

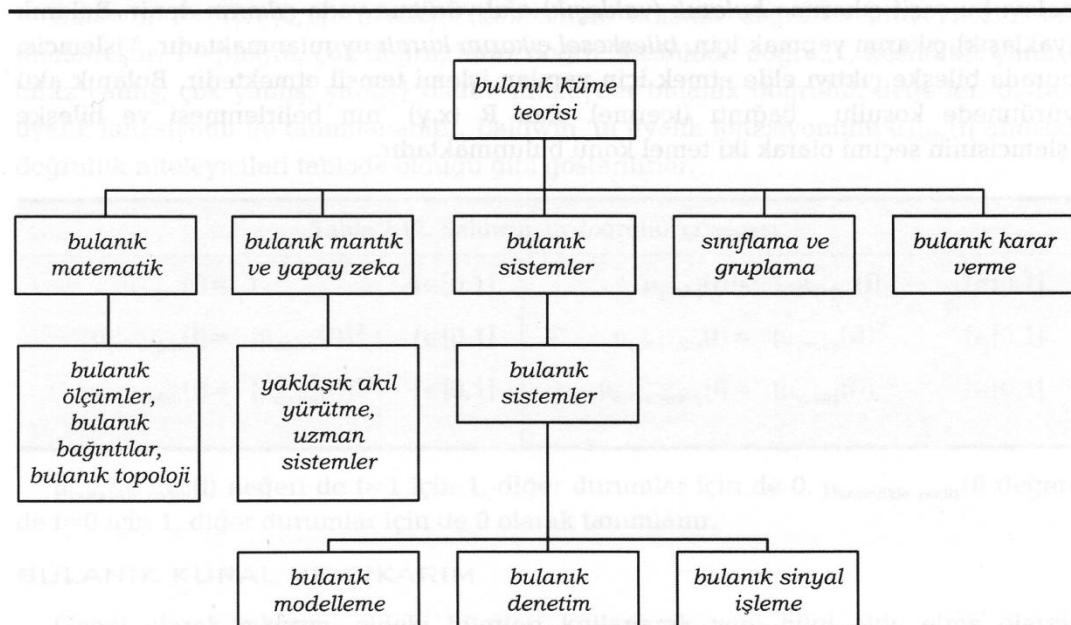
# 7.Bulanık Mantık Uygulama Alanları

## GENEL SINIFLAMA

Bulanık mantıkla ilgili yöntem ve tekniklerin yaygın olarak kullanıldığı temel konular görüntü işleme, sinyal işleme, denetleyici sistemler, uzman sistemler, veritabanları, veri madenciliği olarak sıralanabilir.

Aslında, bulanık mantık uygulamalarının sınıflamasında da bir bulanıklık vardır. Bazı kaynaklarda bulanık mantık uygulamaları sınıflama, içerme (koşullu önerme), denetim olarak geçmektedir. Bu kaynaklarda bulanık sınıflama, bulanık gruplama ve bulanık örüntü tanımlama alanlarını içermektedir.

Bulanık içerme, bulanık modus ponensin bazı uygulamalarını ifade ederken, bulanık denetim tipik olarak kapalı ya da açık geri besleme döngüsünü içermektedir. Burada çıkışım başlığıyla bulandırma, çıkışım ve durulama sistemiğine bağlı sistemler sınıflandırılmaktadırlar. Bulanık denetleyici sistemlerin de, temel denetleyiciler, kurala dayalı açık ve kapalı döngü sistemleri, kendi kendine öğrenen sistemler, modele dayalı ve uyarlamalı sistemler, hibrid sistemler, hiyerarşik ve gözetimli sistemler gibi alt alanları bulunmaktadır.



**Şekil 2.2.** Bulanık mantık ve uygulamaları için bir sınıflama önerisi

Bazı kaynaklarda veri analizinde kullanılan bulanık teknikler bulanık gruplama, bulanık sınıflama, bulanık modelleme ve tanımlama gibi alt başlıklar olarak sınıflandırılmaktadır.

Çoğu yaklaşımın birden fazla teknik kullanabilme ve durumların özgüllüğünü teknikler arasındaki sınırları da bulanıklaştırmıştır. Bu da sınıflandırmayı zorlaştırmaktadır.

