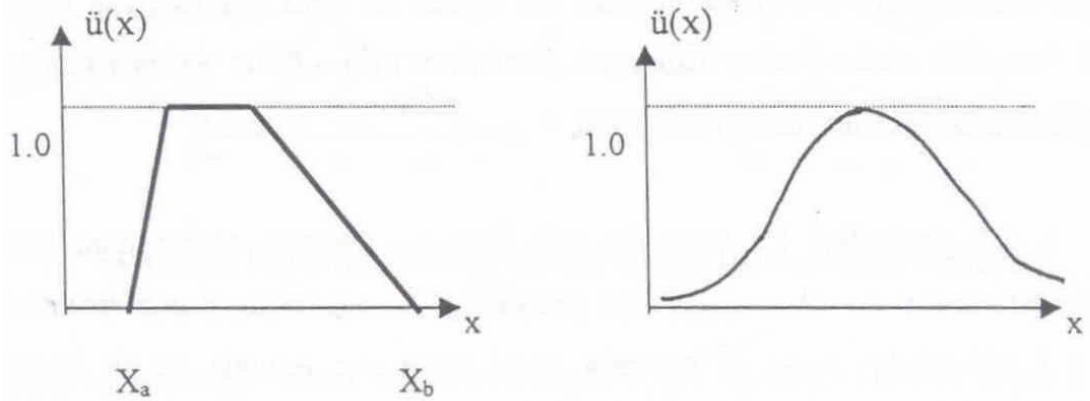
Bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceğini söylersek, daha mantıklı, günlük hayatta daha geçerli ve uzlaştırıcı çözümlere gitmiş oluruz. Her insanın ılık sınırlarının  $+5^{\circ}\text{C}$  ile  $+15^{\circ}\text{C}$  de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağını kabul etmesini savunmak mümkün değildir. Günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin, hangi aralığa düşeceği oldukça şüpheli yani bulanıktır. Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile Şekil 3.10' da verilen üyelik fonksiyonları karşımıza çıkar.



Şekil 3.10 Örtüşmeli Üçgen Gösterimi (Şen, 1999).

İlk ve son alt aralıktaki sıcaklık durumlarının, çok soğuğa veya çok sığağa doğru gidildikçe, başka alt aralıklar olmadığından, üyelik derecelerinin 1'e eşit kalmasının mantıklı olacağı anlaşılmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak, ilk ve son üyelik fonksiyonlarının üçgen yerine yamuk şeklinde olacağı sonucuna varılmaktadır.

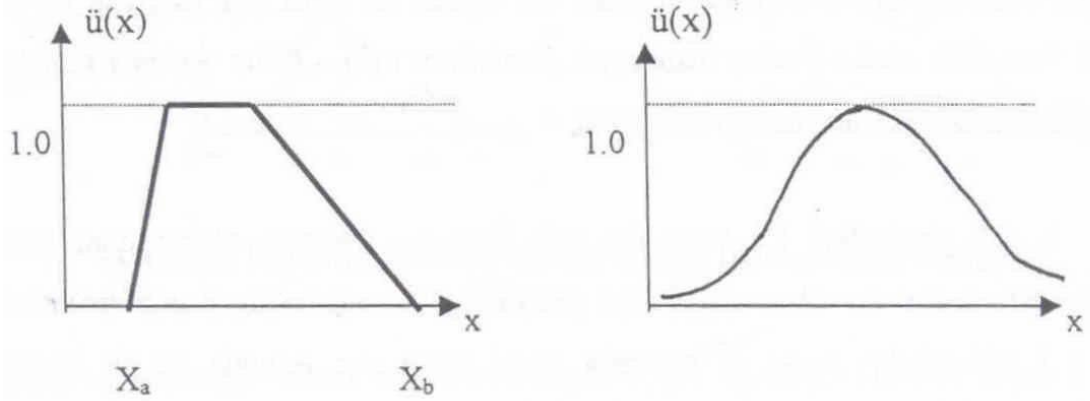
Burada sorun, her alt aralığa düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı önemde olup olmayacağıdır. Ilık aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça, onun komsusu olan altta soğuk üstte ise sıcak alt kümelerine doğru geçişler beklendiği için, o geçiş bölgelerinde tam anlamı ile ılık vasfına sahip olacağı söylenemez. Böylelikle, her alt aralığa düşen sıcaklık derecelerinin, o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini, orta kısma kıyasla göreceli olarak kaybedeceği sonucuna varılmaktadır. Bir alt aralıkta, üyelik derecesinin en yüksek olduğu kısım aralığın ortalarında, en düşük değerinin ise uçlarda olacağını söyleyebiliriz. Bu düşüncelerden, Şekil 3.11' de gösterilen bir geometrik gösterim ortaya çıkar. Genel olarak, her alt aralığın ayrık üyelik fonksiyonu Şekil 3.11' de gösterildiği gibi olur. Bu fonksiyonların simetrik olması gerekmez. Böylece,  $X_a$  ve  $X_b$  gibi alt ve üst sınırlara sahip  $X$  değişkeninin, bu aralıktaki her değerine ayrı bir üyelik derecesi,  $\bar{u}(x)$ , atanmış olur. Bu aralıktaki tüm  $X$  değerleri, o  $X$  değişkeninin bir alt kümesini teşkil eder (Şen, 1999).



Şekil 3.11 Bulanık Küme (Şen, 1999).

Küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu adı verilir. Bunun en önemli özelliklerinden biri, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelere göre daha düşük olmasıdır. Ancak, klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli değişen değerler olacağı sonucuna varılır. Bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin, her bir öğe için değerine, üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilmektedir. Üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler, önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahiptir.

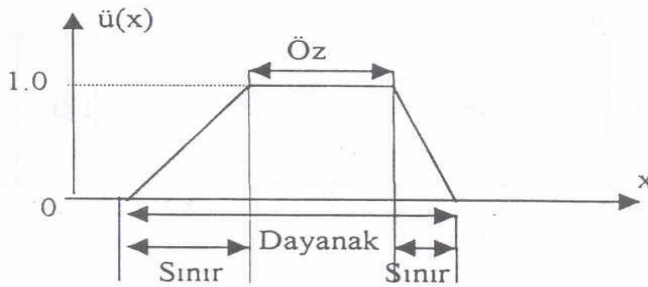
Matematik kurallarına uygun olarak düzgün şekilli üyelik fonksiyonlarının Şekil 3.11' de gösterilen üçgenden başka, yamuk veya çan eğrisi şeklinde olabilmektedir. (Bak Şekil 3.12) Pratik uygulamalarda üçgen üyelik fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.12 Yamuk ve Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonları (Şen, 1999).

### 3.6.1 Üyelik Fonksiyonunun Kısımları

Üyelik fonksiyonlarının, daha bilimsel terminoloji ile açıklanması aşağıda yapılacaktır. Genel olarak, yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonu Şekil 3.13' de gösterildiği gibi değişik kısımlara sahiptir.



Şekil 3.13 Üyelik Fonksiyonu Kısımları (Şen, 1999).

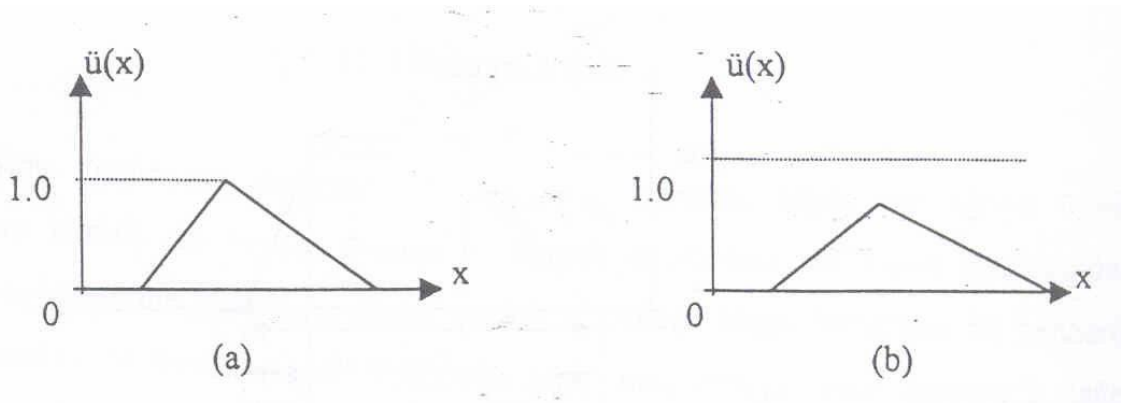
Buradaki gibi verilen bir bulanık alt kümede bir değil, birden fazla öğenin üyelik derecesi 1' e eşit alınabilir. Bu durumda, 1 üyelik dereceli öğelerin tam anlamı ile hiçbir şüphe olmadan sadece o alt kümeyle ait olduğu sonucuna varılır. Böyle üyelik derecesine sahip olan öğeler, alt kümenin orta kısmında toplanmıştır. Üyelik dereceleri 1' e eşit olan öğelerin toplandığı alt küme kısmına, o alt kümenin özü denir.

(  $\mu(x) = 1$  ' dir ) Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunda sadece bir öğenin üyelik derecesi 1' e eşit olduğundan, üçgen üyelik fonksiyonlarının özü bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa, o alt kümenin dayanağı adı verilir. Dayanak kısmında bulunan her öğenin az veya çok değerinde (0 ile 1 arasında) üyelik dereceleri vardır. Bunun matematik gösterimi  $\mu(x) > 0$ 'dır (Şen, 1999).

Üyelik dereceleri 1'e veya 0'a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonunun sınırları veya geçiş bölgeleri adı verilir. Bunun matematik tanımı;  $0 < \mu(x) < 1$  şeklindedir. Bunlar alt kümenin kısmi öğeleridir. Genel olarak, tüm üyelik fonksiyonlarında biri sağda diğeri de solda olmak üzere iki tane geçiş bölgesi vardır. Şekil 3.13 ' deki en sol ve en sağdaki bulanık kümelerde birer tane geçiş bölgesi vardır.

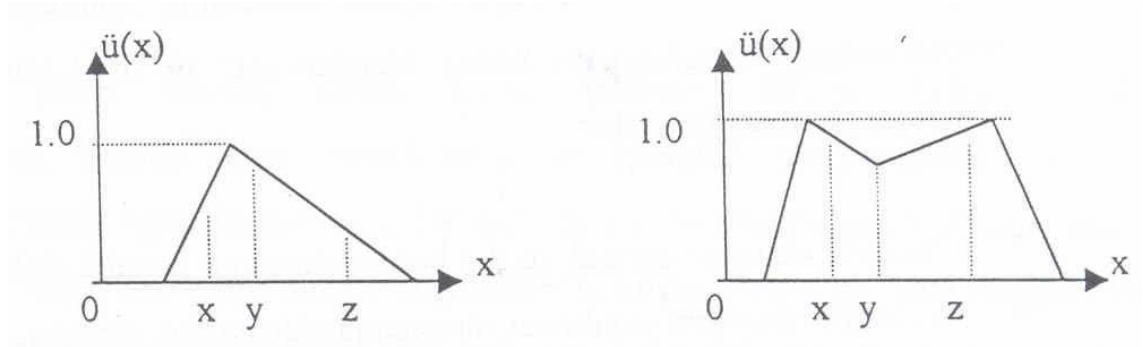
Yukarıda şekil olarak açıklanan bu üç özelliğe ilave olarak, üyelik fonksiyonunun sahip olması gerekli olan iki tane daha özellik bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, bulanık kümenin normal olduğunu tespit etmemize yarayan bir kavramdır. Buna göre normal bulanık kümede, en azından bir tane üyelik derecesi 1' e eşit olan üye bulunmalıdır. Şekil 3.14, normal ve normal olmayan bulanık kümeleri göstermektedir.



Şekil 3.14 Bulanık Kümeler (a) Normal (b) Normal Olmayan (Şen, 1999).



İkinci özellik ise bulanık kümenin dışbükey (konveks) olmasıdır. Dışbükey olan bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu kümenin dayanağı üzerinde, ya sürekli artar veya sürekli azalır veya üçgen üyelik fonksiyonunda olduğu gibi önce sürekli olarak üyelik derecesi bir öğede 1' e eşit oluncaya kadar artar, ondan sonraki dayanağa düşen öğeler için sürekli azalır. Bunun aksi durumlarda söz konusudur. Ancak, onlar bulanık kümelere üyelik fonksiyonu olamaz. Şekil 3.15' de dışbükey olan ve olmayan bulanık alt kümelere bazı örnekler gösterilmiştir.



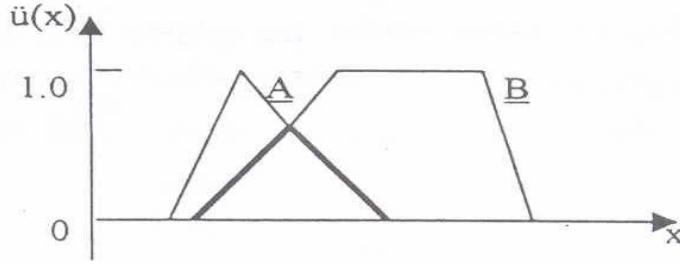
Şekil 3.15 Bulanık Kümeler (a) Dışbükey (b) Dışbükey Olmayan (Şen, 1999).

Dışbükeyliğin matematik olarak tanımlanmasında, aynı bulanık alt kümeye düşen x, y ve z gibi üç tane öğe düşünülürse ve bunlar arasında değerce büyüklük olarak  $x < y < z$  gibi bir sıra bulunuyor ise, bunlardan ortadakinin üyelik fonksiyonu önceki ve sonrakine göre;

$$\mu(y) \geq EK[\mu(x), \mu(z)] \quad (3.1)$$

bağıntısı daima geçerli olmalıdır.

Burada 'EK' en küçükleme işlemi demektir. Y' nin üyelik derecesi, x ve z' nin üyelik derecelerinin en küçüğünden daha büyüktür. İşte bu durumda, o kümeye dışbükey bulanık küme adı verilir (Bak. Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Dışbükey Bulanık Kümelerin Kesişimi (Şen, 1999).

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecesinin 0,5' e eşit olması durumundaki noktaya geçiş noktası adı verilir. Bu durum geçiş noktasında,  $\bar{u}(x) = 0.5$  olması anlamına gelir. Bulanık kümenin yüksekliği denilen bir büyüklük ise üyelik derecesinin en büyük olduğu öğelere karşı gelmektedir. Yüksekliği 1'e eşit olmayan bulanık kümeler normal olmadıklarından herhangi bir bulanık küme, mantık ve sistem içerisinde kullanılamazlar. Normal olmayan bulanık kümeleri, normal hale dönüştürmek için, mevcut her bir üyelik derecesinin, en büyük üyelik derecesine bölünmesi gereklidir. Böylece normal olmayan bulanık kümelerin, dışbükey olmaları şartı ile nasıl normal bulanık kümelere dönüştürüleceği anlatılmıştır.

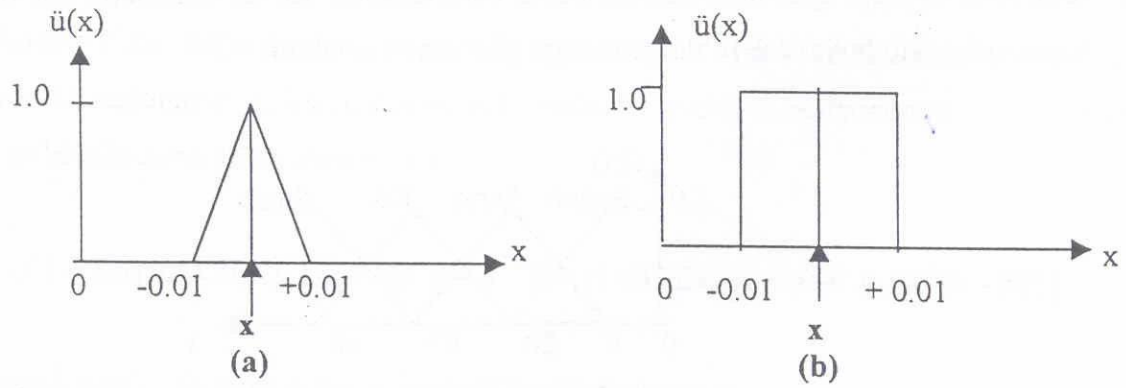
Temel bulanık kümeler, normal ve dışbükey olmasına karşılık daha sonraki bölümlerde görüleceği üzere küme işleminin yapılması sonucunda elde edilen kümeler, bulanık normal küme olmayabilir. Örnek olarak, iki normal ve dışbükey bulanık alt kümenin birleşimi, normal ve dışbükey olmayan bulanık küme çıkabilir (Bak. Şekil 3.16).

Üyelik fonksiyonları simetrik olmayabilmektedir. Genel olarak, bir boyutlu uzayda tanımlanan bulanık kümelerin iki veya daha fazla boyutta, az da olsa tanımlanması mümkündür. Şimdiye kadar gösterilen tüm üyelik fonksiyonları bir boyutta tanımlanmıştır. Bir boyutlu uzayda çizgi şeklinde olan üyelik fonksiyonları iki boyutta yüzey şeklinde görülür (Şen, 1999).

### 3.7 BULANIKLAŞTIRMA

Pratikte, klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olması yerine, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir.

Özellikle, bazı cihazların prezisyonu diye tabir edilen durumlarda mesela (+,-) % 1 'lik hassaslık (prezisyon), ölçülen  $x$  büyüklüğünün  $x + 0.01$  ve  $x - 0.01$  arasında değişeceği beklentisini ifade etmektedir. Bunun klasik ve bulanık kümelerde gösterilimi Şekil 3.17 'de verilmiştir.



Şekil 3.17 Hassaslık (a) Bulanık (b) Klasik(kaynak).

Buradan, bulanık prezisyonun pratikte mantiki olarak daha sağlıklı bir tanım olduğu ortaya çıkar. Böylelikle, prezisyon kelimesinden ve değerinden bulanık üyelik fonksiyonunun üçgen şeklinde olması akla gelen ilk durumdur.

### 3.8 DURULAŞTIRMA

Bulanık mantık kullanılarak kurulan modellerle elde edilen sonuçların ya da çıktıların uygulamalarda doğrudan kullanılması mümkün değildir. Çıktıların kullanılabilir duruma getirilmesi için bulanık çıktıların sayısal değerlere dönüşümünü sağlamak

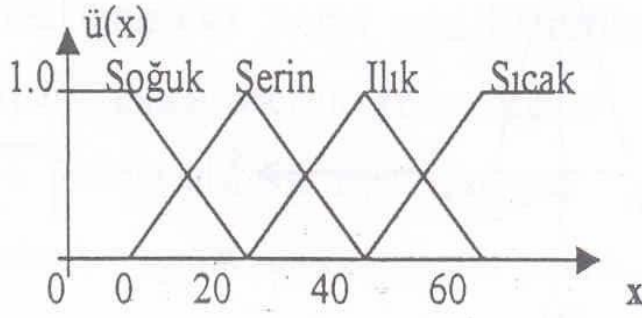
gerekmektedir. Durulaştırma ismi verilen işlem bu dönüşümü ifade etmektedir. Durulaştırma, bir başka ifade ile bulanıklığın giderilmesi anlamına gelmektedir.

### 3.9 ÜYELİK DERECESİ ATAMASI

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin, gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanmaktadır. Pratik olarak, birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerinden bazıları;

- a) sezgi,
- b) çıkarım,
- c) mertebelleme,
- d) açılı bulanık kümeler,
- e) yapay sinir ağları,
- f) genetik algoritmalar,
- g) çıkarımcı muhakeme gibi değişik yaklaşımlardır.

Bunlardan sezgi fazlaca yöntembilim bilgisi gerektirmemektedir. Bu bölümün başında, üyelik derecesi ve fonksiyonlarının sezgi ile elde edilmesi konusunda açıklamalar yapılmıştır. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışları önemli rol oynar. Buna en basit örnek herkesin, görüş ileriye sürdüğü sıcaklık kelimesinin belirttiği alt kümeleri düşünebiliriz. Soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört tane alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri belirli bir geometrik şekil ile Şekil 3.18' de görüldüğü gibi temsil edilebilir.



Şekil 3.18 Sıcaklık Bulanık Alt Kümeleri (Şen, 1999)

Bu geometrik şekillerin konumları doğal olarak, o yörede yaşayan kişilere göre değişir. Örnek olarak, kutuplarda yaşayan insanların soğuk kavramı ile tropikal bölgelerde yaşayanlarındaki birbirinden oldukça farklıdır. Bu insanların algılarında olabilecek farklılıkları göstermektedir. Bu farklılıklar üyelik derecesi atanmasında göz önünde tutulmalıdır.

Çıkarım ile bulanık küme üyelik fonksiyonlarının bulunması için mutlaka incelenen olay hakkında bazı temel bilgilere sahip olmak gereklidir. Burada, literatürde sıkça bilinen bir örnek üzerinde durularak tanımlama yapılacaktır. Ü' yü üçgenler kümesi olarak düşünelim ve bir üçgenin A, B ve C iç açılarının toplamının  $180^\circ$  olduğunu biliyoruz. İşte bu bilgiden çıkarıma gideceğiz. Üçgenlerin yaklaşıklıkla eşkenar, E, ikizkenar, İ, dik açılı, D, dik açılı ve eşkenar, DE ve diğerleri gibi alt kümeler ayırdığımızı düşünelim. Bunların her biri, üçgenler kümesinin bulanık alt kümelerini temsil eder. Sıra bu alt kümelerin her birine birer üyelik fonksiyonunun atanmasına geldiğinde, bilinen bilgilerden yararlanarak bazı üyelik fonksiyonu çıkarımlarının yapılmasına gidilebilir. Örnek olarak, bulanık bir ikizkenar üçgende  $A_B_C_0$  olmak üzere  $A = B$  veya  $B = C$  olması durumunda, üyelik değerinin  $\mu_E(x) = 1$  olacağı düşünülerek üyelik fonksiyonu eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\mu_{(A,B,C)} = 1 - (1/60)EK(A-B, B-C) \quad (3.2)$$

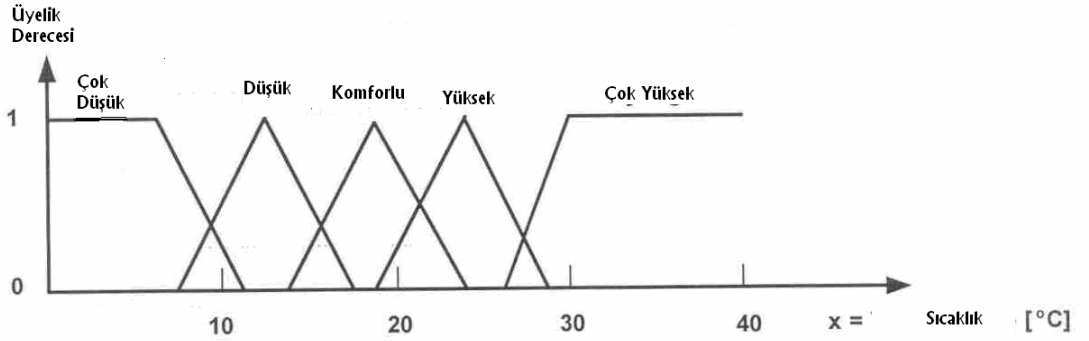
$A = 120^\circ$ ,  $B = 60^\circ$  ve  $C = 0$  ise  $\mu(x) = 0$  olur.