Zaman içerisinde bulanık mantığın uygulama alanları konusunda belirgin bir kayma ortaya çıkmıştır. Başlangıçta bulanık kümeler geleneksel yapay zeka karar destek sistemlerinin kırılganlığını çözümlemek amacıyla, kurala dayalı sistemlerle bütünleştirilmiştir. Sonraki dönemde ise bulanık sınıflama ve örüntü tanıma yöntemleri kullanılmaya başlanmış, hibrid sistemler gündeme gelmiş ve bütünsel sistemlerde bulanık mantığın değeri daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır.

Bulanık mantık ve uygulama alanları ile ilgili olarak hazırladığımız bu ilk uygulama kitabımda uzman sistemler, denetleyiciler, hibrid yumuşak bilgişim yaklaşımları, bundan sonraki uygulama kitabında ise verilerin değerlendirilmesi ile ilgili olarak bulanık örüntü tanıma tekniklerini ve ilişkili alanlarını açıklayacağız.

## **UZMAN SİSTEMLER**

Uzman sistemlerde bulanık kümeler, birincil olarak insan bilgisinin içeriğinin biçimsel olarak tanımlanması için uygulanmaktadır. Bu sistemlerle elektronik veri işleme sistemleri ile deneyimsel insan bilgisini işlemek mümkün olabilmektedir.

Uzman sistemler bilgi edinimi, bilgi sunumu, bilgi işleme ve çeviri işlevlerini içermektedir. Uzman bilgisi temel kitaplardan ya da eğitim örnekleri aracılığı ile edinilmektedir. Bilgi sunumu normal olarak bilgi tabanı da denilen kurallar aracılığı ile gerçekleşmektedir. Bağlamsal bilgi işleme, bir çıkışım motoru ile gerçekleştirilmektedir. Çıçakım motoru sözel bilgiyi işleyebilir. Girdi yanında, sayısal bilgi de mümkün olabildiğince sözel şeke çevrilir (bulandırma). Çıktı yanında ise, özel üyelik fonksiyonları, ya sayılarla (durulama) ya da sözel ifadelere (sözel yaklaştırma) çevrilmektedir.

Bulanık mantık yöntemleri kullanan uzman sistemlerde, yaklaşık algoritmik işlevler insan bilgisi ile yer değiştirmektedir. Bu tip sistemler güncel olarak bulanık denetleme, bulanık veri analizi, karar destek sistemleri gibi alanlarda kullanılabilmektedir.

## **ÖRÜNTÜ TANIMA**

Elde edilen verilerden anlamlı sonuçlara ulaşılabilmesi için örüntü tanımada kullanılan iki yaklaşım gruplama ve sınıflamadır.

Gerçek dünyada sınıflar birbirinden tamamen ayrik değil, üst üste örtüşen yapılar şeklindedir. Bu da belirsizliği arttırır. Bu durumda bulanık gruplama ve sınıflama teknikleri yararlı olur. Bulanık gruplar kesin sayısal tanımlamalardan ziyade, sözel değişkenler olan girdi verinin özelliklerinin analizi için yararlıdır.

## BULANIK GRUPLAMA

Gruplamanın amacı veriyi birkaç alt grubu bölebilmektir. Gruplama algoritmaları temel olarak verinin çok sayıda alt grubu parçalanması ile ilişkilidir. Her alt gruptaki elemanlar olabildiğince birbirlerine benzer. Diğer yandan, farklı gruplardaki elemanlar birbirlerinden olabildiğince farklıdır. Verilen her sınırlı veri grubu için, gruplamanın maksadı, verilen veri kümesi içindeki alt grupları tanımlayan nesne etiketlerini atamaktır. Veri etiketsiz olduğu için, bu yaklaşım sıkılıkla *gözetimsiz öğrenme* olarak tanımlanır. Yani, öğrenme alt gruplar için etiketler düzenlenmesidir.

Gruplama işlemlerinde çeşitli algoritmik yöntemler kullanılır. Sınıflayıcılar geliştirilebilmek için farklı yaklaşımlar ileri sürülmüştür: Bunlar tekrarlayıcı, toplayıcı (agglomerative) hiyerarşik ve bölücü hiyerarşik gruplama olarak sınıflandırılabilir.

Gruplamanın ilk amacı, veri grubunda içeren örüntülerin bulmaktır. Bu örüntüler genellikle atanan veri gruplarından elde edilen nesneleri sınıflandırır. Henüz bir sınıf ataması yapılmamış nesneler gruplama ile bulunan sınıflayıcıları kullanan sınıflara atanırlar. Klasik gruplama her nesneyi kesin olarak bir sınıfa atarken, bulanık gruplamada nesneler farklı sınıflara farklı üyelik dereceleri ile atanmaktadır.

*Tekrarlayıcı gruplama* olgularında, grup merkezleri tekrarlayıcı olarak geliştirilir. Bulanık mantıkta kullanılan tekrarlayıcı algoritma bulanık c-ortalamalandır.

Hiyerarşik yöntemler olası parçaların bir hiyerarşisini üretir. Burada da iki yaklaşım olasıdır. Başlangıçta her nesne kendi grubunu temsil eder. Sonra arzu edilen gruplar elde edilene kadar şekilde birleştirilirler. Bu süreç *toplayıcı hiyerarşik gruplama* olarak bilinir.

İkinci yaklaşım tarzına göre, tüm nesneler başlangıçta tek bir gruptadır. Sonra anlamlı grup yapıları oluşturacak şekilde yeni alt gruplar oluşturulurlar. Bu süreç *bölücü hiyerarşik gruplama* adını alır ve kısaca bulunan grupları alt gruplara bölgerek çalışır.

## **BULANIK SINIFLAMA**

Her veriye bir etiket verilmesine dayanan sınıflama yöntemi her veri grubuna bir etiket verilmesine dayanan gruplamadan ayrıılır. Sınıflama ile gruplama arasındaki fark gruplama algoritmaların verilen veri grubunu ( $X \in \mathbb{R}^p$ ) etiketlemesi, buna karşılık, sınıflayıcının her veri noktasını (tüm  $\mathbb{R}^p$  uzayında) etiketleyebilmesidir.

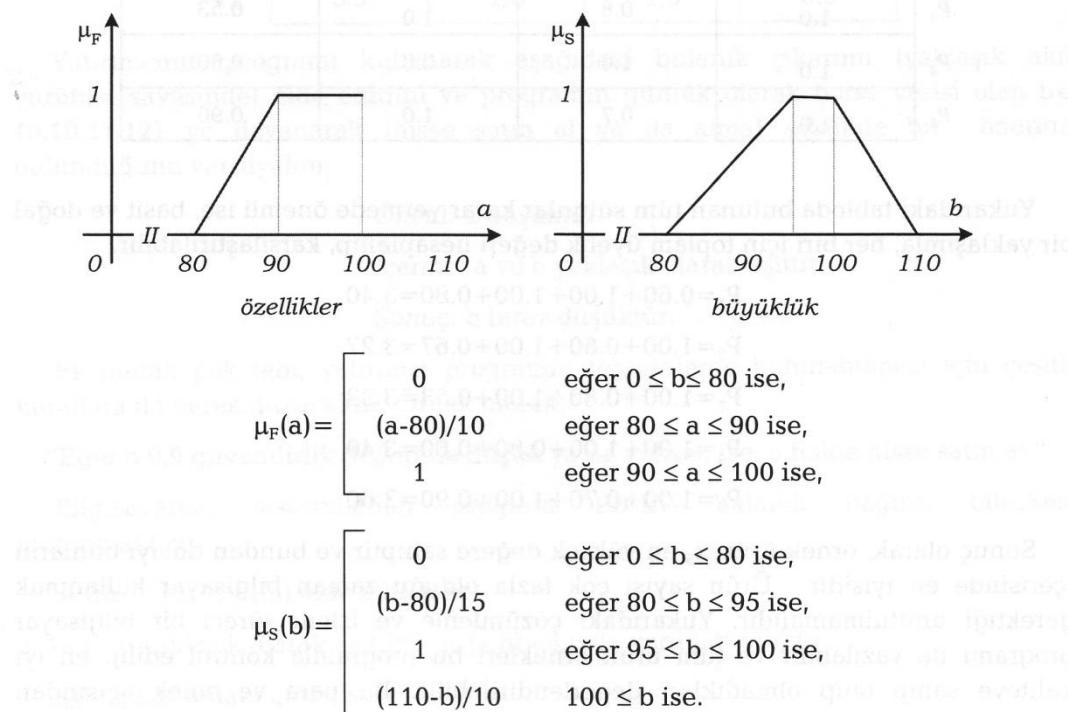
Genellikle sınıflayıcılar etiketlenmiş veri ile (gözetimli öğrenme) tasarımlanır. Bölümleme karar fonksiyonları, işlemsel olarak açık diskriminant fonksiyonları, en yakın prototip kurallar veya saklı çok katmanlı algılamalar veya k-en yakın komşu kuralı olabilir. Bulanık gruplama gibi, bulanık sınıflama, benzer sınıflar arasındaki birden fazla gruba üye olma özelliğinin tipik sonuçlarına sahiptir.