### 3.10 BULANIK MANTIK YÖNTEMLERİ

Mamdani ve Sugeno gibi birçok insan, bilgisayar ortamında insan tecrübesini operatör olarak kullanan, bulanık mantık metotları geliştirmeye yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bu sistemler bulanık kümeler, bulanık mantık ve bulanık kontrolörleri kullanarak, insan kararlarını işleme dâhil ederler. Bunlardan en önemli ikisi, Mamdani ve Takagi-Sugeno tipi bulanık mantık yöntemleridir. Aşağıda bu yöntemlerin temelleri özetle anlatılacaktır (Pedrycz, 1993)

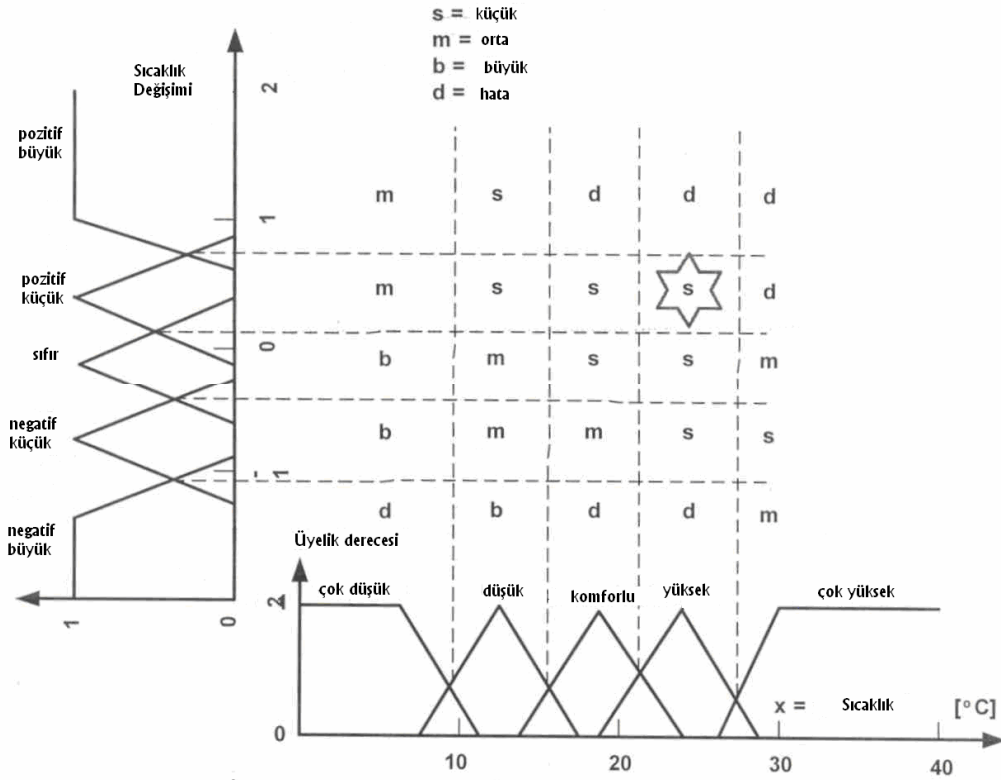
#### 3.10.1 Mamdani Bulanık Mantık Yöntemi

Mamdani bulanık mantığı, yöntem durumlarını açıklamak için dile ait değişkenleri kullanır ve bu değişkenleri, kontrol kuralları için girdi olarak belirler. Isıtıcı sistem örneğinde, oda sıcaklıkları giriş değişkenleridir. Sıcaklık değişkenleri çok az, az, konforlu, yüksek ve çok yüksek olarak bölünmüştür (Bak Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Dilsel Değişkenler, Sıcaklık (Pedrycz, 1993).

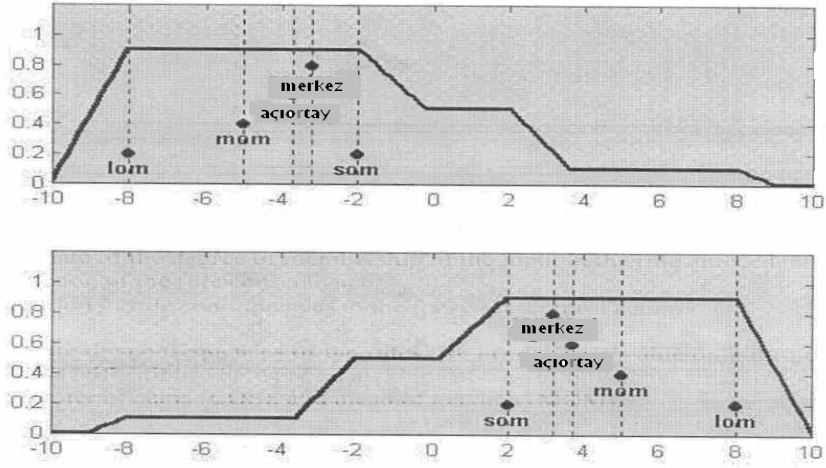
Bu yöntemi, çıkış değişkenlerinin üyelikleri tespit edilirken kullanırız. Güç küçük, orta ve büyük olarak sınıflandırılır. Bu iki dile ait değişken ile sıcaklık sisteminin kuralları belirlenir. Şekil 3.20’ de, kurallar her durum için güç bileşeninde değişiklik yaparlar. Bu yöntemde, insan tecrübesine dayalı kurallar kullanılmaktadır. Eğer sıcaklık yüksek ve sıcaklık değişimi pozitif (az) ise güç az kullanılır.



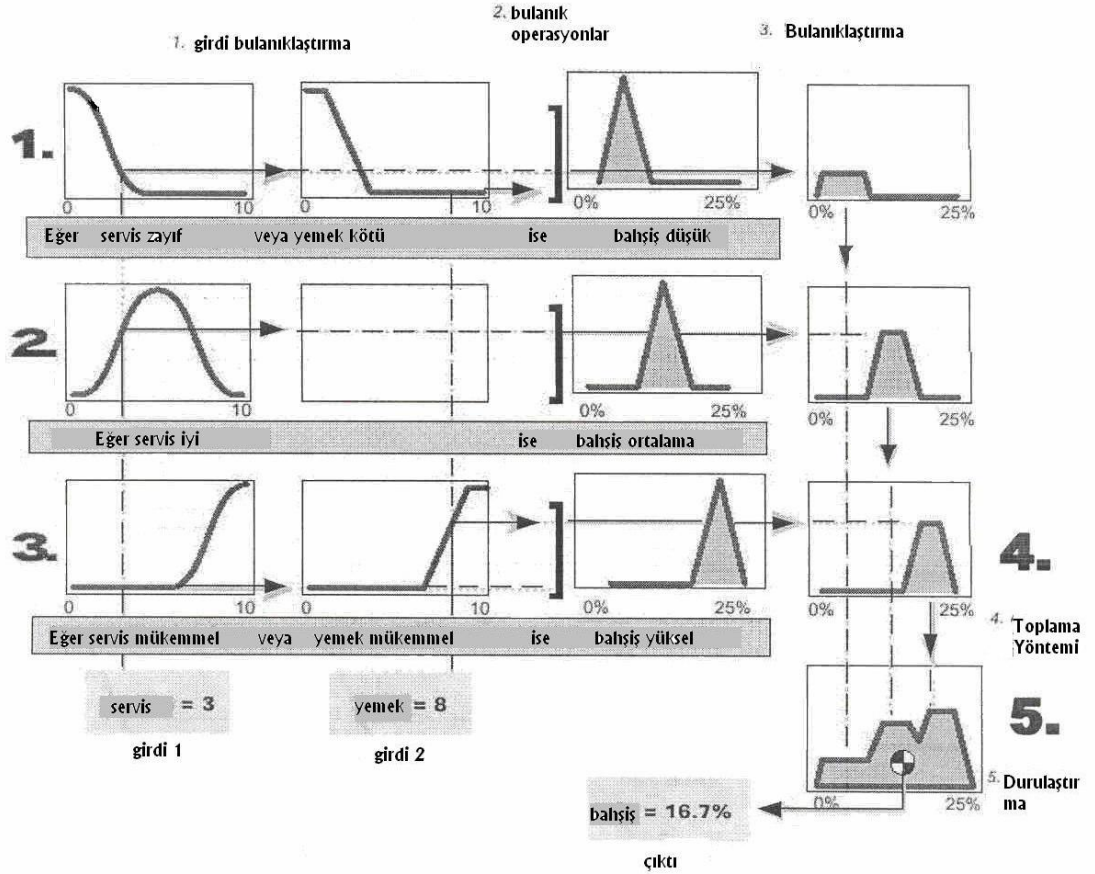
Şekil 3.20 Dilsel Durum Uzayı (Pedrycz, 1993).

Yukarıda anlatılan tüm adımlar Mamdani kontrolünün tasarımını amaçlamaktadır. Giriş verilerine üyelik fonksiyon değerlerinin atanması, kural sonuçlarının hesaplanması, kural sonuçlarının, bulanık kümeye “kontrol hareket” toplanmasıdır.

Kural sonuçlarını topladığımız zaman, sistemi kontrol etmek için klasik çıktı değerine ihtiyaç duyarız. Buna durulaştırma denir. Durulaştırmanın amacı, bulanık kümeyi klasik kümeye çevirmektir. Birçok durulaştırma yöntemleri vardır (Bak Şekil 3.21). Bunlar alan merkezi yöntemi (COA), sonuçların değerlerinin merkezi (COS) ve maksimumun ortalaması (MOM) olarak sayılabilir.



Şekil 3.21 Biriçak Durulaştırma Metodu (Zimmerman, 1996).



Şekil 3.22 Beş Adımda Mamdani Tipi Kontrolün Gösterimi (Zimmerman, 1996).



Mamdani metodunun faydaları;

- a) Oluşturulması kolay,
- b) Diğer bulanık metotlarında temelini oluşturur,
- c) İnsan düşüncesine uygundur.

Mamdani metodunun mahsurları;

- a) İşlemi kontrol etmek çabuk ve kolaydır ancak uzun vadeli sistemlerde başarılıdır. (Sıcaklık kontrol sistemleri gibi),
- b) Yüksek frekanslı giriş sistemlerini kontrol ettiği zaman, hassasiyeti arttırmak için ek beceriye ihtiyaç duymaktadır. (Zimmerman, 1996).