## ÜRÜN KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ürün kalitesinin değerlendirilmesi bulanık mantığın uygulama alanlarından birisidir. Kalite değerlendirme genel olarak endüstriyel ürün sürecindeki en son fakat en önemli süreçtir. Endüstriyel ürünlerin kalitesinde özellikle yeni ürün üretim aşamasında kalitede bazı sapmalar olduğundan dolayı, kalite değerlendirme ve denetleme üretim sürecinin en önemli adımlarından birisidir.

Günümüzde, kalite değerlendirme süreçlerinde "çok iyi", "oldukça kötü" gibi szel terimler kullanmaktadır. Bir ürünün iyi kaliteye sahip olup olmadığı insan uzman tarafından öngörülen bazı ölçtlere bağlıdır.

Örnek olarak, tasarılan ürünün renk, biçim, ağırlık ve kullanılan madde gibi özellikleri ile ürünün büyülüğu ( $x$ ,  $y$ ,  $z$  boyutları) 'nın kalite değerlendirmede incelendiğini kabul edelim. Aşağıda ürün kalitesini değerlendirmede kullanılan özellikler ve büyülüğünün büyülüğün üyelik fonksiyonları gösterilmektedir.



Yukarıdaki kalite üyelik fonksiyonlarının kalite değerlendirme ve denetleme için nasıl kullanıldığını görebilmek için beş örnek içeren bir kümeyi ele alalım. Bu kümedeki ürünlerin özelliklerinin değerleri ile X-Y-Z büyülüklükleri tabloda verildiği gibi olsun. Örnek ürün seti  $A=\{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5\}$  olsun.

	Özellikler (a)	X büyülügü(b <sub>x</sub> )	Y büyülügü (b <sub>y</sub> )	Z büyülügü (b <sub>z</sub> )
P <sub>1</sub>	86	97	95	102
P <sub>2</sub>	98	89	98	90
P <sub>3</sub>	90	92	96	88
P <sub>4</sub>	96	96	102	104
P <sub>5</sub>	90	103	100	101

Yukarıda verilen üyelik fonksiyonlarına göre, karşılık gelen üyelik değerleri şekildekİ aşağıdaki gibi elde edilmiş olsun.

	Özellikler μ <sub>F</sub> (a)	X büyülügü μ <sub>S</sub> (b <sub>x</sub> )	Y büyülügü μ <sub>S</sub> (b <sub>y</sub> )	Z büyülügü μ <sub>S</sub> (b <sub>z</sub> )
P <sub>1</sub>	0.6	1.0	1.0	0.80
P <sub>2</sub>	1.0	0.6	1.0	0.67
P <sub>3</sub>	1.0	0.8	1.0	0.53
P <sub>4</sub>	1.0	1.0	0.8	0.60
P <sub>5</sub>	1.0	0.7	1.0	0.90

Yukarıdaki tabloda bulunan tüm sütunlar karar vermede önemli ise, basit ve doğal bir yaklaşımla, her biri için toplam üyelik değeri hesaplanıp, karşılaştırılabilir.

$$P_1 = 0.60 + 1.00 + 1.00 + 0.80 = 3.40$$

$$P_2 = 1.00 + 0.60 + 1.00 + 0.67 = 3.27$$

$$P_3 = 1.00 + 0.80 + 1.00 + 0.53 = 3.33$$

$$P_4 = 1.00 + 1.00 + 0.80 + 0.60 = 3.40$$

$$P_5 = 1.00 + 0.70 + 1.00 + 0.90 = 3.60$$

Sonuç olarak, örnek ürün x<sub>5</sub> en yüksek değere sahiptir ve bundan dolayı bunların içerisinde en iyisidir. Ürün sayısı çok fazla olduğu zaman bilgisayar kullanmak gereki̇gi̇ unutulmamalıdır. Yukarıdaki çözümleme ve işlem süreci bir bilgisayar programı ile yazılabilir ve tüm ürün örnekleri bu programla kontrol edilip en iyi kaliteye sahip olup olmadıkları değerlendirilebilir. Bu para ve emek açısından oldukça tasarruf sağlayacaktır.

## YATIRIM İÇİN KARAR VERME

Hisseler için basit bir e-ticaret yazılım modeli örnek olarak verilebilir. Bir yatırımcının satın aldığı belirli bir hisse hakkında kendisine günlük veri sağlayan basit bir program yazmak istediği düşünelim.

Olası bir yol şu şekilde olabilir. Yatırımcının yeterli tarihsel veriyi değerlendirmiş olduğu ve  $A=[0,13]$  aralığında hisse değerleri için "hisse indeksi düşük" şeklinde sınırlar belirlediğini kabul edelim;

$$\mu_A(a) = \begin{cases} 1.0 & \text{eğer } 0 \leq a \leq 10 \text{ ise,} \\ 0.7 & \text{eğer } 10 < a \leq 12 \text{ ise,} \\ 0.3 & \text{eğer } 12 < a \leq 13 \text{ ise,} \\ 0.0 & \text{eğer } 13 < a \text{ ise.} \end{cases}$$

$a \in A$  ve önceden kararlaştırılmış referans indeksler listesi  $A=\{9,10,11,12\}$  üyesi olmak üzere, R bunlara arasında bir bulanık bağıntı olsun. Üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi olsun.

	$0 \leq a \leq 10$	$10 < a \leq 12$	$12 < a \leq 13$	$13 < a$
9	1.0	0.8	0.3	0.0
10	1.0	0.9	0.7	0.3
11	0.8	1.0	0.9	0.7
12	0.5	1.0	1.0	0.9

Yatırımcının programı kullanarak aşağıdaki bulanık çıkarımı (yaklaşık akıl yürütme sayesinde) elde ettiğini ve programın günlük olarak borsa verisi olan  $b \in \{9,10,11,12\}$  ye dayanarak (hisse satın al ya da alma) şeklinde bir öneride bulunduğu varsayıyalım;

*Öncül:* a düşüktür.

*İçerme:* a ve b yaklaşık olarak eşittir.

*Sonuç:* b biraz düşüktür.

Ek olarak pek tabi, yatırımcı programın tahminlerde bulunabilmesi için çeşitli kurallara da gerek duyacaktır. Örnek olarak;

"Eğer b 0,9 güvenilirlik değeri ile düşük ya da yüksek ise, o halde hisse satın al."

Bilgisayarda, tasarımlanan program EB-EK bulanık bağıntı bileşkesi kullanmaktadır.

1. "A düşüktür" :  $\mu_A(a)$  elde edilebilir.
2. "a ve b yaklaşık olarak eşittir" :  $\mu_R(a,b)$  tabloda verildiği gibidir.
3.  $\mu_B(b)$  çıkarımdaki gibi olsun;

$$\mu_B(b) = EB\{EK\{\mu_A(a), \mu_R(a,b)\}\}$$

Eğer b=11 ise sonuç,

$$\mu_B(11) = EB\{EK\{1.0, 0.8\}, EK\{0.7, 1.0\}, EK\{0.3, 0.9\}, EK\{0.0, 0.7\}\}$$

$$\mu_B(11) = EB\{0.8, 0.7, 0.3, 0.0\}$$

$$\mu_B(11) = 0.8$$

olur. Bundan dolayı program aşağıdaki öneride bulunur;

"0,8 güvenilirlik derecesi ile eşik altında. Bugün hisse senedi alma."