### 3.10.2 Takagi – Sugeno Bulanık Mantık Yöntemi

Takagi - Sugeno bulanık mantığı ilk olarak 1985 yılında yayınlanmıştır. Bu yöntem, Mamdani yönteminin geliştirilmiş halidir. Girdileri bulanıklaştırma ve bulanık operasyonları, Mamdani metoduyla aynıdır. İkisi arasındaki fark, çıkış üyelik fonksiyonunun lineer veya sabit olmasıdır. (Pedrycz, 1993).

Çıkış fonksiyonları sabit ise, bu fonksiyonlara sıfıncı derece Sugeno bulanık modeli denir. Örnek olarak;

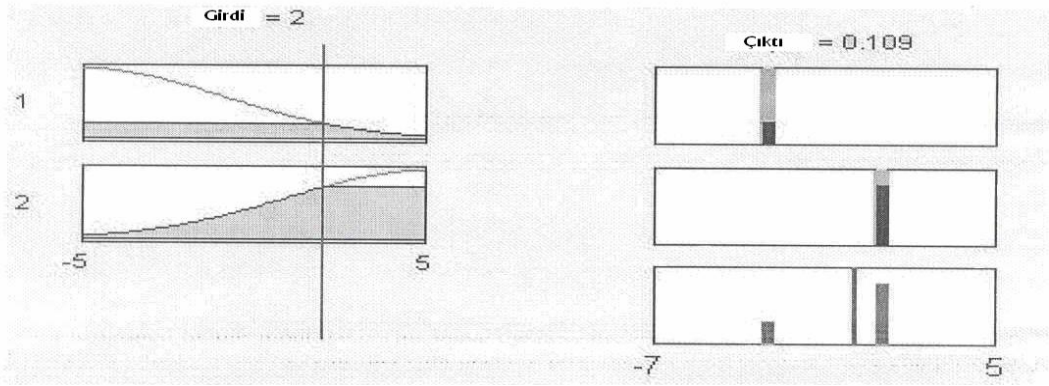
$$\text{'Eğer } x \text{ – } A \text{ ve } y \text{ – } B \text{ ise } z = k \text{'}$$
 (3.3)

A ve B, x ve y ' nin üyelik fonksiyonlarını ifade eden bulanık kümelerdir. 'k' ise sabit bir sonuç değeridir.

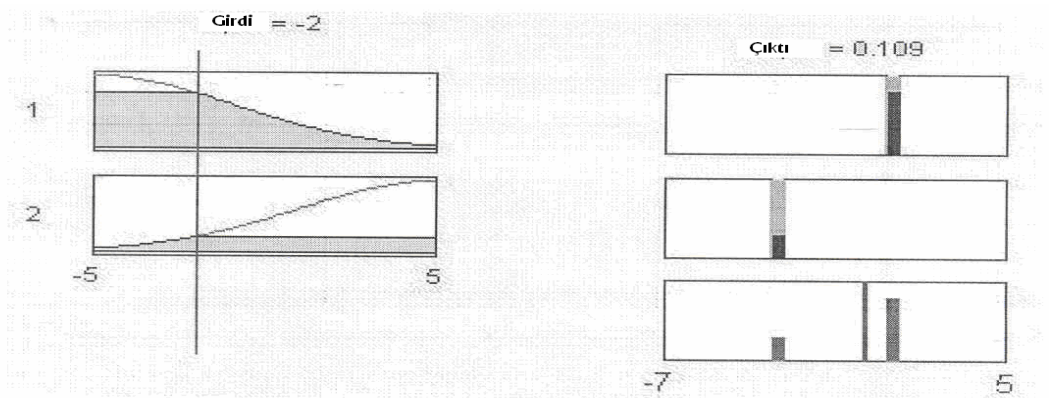
Birinci dereceden Sugeno bulanık modeli;

$$\text{'Eğer } x \text{ – } A \text{ ve } y \text{ – } B \text{ ise } z = p \cdot x + q \cdot y + r \text{'}$$
 (3.4)

Denklemdaki A ve B bulanık kümeler, p, f, r ise sabitlerdir. Aşağıda matlab programında kullanılan 1. dereceden sistemler gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Birinci Dereceden Sugeno Tipi Modelin Girdi Değişkenleri ile Çıktı değişkenleri arasındaki ilişki.



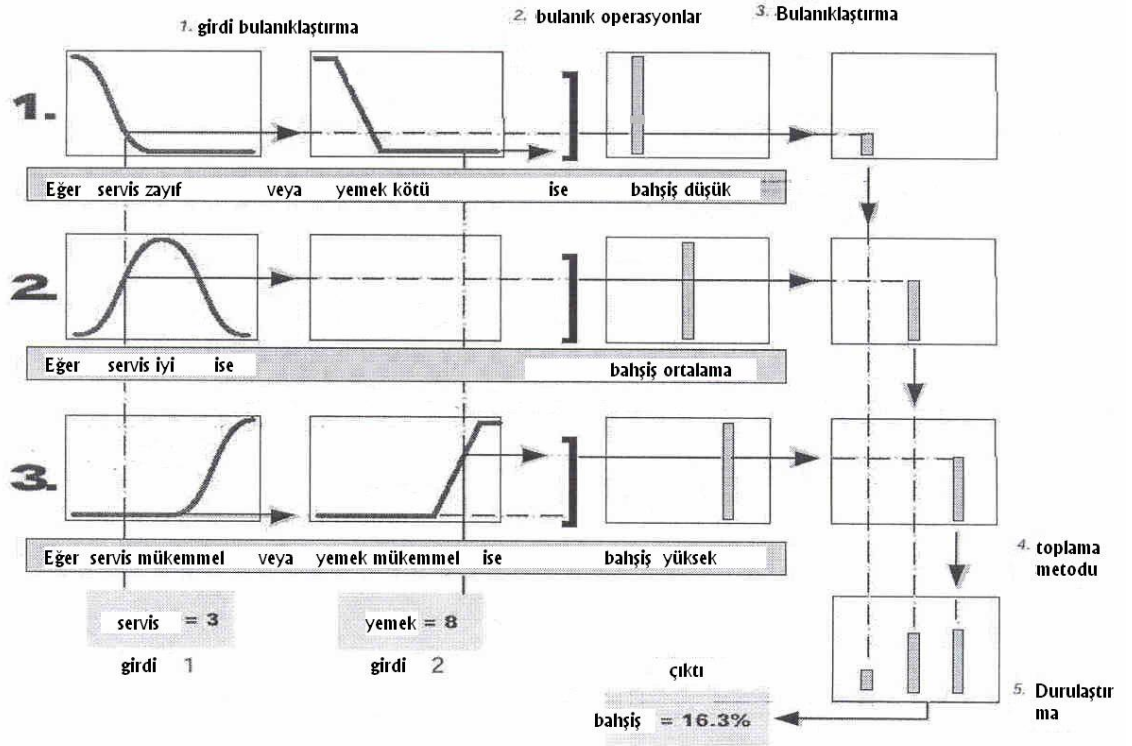
Şekil 3.24 1. Dereceden Sugeno Tipi Modelin Girdi ve Çıktı Değişkenleri arasındaki ilişkisi.

Yukarıdaki iki şekildeki, çıkış çizgisi 1 ve çizgi 2 aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\text{Çizgi 1 çıkış} = (-1) * \text{girdi} + (-1) \quad (3.5)$$

$$\text{Çizgi 2 çıkış} = (1) * \text{girdi} + (1) \quad (3.6)$$

Bu örnekten, Sugeno tipi sistemin şekil 5.24'de doğrusal sistemi, bulanık sisteme bağlamaya yaradığı görülmüştür (Pedrycz, 1993).



Şekil 3.25 Beş Adımda Sugeno Tipi Kontrolörün Gösterimi.

Sugeno metodunun faydaları;

- Hesaplama için çok uygun,
- Lineer olmayan sistemleri kontrol etmek için lineer teknikleri kullanır,
- Hassasiyeti arttırmak için çıktıları optimize edebilir,
- Sürekli çıktı yüzeyine sahiptir,
- Matematik ile analiz edilebilir.

Sugeno metodunun mahsurları;

- Sezgisel değil,
- Daha yüksek dereceden Sugeno metodu kullanıldığında karmaşıklaşmaktadır.

Yukarıdaki iki metottan birini seçmemiz gerektiğinde, öncelikle sistemi ve karakterleri iyi kavramalı, daha sonra hangisinin sistemi daha kolay, ucuz ve uygun tamamlayacağına karar vermeliyiz.

### 3.11 BULANIK MANTIK TEORİSİNİN UYGULAMALARI VE KULLANIM ALANLARI

Bulanık Mantığın en yaygın kullanım alanlarının başında şu konular gelmektedir:

Yapay zeka, sistem analizi, karar analizi, nümerik analiz, veri işleme, mühendislik, Genetik algoritmalar , ekonomi, robotik,trafik,tahmin vb.

Bulanık mantık, ilk kez 1973 yılında, Londra'ki Queen Mary College'da profesör olan Ebrahim H. Mamdani tarafından bir buhar makinesinde uygulandı. Ticari olarak ise ilk defa, 1980 yılında, Danimarka'daki bir çimento fabrikasının fırınına kontrol etmede kullanıldı. Bulanık mantık ile hazırlanan bir sistem, bilgisayar desteğinde, sensörlerden ısı ve maddelere ait bilgileri alarak ve "feed-back" (geri besleme) metoduyla değişkenleri kontrol ederek, bu ayarlama işini çok hassas ölçümlerle gerçekleştirmiş ve büyük oranda enerji tasarrufu sağlamıştır.

1987'de, Uluslararası Bulanık Sistemler Derneği'nin Tokyo'da düzenlediği bir konferansta bir mühendis, bulanık mantıkla programladığı bir robota, bir çiçeği ince bir çubuğun üzerinde düşmeyecek şekilde bıraktırmayı başarmıştır. Bundan daha fazla ilgi çeken gerçek ise, robotun bunu yaptığını gören bir seyircinin mühendise, sistemden bir devreyi çıkarmasını teklif etmesinden sonra görülmüştür. Mühendis önce, devreyi çıkarırsam çiçek düşer diye bunu kabul etmemiş, fakat seyircinin çiçeğin ne tarafa doğru düştüğünü görmek istediğini söylemesi üzerine devreyi çıkarmıştır ve Robot beklenmedik bir şekilde yine aynı hassaslıkla çiçeği düşürmeden çubuğun üzerine bırakmıştır. Kısacası bulanık mantık sistemleri, yetersiz bilgi temin edilse bile tıpkı insanların yaptığı gibi bir tür "sağduyu" kullanarak (yani mevcut bilgiler yardımıyla neticeye götürücü akıl yürütmeler yaparak) işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

Bulanık mantık kullanılarak üretilen fotoğraf makineleri, otomatik odaklama yapanlardan bile daha net bir görüntü vermektedir. Fotokopi makineleri ise bulanık mantıkla çok daha kaliteli kopyalar çıkarmaktadırlar. Zira odanın sıcaklığı, nemi ve

orijinal kağıttaki karakter yoğunluğuna göre değişen resim kalitesi, bu üç temel unsur hesaplanarak mükemmele yakın hale getirilmektedir.

Kameralardaki bulanık mantık devreleri ise sarsıntılardan doğan görüntü bozukluklarını asgariye indirmektedir. Bilindiği gibi elde taşınan kameralar, ne kadar dikkat edilirse edilsin net bir görüntü vermez. Bulanık mantık programları bu görüntüleri netleştirmek için şöyle bir metot kullanır: Eğer görüntüdeki bütün şekiller, aynı anda, bir tarafa doğru kayıyorsa bu, insan hatasından kaynaklanan bir durumdur; kayma göz önüne alınmadan kayıt yapılır. Bunun dışındaki şekiller ve hareketler ise normal çekim durumunda gerçekleştiği için müdahale edilmez.