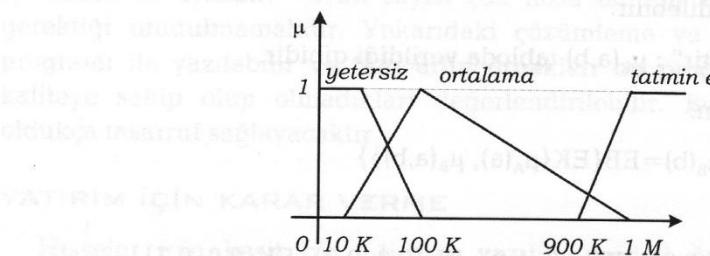
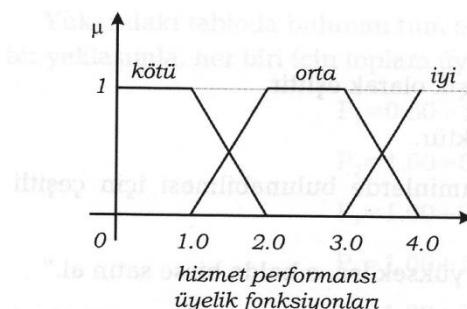
Bu sonuç, yatırımcının önceden belirlediği eşiklere ve karar vermede kullandığı kuralları nasıl seçtiğine bağlıdır. Bu basitleştirilmiş örnek son kararın yine de insan tarafından verileceği, bilgisayarın arada insanı iş yükünden kurtaran bir araç olarak rol aldığı bir örnektir.

## PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Bir şirketin iş performansını kesin bir şekilde değerlendirebilmek kesin ölçütleri olmadığı ortadadır. Bu durumda mükemmel, çok iyi ya da yetersiz gibi tanımlamalar kullanılır. Performansın sayısal değerlerle ifade edilememesinin nedenlerinden birisi de budur. Ayrıca iki şirketten hangisinin daha iyi olduğunu karşılaştırmak, sayısal olarak değerlendirilecek değerlere dayanan performans değerlendirmeleri ile de oldukça zordur. Benzer problemler şirket çalışanlarının performansını değerlendirmede de söz konusudur. Sözel olarak tanımlanmış performans değerlendirme işlerini yerine getirmede bulanık mantık yardımcı olabilmektedir.

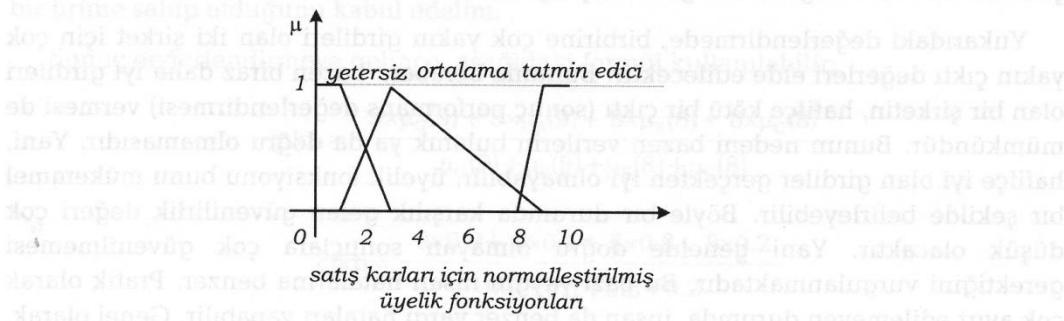
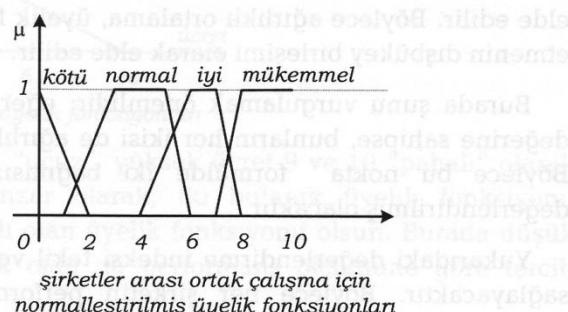
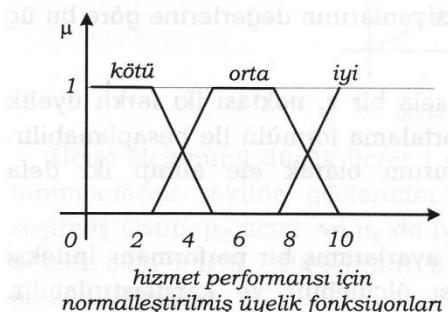
## Problem formülasyonu