Birkaç bulanık mantık sistemi ise, mekanik cihazlardan çok daha verimli bir şekilde bilgi değerlendirmesi yapmaktadır. Japon Omron Grubu, büyük firmalara sağlık hizmeti veren bir sisteme ait beş tıp veri tabanını, bulanık mantık teorileri ile kontrol etmektedir. Bu bulanık sistem, 10.000 kadar hastanın sağlık durumlarını öğrenmek ve hastalıklardan korunmalarına, sağlıklı kalmalarına ve stresten kurtulmalarına yardımcı olmak üzere kişiye özel planlar çizebilen yaklaşık 500 kural kullanmaktadır. Pilav pişirme aletlerinden asansörlere, arabaların motor ve süspansiyon sistemlerinden nükleer reaktörlerdeki soğutma ünitelerine, klimalardan elektrikli süpürgelere kadar bulanık mantığın uygulandığı birçok alan bulunmaktadır. Bu alanlarda sağladığı enerji, iş gücü ve zaman tasarrufu ile "iktisat" açısından da önem kazanmaktadır.

BM birçok kontrol uygulamasında başarıyla kullanılmıştır. Bulanık mantığın kullanım alanlarından bazıları: Trafik Sinyal Optimizasyonu (Kavşak ve Ana arterlerde), Katılım Denetimi Kontrolü, Robotik Proses kontrol, Ev elektroniği, Trafik, Görüntü işleme, Veri tabanı sorgulama, Arıza denetimidir.

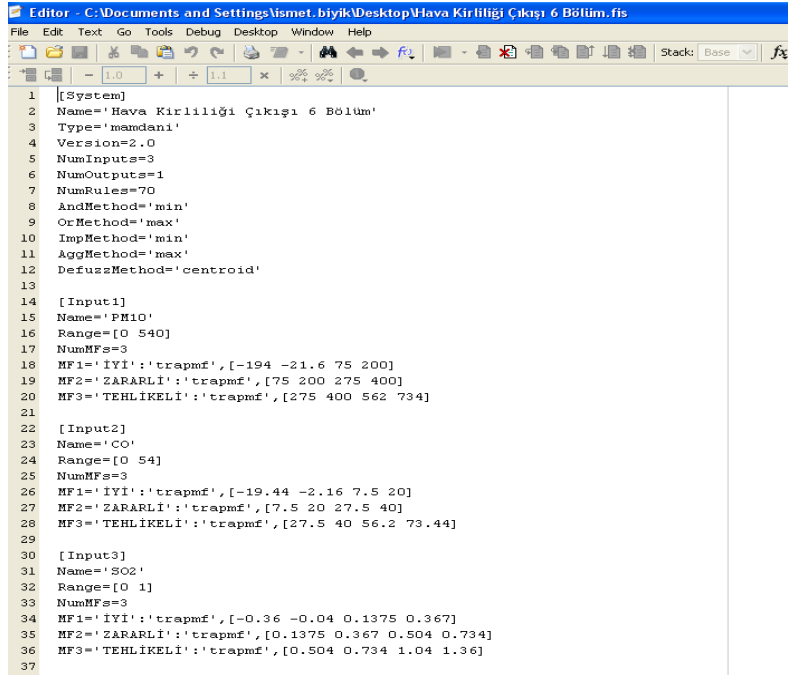
Bulanık mantığın gelecekteki uygulama sahaları, daha da genişleyecek gibi gözükmektedir. Şeker hastaları için vücuttaki insülin miktarını ayarlayarak yapay bir pankreas görevi yapan minik yapıların üretiminde, prematüre doğumlarda bebeğin ihtiyaç duyduğu ortamı devam ettiren sistemlerin hazırlanmasında, suların

klorlanmasında, kalp pillerinin üretiminde, oda içindeki ışığın miktarının ayarlanmasında ve bilgisayar sistemlerinin soğutulmasında bulanık mantık çok şeyler vaatmektedir (Tektaş, M.;Akbaş,A.;Topuz,V., Ağustos -2002, Topuz, V.; Akbaş, A.;Tektaş, M., Ağustos -2002, Tektaş,M.;Tektaş,N.;Topuz., Kasım 2004).

## 4. BULANIK MANTIK UYGULAMA MODELİ

Bu çalışmada uygulanan Bulanık Mantık modeli dört giriş ve bir çıkıştan oluşan Mamdani tipi bir model olarak hazırlanmıştır. Modelde İstanbul ili ele alınıp, hava kirliliği parametrelerinden, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO giriş verileri olarak kullanılmıştır. Çıkış verileri olarak ise Tablo 1.3' te verilen, bu parametrelerin AQI değerleri kullanılmıştır.

Bulanık Mantık modelinin ismi, girişleri, çıkışları, kullanılan cebirsel yöntemler, modelin tipi, giriş ve çıkışlar için kullanılan üyelik fonksiyonları, berraklaştırma yöntemi ve kural değerleri aşağıdaki şekilde gösterilen bulanık mantık editör ekranında ki gibidir. (Şekil.4.1)



```
1 [System]
2 Name='Hava Kirliliği Çıkışı 6 Bölüm'
3 Type='mamdani'
4 Version=2.0
5 NumInputs=3
6 NumOutputs=1
7 NumRules=70
8 AndMethod='min'
9 OrMethod='max'
10 ImpMethod='min'
11 AggMethod='max'
12 DefuzzMethod='centroid'
13
14 [Input1]
15 Name='PM10'
16 Range=[0 540]
17 NumMFs=3
18 MF1='İYİ':'trapmf',[-194 -21.6 75 200]
19 MF2='ZARARLI':'trapmf',[75 200 275 400]
20 MF3='TEHLİKELİ':'trapmf',[275 400 562 734]
21
22 [Input2]
23 Name='CO'
24 Range=[0 54]
25 NumMFs=3
26 MF1='İYİ':'trapmf',[-19.44 -2.16 7.5 20]
27 MF2='ZARARLI':'trapmf',[7.5 20 27.5 40]
28 MF3='TEHLİKELİ':'trapmf',[27.5 40 56.2 73.44]
29
30 [Input3]
31 Name='SO2'
32 Range=[0 1]
33 NumMFs=3
34 MF1='İYİ':'trapmf',[-0.36 -0.04 0.1375 0.367]
35 MF2='ZARARLI':'trapmf',[0.1375 0.367 0.504 0.734]
36 MF3='TEHLİKELİ':'trapmf',[0.504 0.734 1.04 1.36]
37
```

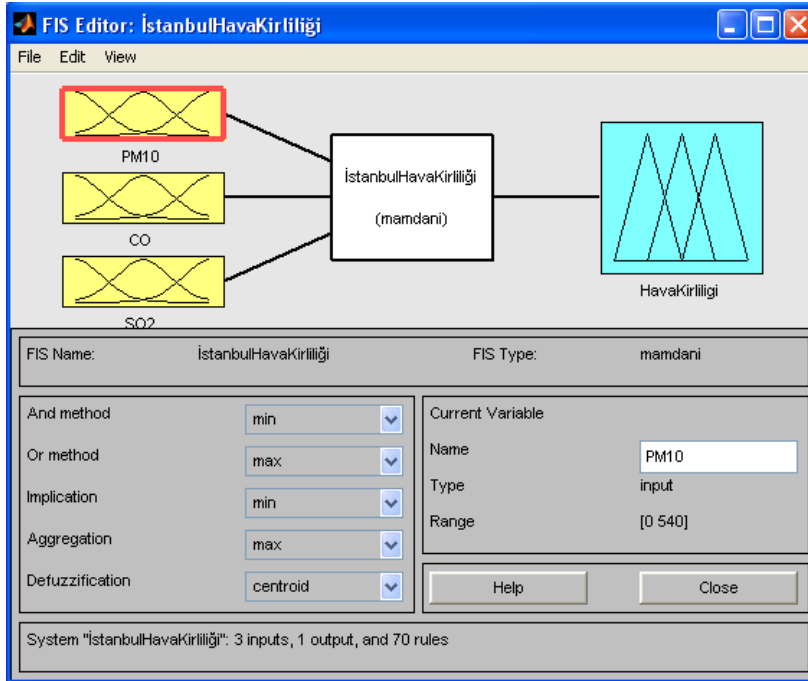
```

Editor - C:\Documents and Settings\ismet.biyyik\Desktop\Hava Kirliligi Çıktısı 6 Bölüm.fis
File Edit Text Go Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
[Output]
38 Name='HavaKirliligi'
39 Range=[0 540]
40 NumMFs=6
41
42 MF1='IYE':'trapmf',[-194.4 -21.6 25 100]
43 MF2='S.ZARARLI':'trapmf',[100 137.5 162.5 200]
44 MF3='TEHLIKELI':'trapmf',[300 400 562 734]
45 MF4='ORTA':'trapmf',[50 75 100 150]
46 MF5='ZARARLI':'trapmf',[150 212.5 237.5 300]
47 MF6='C.ZARARLI':'trapmf',[200 287.5 312.5 400]
48
49 [Rules]
50 1 1 1, 1 (1) : 1
51 1 1 2, 1 (1) : 1
52 1 1 2, 4 (1) : 1
53 1 1 2, 2 (1) : 1
54 1 1 3, 2 (1) : 1
55 1 1 3, 4 (1) : 1
56 1 1 3, 5 (1) : 1
57 1 1 3, 6 (1) : 1
58 1 2 1, 2 (1) : 1
59 1 2 1, 4 (1) : 1
60 1 2 1, 5 (1) : 1
61 1 3 1, 2 (1) : 1
62 1 3 1, 3 (1) : 1
63 1 3 1, 4 (1) : 1
64 1 3 1, 5 (1) : 1
65 1 3 1, 6 (1) : 1
66 2 1 1, 4 (1) : 1
67 2 1 1, 2 (1) : 1
68 2 1 1, 5 (1) : 1
69 2 1 2, 2 (1) : 1
70 2 1 2, 4 (1) : 1
71 2 1 2, 5 (1) : 1
72 2 1 3, 2 (1) : 1
73 2 1 3, 4 (1) : 1
74 2 1 3, 5 (1) : 1
75 2 1 3, 6 (1) : 1
76 2 2 1, 2 (1) : 1
77 2 2 1, 4 (1) : 1
78 2 2 1, 5 (1) : 1
79 2 2 2, 5 (1) : 1

```

Şekil 4.1. Bulanık Mantık modeli editör ekranı.

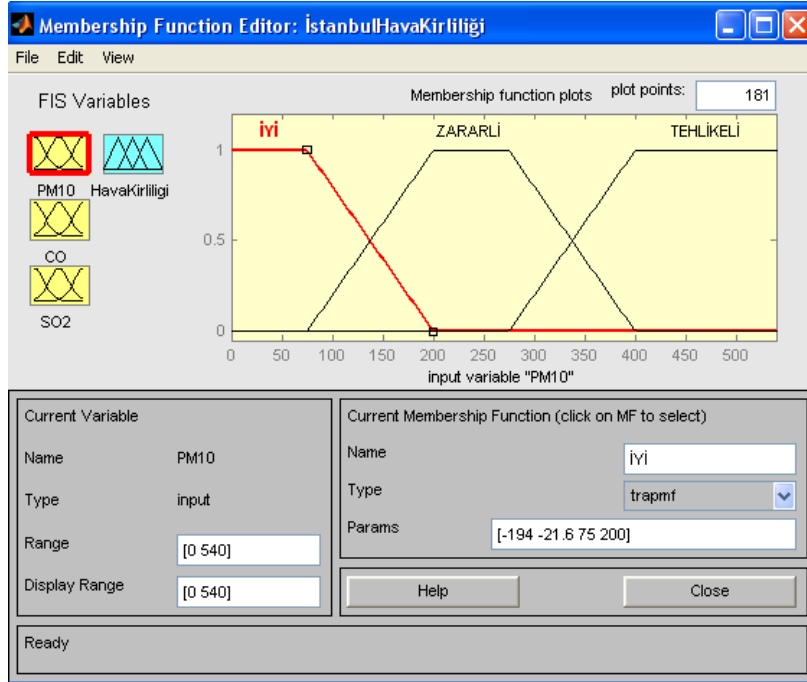
MATLAB 2009 paket programı kullanılarak, Fuzzy Logic Tollbox'ta elde edilen ve çalışmamızdaki parametrelere göre düzenlenen, FIS Editörü aşağıdaki ekranda gösterilmiştir. (Şekil.4.2)



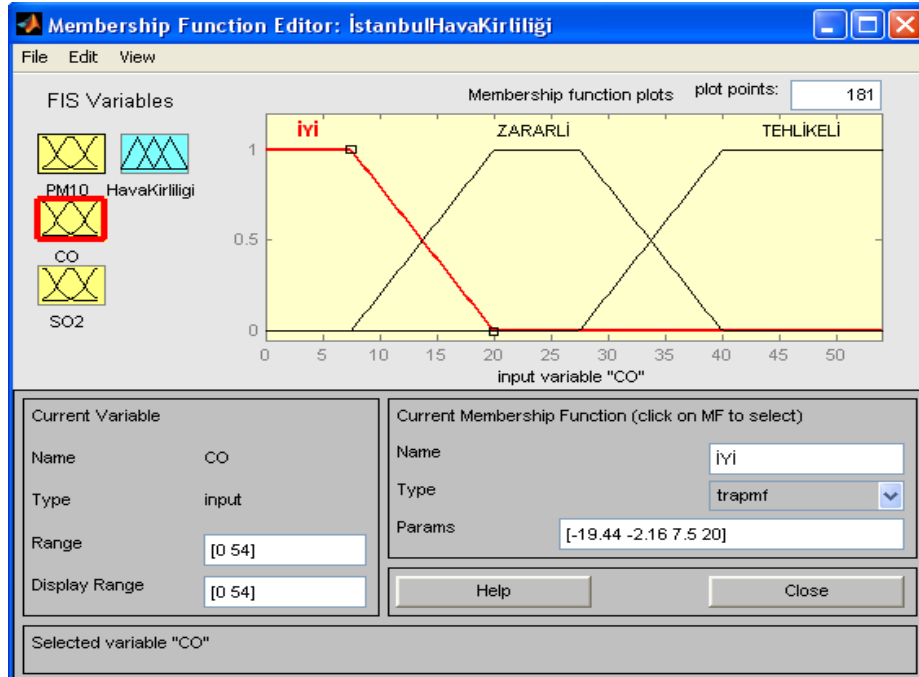
Şekil 4.2 FIS Editörü.



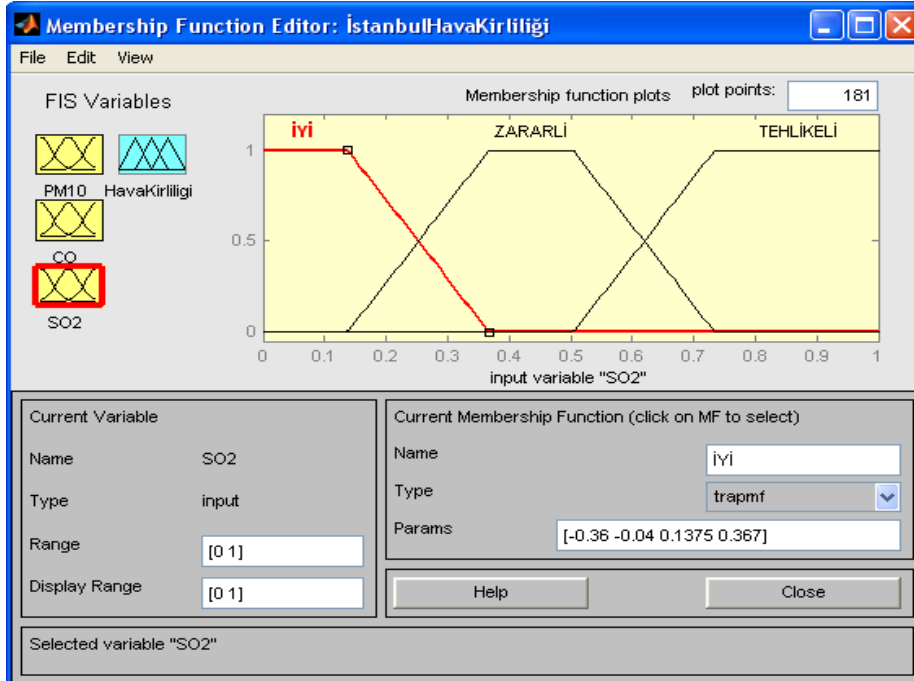
Çalışmamızda SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO ve NO<sub>2</sub> giriş değişkenleri ve AQI çıkış değişkeni için oluşturulan üyelik fonksiyon değerleri, sırasıyla aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. (Şekil.4.3 a.b.c.d.)



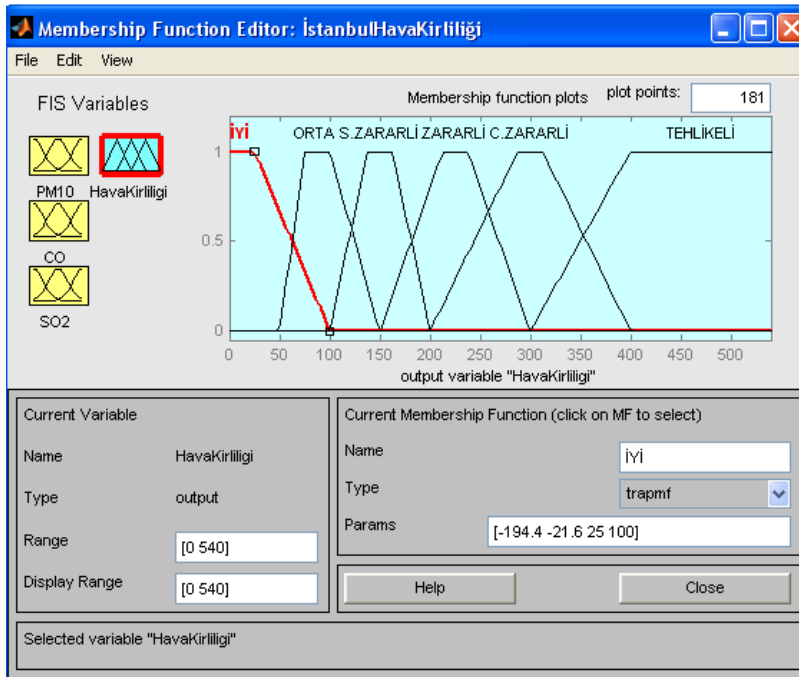
Şekil 4.3a. PM<sub>10</sub> üyelik fonksiyon değerleri.



Şekil 4.3b. CO üyelik fonksiyon değerleri.

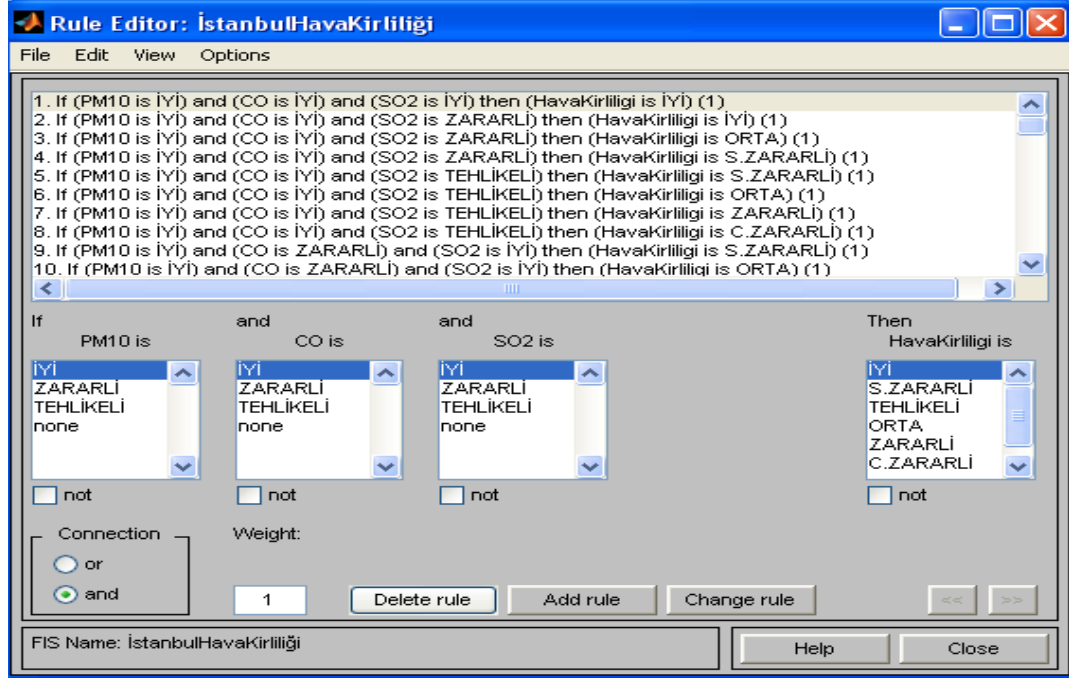


Şekil 4.3c. SO<sub>2</sub> üyelik fonksiyon değerleri.



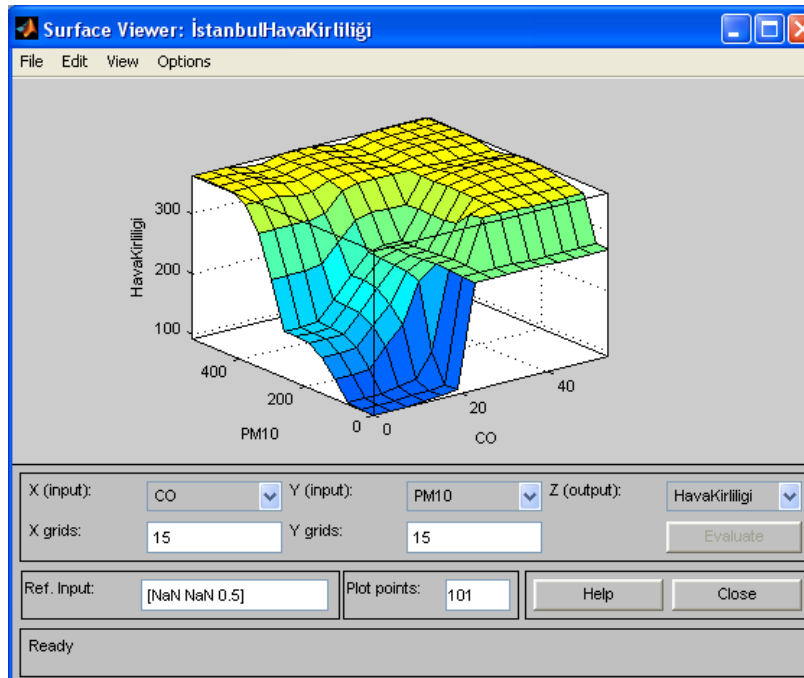
Şekil 4.3d. Hava Kirliliği üyelik fonksiyon değerleri.