Bir şirketin iş performansını hizmet performansı (müşteri geri beslemeleri) , diğer şirketlerle ortak çalışma ve satış karlılıklarından tanımlayan üç üyelik fonksiyonunun aşağıdaki gibi olduğunu kabul edelim.



*satış karları için üyelik  
fonksiyonları*

Burada farklı boyut ve birimlere sahip üç şekil bulunmaktadır. İlk olarak bunları sayısal bir ölçekte karşılaştırmayı sağlayacak şekilde (tercihen, hesaplamaya elverişli olması için aynı boyutlarda) birleştirilebilmek için normalleştirme yapılır. Bunun sonucundaki üyelik fonksiyonları da aşağıdaki şekilde olacaktır.



### **Performans değerlendirme fonksiyonu:**

Şirketin toplam performans indeksi,  $x_S \in X_S = [0,10]$ ,  $x_C \in X_C = [0,10]$ ,  $x_P \in X_P = [0,10]$  ve  $\mu = (x)$  karşılık gelen üyelik değerleri olmak üzere şu şekilde hesaplanır;

$$P_{\text{indeks}} = \frac{\mu_S(x_S) \cdot x_S + \mu_C(x_C) \cdot x_C + \mu_P(x_P) \cdot x_P}{\mu_S(x_S) + \mu_C(x_C) + \mu_P(x_P)}$$

Bu üç girdiden (hizmet performansı, şirketler arası ortak çalışma ve satış karlılığı) elde edilen çıktıyı (performans indeksi) belirlemede genellikle ağırlıklı ortalama kullanılır. Ağırlıklı ortalama formülü şu şekilde yazılabilir;

$$w_S = \frac{\mu_S(x_S)}{\mu_S(x_S) + \mu_C(x_C) + \mu_P(x_P)}$$

$$w_C = \frac{\mu_C(x_C)}{\mu_S(x_S) + \mu_C(x_C) + \mu_P(x_P)}$$

$$w_P = \frac{\mu_P(x_P)}{\mu_S(x_S) + \mu_C(x_C) + \mu_P(x_P)}$$

$$w_s + w_c + w_p = 1$$

olmak üzere;

$$P_{\text{indeks}} = w_s \cdot x_s + w_c \cdot x_c + w_p \cdot x_p$$

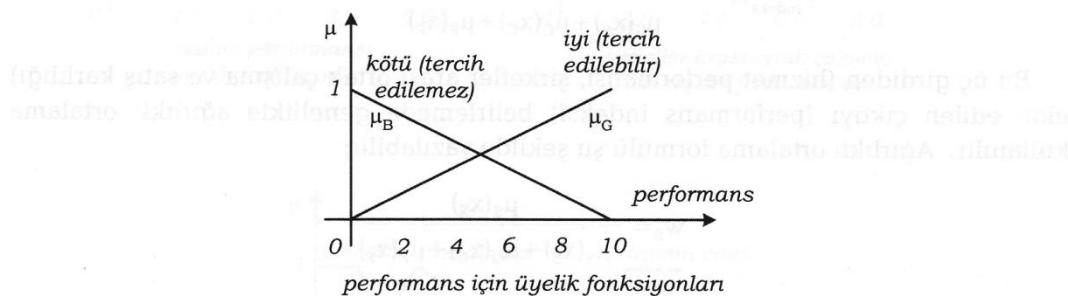
elde edilir. Böylece ağırlıklı ortalama, üyelik fonksiyonlarının değerlerine göre bu üç etmenin düşbükey birleşimi olarak elde edilir.