Giriş ve çıkış değerlerini kullandığımız kuralları gösteren ve 324 kuraldan oluşan kural editörü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

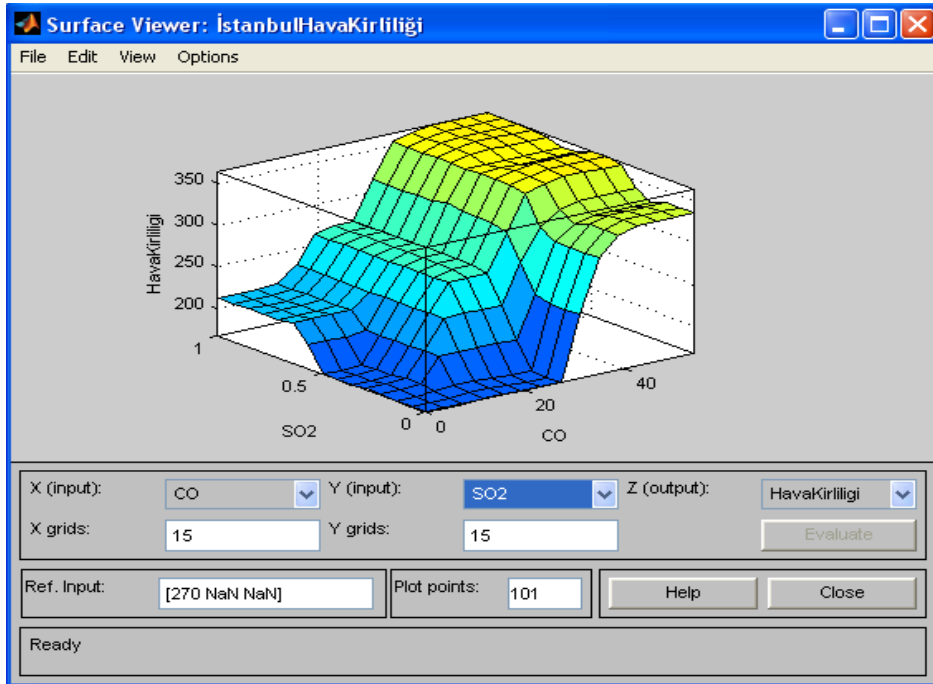


Şekil 4.4 Kural editör ekranı.

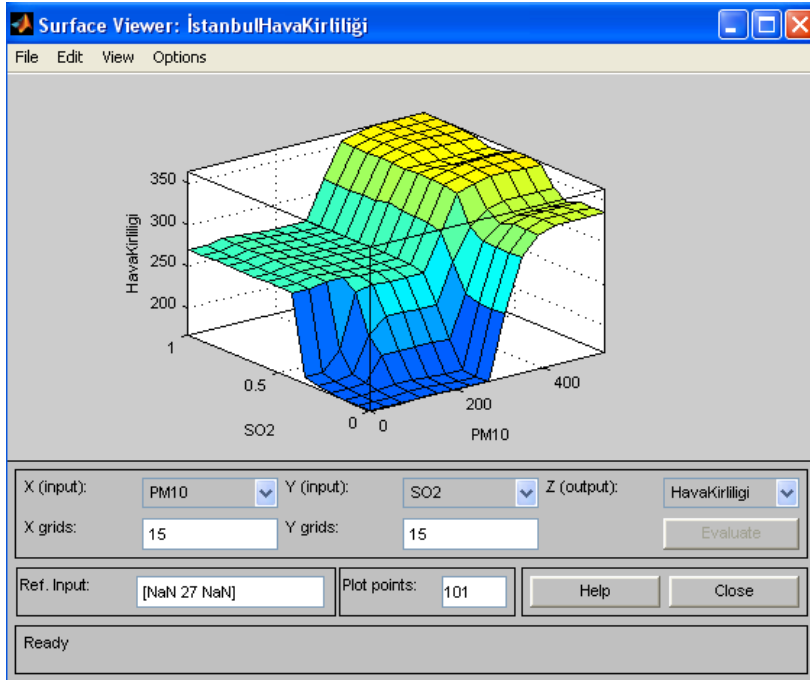
Herbir ikili giriş parametresine karşılık, çıkış parametresini gösteren üç boyutlu grafik arayüzleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil.4.5 a.b.c.).



Şekil 4.5a. CO – PM<sub>10</sub> için grafik arayüzleri.

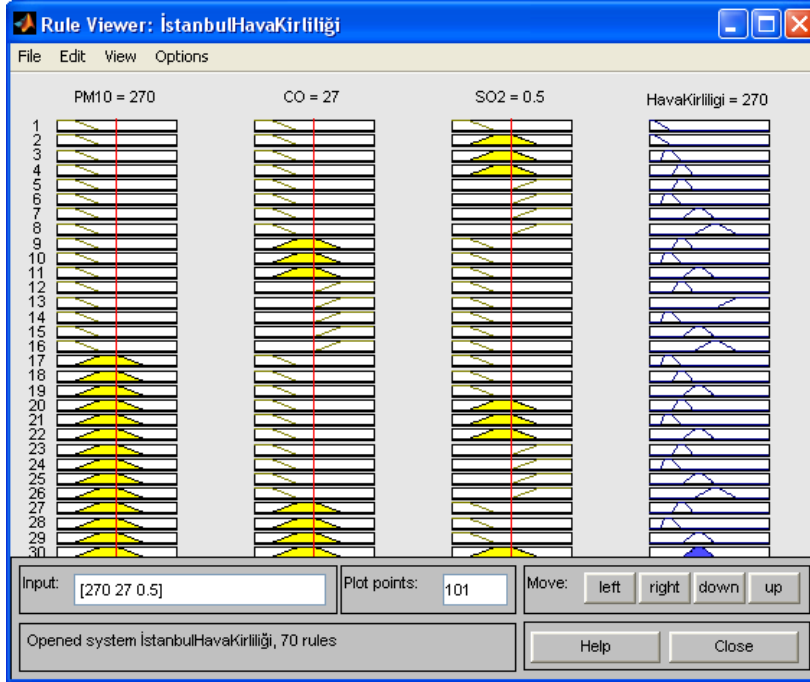


Şekil 4.5b. CO – SO<sub>2</sub> için grafik arayüzleri.

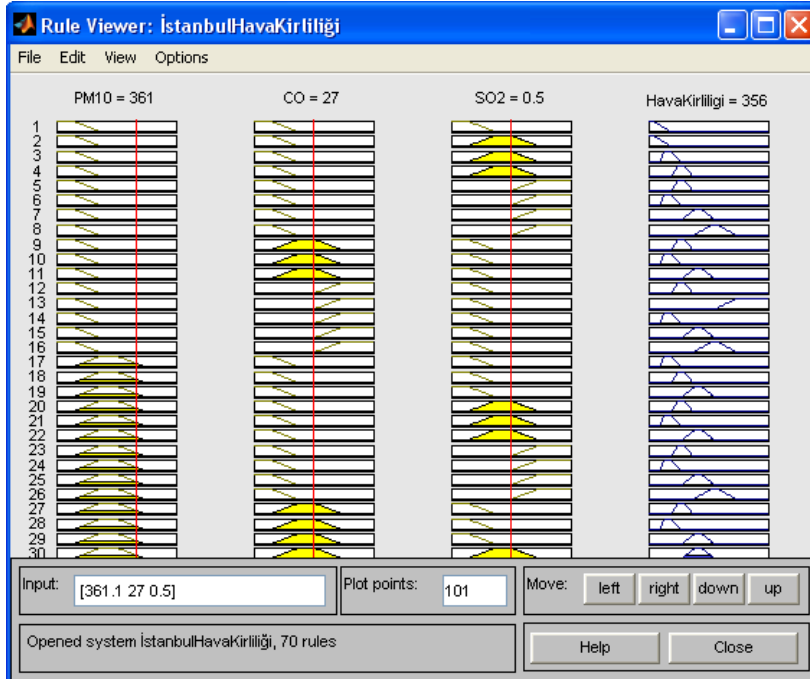


Şekil 4.5c. PM<sub>10</sub> – SO<sub>2</sub> için grafik arayüzleri

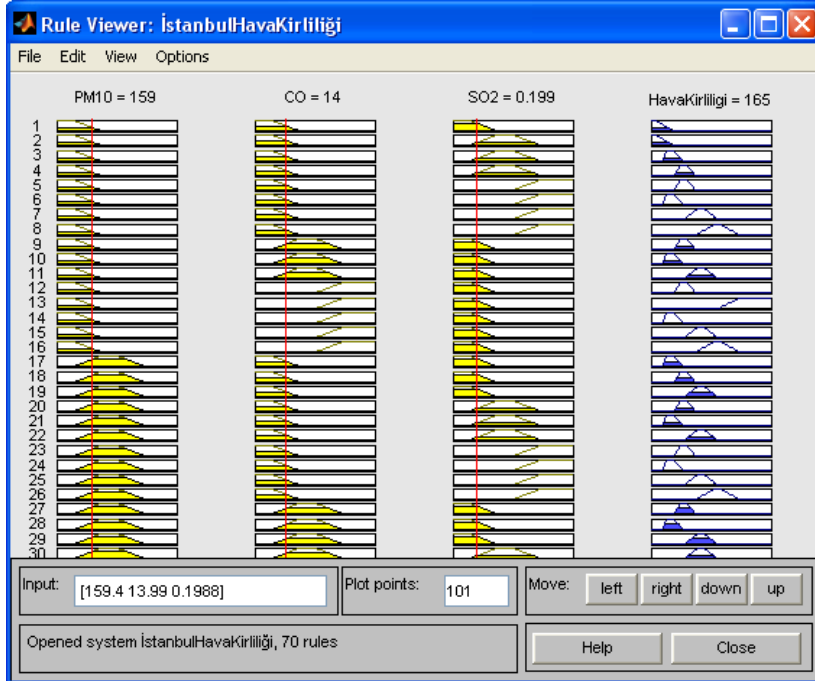
Yukarıda bulanık mantık modelinin, bulanıklaştırmaya (Fuzzycifation) ait tüm aşamalarına bağlı olarak elde edilen berraklaştırma (Defuzzycifation) işlemine ait arayüz ekranları beş çeşit berraklaştırma yöntemi için aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



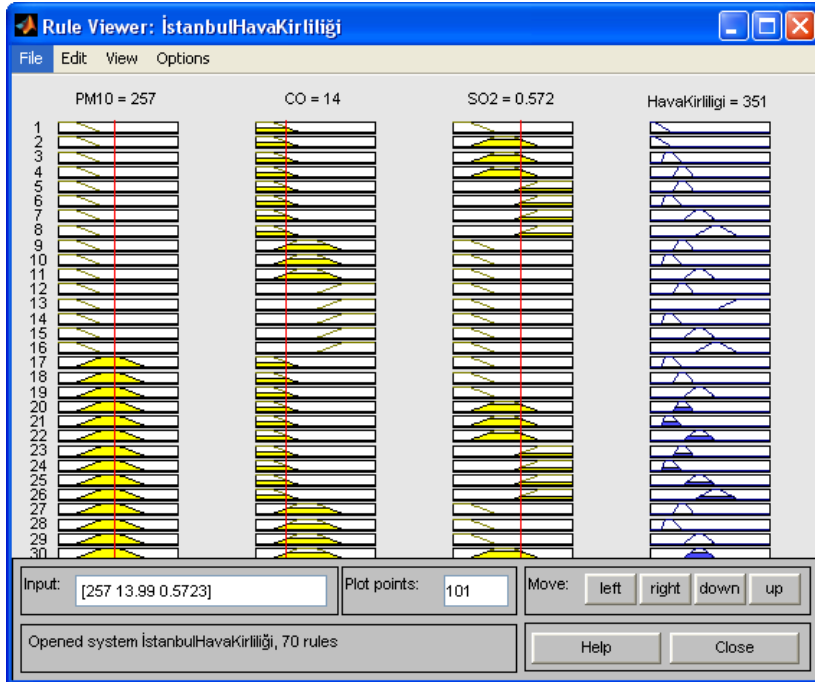
Şekil 4.6a. Centroid berraklaştırma.



Şekil 4.6b. Bisector berraklaştırma.



Şekil 4.6c. Mom berraklaştırma.



Şekil 4.6d. Lom berraklaştırma.

## 5. BULANIK MODELİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Doğa olaylarını açıklamak için kullandığımız matematiksel yöntemlerin ve modellerin yararı, gücü ve heybeti tartışılmaz. Ancak, matematiğin kesin deterministik niteliğinin uygulamada gerçeğe çoğunlukla uymaması, yüzyıllar boyunca bilim adamlarını ve düşünürleri uğraştırmıştır. Matematiksel temsiller, evrenin karmaşıklığı ve sınırsızlığı karşısında daima yetersiz ve çok yapay kalmaktadır. Bu nedenle, doğa olaylarını açıklarken, çoğunlukla, kesinliği değil, belirsizliği kullanırız.

Kesinlik, modellenen doğa olayının matematiksel yapısının ve parametrelerinin iyi bilindiğini varsayar. Matematiksel bir modelde doğru-yanlış, evet-hayır, iyi kötü, ak-kara, vb ikilemleri açıklamak mümkündür.

Ama evreni ya da onun bir parçasını hangi matematik modelle temsil etmeye muktediriz?

Doğal diller, doğa olaylarını açıklamakta çoğunlukla iki değerli mantığa dayalı matematiksel modellerden daha etkilidir. Örneğin, “bu gün hava güzeldir – değildir” ikilemi, hemen her konuşma dilinde kavurucu çöl sıcaklığından başlayıp, dondurucu kutup soğuluğuna kadar varan derecelendirmeyi anlatabilir. ”Bugün hava güzeldir” deyimini tatilini bir yaz günü plajda” geçiren kişi için başka, bir kış günü kayak merkezinde geçiren kişi için başkadır. Yer ve zamana bağlı olarak farklı anlamlara sahip olan bu deyim, hemen hemen her söylenişinde istenen anlamı verir. İki-değerli mantığın kesinliğine sahip olmayan doğal dil, bir doğa olayını ondan daha iyi anlatabilmektedir. Bu olgu, mantığı ve matematiği yeni arayışlara itmektedir. Fuzzy Kümeleri ve onun doğal yoldaşı olan Fuzzy Mantığı bu arayışlardan birisidir.

Geleneksel matematikteki kesinlik deyimini yerine, Fuzzy mantığında belirsizlik deyiminin konulması, belki doğal bir talihsizliktir. Gerçekte Fuzzy Kümelerinde belirsiz (fuzzy-bulanık) olan hiç bir şey yoktur. O, belirsizliği, bulanıklığı inceleme peşindedir.

Günümüzde İstanbul da hava kalitesi ölçümleri hergün yapılmaktadır. Çalışmamızda İ.B.B Çevre Koruma Müdürlüğünden edindiğimiz 2002-2009 yılları arasındaki, hava kirliliği parametrelerinin ölçüm değerleri ile, birbirleri arasındaki korelasyon ilişkisi incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Parametreler arasındaki korelasyon ilişkisi.

		SO2	PM10	CO
SO2	Pearson Correlation	1	,609**	,824**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000
	N	96	96	96
PM10	Pearson Correlation	,609**	1	,717**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000
	N	96	96	96
CO	Pearson Correlation	,824**	,717**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	
	N	96	96	96

Her bir korelasyon matrisi, belirli bir zaman periyodundaki iki değişkenin arasındaki ilişkiyi gösterir. İlişkinin gücü konusunda korelasyon katsayısı yorumlanırken, genelde şu şekilde bir sınıflandırma yapılır (Özdamar, K., 2002).

- 0,0 – 0,2 çok zayıf korelasyon,
- 0,2 – 0,4 zayıf, düşük korelasyon,
- 0,4 – 0,7 ılımlı ya da dikkate değer korelasyon,
- 0,7 – 0,9 güçlü, yüksek korelasyon,
- 0,9 – 1,0 çok güçlü korelasyon.



Buradan hareketle;

SO<sub>2</sub> ile PM<sub>10</sub> değişkenleri arasında 0,609 ılımlı yada dikkate değer korelasyon SO<sub>2</sub> ile CO değişkenleri arasında 0,824 güçlü, yüksek korelasyon, PM<sub>10</sub> ile CO değişkenleri arasında 0,717 ılımlı yada dikkate değer korelasyon vardır. Buradan hareketle SO<sub>2</sub> ile CO değişkenleri arasındaki kuvvetli ilişimden dolayı, bu iki parametre daha çok hava kirliliği üzerinde etkili olmaktadır. Modelimizde de diğer kirletici parametreleri, modelin daha iyi anlaşılabilmesi açısından ele almadık.

Modelde kullanılan bulanık mantık berraklaştırma yöntemlerindeki karşılaştırma Tablo 5.2' de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Berraklaştırma yöntemlerinin karşılaştırması.

Parametreler	Berraklaştırma Yöntemleri			
	Centroid	Bisector	Mom	Lom
PM <sub>10</sub>	50	50	50	50
	150	150	150	150
	25	25	25	25
CO	18	18	18	18
	36	36	36	36
	2,69	2,69	2,69	2,69
SO <sub>2</sub>	0.367	0.367	0.367	0.367
	0.667	0.667	0.667	0.667
	0.125	0.125	0.125	0.125
Hava Kirliliği İndeksi	97.1	97.0	94.5	189
	356	354	365	540
	33,5	32,4	10,8	21,6

Bulanık mantık modelimizde, kullanılan berraklaştırma yöntemleri ile, farklı hava kirliliği indeksi değerleri almaktayız. Aynı değerdeki kirletici parametreleri için, alınan hava kirliliği indeksi değerlerinden, Centroid ve Bisector berraklaştırma yöntemleri gerçeğe en yakın sonuçları bize vermektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bulanık mantığın hava kirliliği modellemesinde oldukça başarılı sonuçlar verdiği ortadadır. Bu başarının en önemli faktörü veri tabanıdır. Veri tabanı ne kadar geniş ve çeşitli ise modelin genelleme kabiliyeti de o kadar iyi olmaktadır. Kullanılan girdi parametrelerinin sayısı arttığında modelin başarısı da belirgin bir şekilde artmaktadır. Aynı zamanda veri setinde değerlerin bütünlüğü de modelin başarısında önemli rol oynamaktadır. Klasik istatistiksel ve fonksiyonel modelleme tekniklerinde olduğu gibi hiçbir ön şart gereksinimi olmadan ağ modellerinin çeşitli durumları iteratif yöntemlerle birkaç parametre kullanılarak sınanmakta ve genelleme kabiliyeti en yüksek model ortaya çıkmaktadır. Veri tabanının miktar ve kalite bazında genişletilmesi yanında diğer kirlletici parametrelerinin modele dahil edilmesiyle çok daha iyi sonuçlar alınabilir. İstanbul'da kullanılan kömür, fuel oil, doğalgaz gibi yakıtların günlük kullanım miktarlarının yanı sıra motorlu taşıtların durumu da hava kirliliğini etkileyen parametreler arasındadır. Bu parametrelerin de modele katılmasıyla kirliliğin kaynak bazındaki etkileri de ele alınmış olur ve daha hassas sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan veri setinin genişletilmesiyle daha başarılı sonuçlar elde edilebilir. Bunun yanında meteorolojik faktörlerin de modele dahil edilmesi model başarısını büyük ölçüde etkileyecektir.

Model veri miktarı ve parametre sayısı bakımından ne kadar geniş tabanlı olursa verdiği sonuçlar da o kadar güvenilir olur. Ancak Bulanık mantık ile çalışmanın en büyük zorluğu yüksek hesap kapasitesine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu çalışma sırasında yapılan bazı eğitime iterasyonlarının sonuca ulaşması çok uzun zaman almıştır.

## KAYNAKÇA

Bakshi BR, Utojo U (1999) Anal Chim Acta 384:227–247

Boznar, M., Lesjak, M. and Mlakar, P.: (1993) ‘A neural network-based method for short-term predictions of ambient SO<sub>2</sub> concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain’, Atmosph. Environ. B27(2), 221–230.

Collet, R.S., Oluyemi, K., (1997). Air quality modeling: a technical review of mathematical approaches. Meteorological Applications 4, 235–246.

Eagleman Joe R. (1991) Air Pollution Meteorology, Trimedia Publishing Company, 1991

Mayer, H., (1999). Air pollution in cities. Atmospheric Environment 33, 4029–4037.

Taş, Ü., ‘Fizyolojik Sistemlerin Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Modellenmesi Ve Kontrolü İçin Eğitim Amaçlı Bir Simülâtör Tasarımı’, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2009).

Tektaş, M.;Akbaş,A.;Topuz,V., ‘Yapay Zeka Tekniklerinin Trafik Kontrolünde Kullanılması Üzerine Bir İnceleme’, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongre ve Fuarı , Ankara, Ağustos -2002 .

Tektaş, M.;Tektaş,N.;Topuz, ‘Teknoloji Eğitiminde Yapay Zeka’, IV.Uluslararası Eğitim Teknolojileri Sempozyumu, Sakarya, Kasım 2004.

Topuz, V.; Akbaş, A.;Tektaş, M., ‘Boğaz Köprüsü Yolunda Katılım Noktalarında Trafik Akımlarının Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Kontrolü ve Bir Uygulama Örneği’, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi ve Fuarı , Ankara, Ağustos -2002.

Pedrycz, W., Fuzzy Control and Fuzzy Systems second edition, 1993.

Ziomass, I.C., Dimitrios, M., Christos, S.Z., Alkiviadis, F.B., (1995). Forecasting peak pollutant levels from meteorological variables. Atmospheric Environment 29 (24), 3703–3711.

ÖZDAMAR, K., ‘Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi’, Kaan Kitapevi, Eskişehir, 2002.

Şen, Z., Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Modelleme İlkeleri, 1999.

Wark K., Warner C.F., (1981) "Air Pollution, Its Origin And Control", 2<sup>nd</sup>. Edition, Harper and Row Publishers, New York.

Zimmermann, H.-J., Fuzzy Set Theory and Its Application third edition, 1996.