Burada şunu vurgulamak önemlidir; eğer mesela bir  $x_s$  noktası iki farklı üyelik değerine sahipse, bunların her ikisi de ağırlıklı ortalama formülü ile hesaplanabilir. Böylece bu nokta formülde iki bağımsız durum olarak ele alınıp iki defa değerlendirilmiş olacaktır.

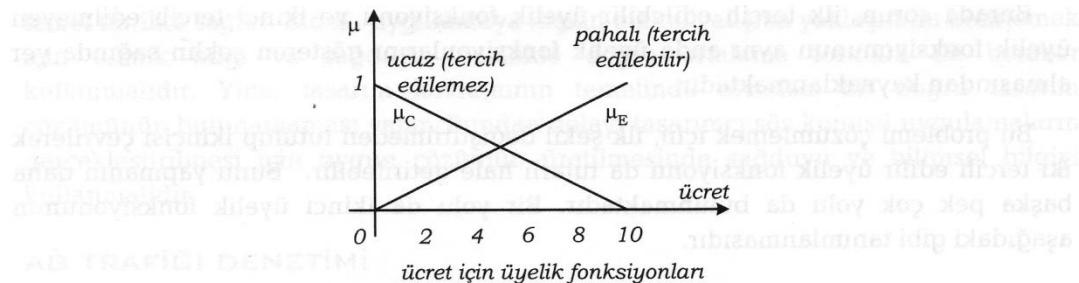
Yukarıdaki değerlendirme indeksi tekil ve iyi ayarlanmış bir performans indeksi sağlayacaktır. Böylece her şirketin performansı ölçülebilir ve karşılaştırılabilir. Yüksek performanslı şirketler önceden belirlenmiş eşik değerlere göre diğer şirketlerle indeks değerlerine göre karşılaştırılarak ödüllendirilebilirler.

Yukarıdaki değerlendirmede, birbirine çok yakın girdileri olan iki şirket için çok yakın çıktıları elde edilecektir. Bununla beraber, bazen biraz daha iyi girdileri olan bir şirketin, hafifçe kötü bir çıktı (sonuç performans değerlendirmesi) vermesi de mümkündür. Bunun nedeni bazen verilerin bulanık ya da doğru olmamasıdır. Yani, hafifçe iyi olan girdiler gerçekten iyi olmayabilir, üyelik fonksiyonu bunu mükemmel bir şekilde belirleyebilir. Böyle bir durumda karşılık gelen güvenilirlik değeri çok düşük olacaktır. Yani genelde doğru olmayan sonuçlara çok güvenilmemesi gerektiğini vurgulanmaktadır. Bu bazı yaygın insan hatalarına benzer. Pratik olarak çok ayırt edilemeyen durumda, insan da benzer yargı hataları yapabilir. Genel olarak, bu şekildeki küçük hatalar, bulanık mantıka dayalı yapay zeka uygulamaları için kabul edilebilirdir.

[6] Son olarak performans değerlendirilmesinde yapılan yaygın bir teknik hatayı gösterelim. Bunun için bir ürünü değerlendirmede iki ölçüt olduğunu kabul edelim. Bunlar ücret ve performans olsun.



Performans ölçümünü değerlendirelim. 1 ve 2 gibi küçük değerler "kötü", 9 ve 10 gibi büyük değerler ise "iyi" olsun. Her zamanki gibi iki bulanık üyelik fonksiyonu seçilmiş olsun. Burada yüksek ölçüm sayısı tercih edilebilir iken, düşük olanı tercih edilmemektedir.



Ücret ölçümünü düşük ücret 1 ve 2 "ucuz", yüksek ücret 9 ve 10 "pahali" olarak tanımlanacak şekilde gösterelim. Benzer olarak, iki bulanık üyelik fonksiyonu seçilmiş olsun.  $\mu_C$  ucuz ve  $\mu_E$  de pahali olan üyelik fonksiyonu olsun. Burada düşük ücretli olan tercih edilebilirdir. Büyüklük olan da performans ölçümüne göre tercih edilebilir olabilir.

Şimdi birisinin performans=9 (tercih edilebilir) ve ücreti=8 (tercih edilemeyecek) bir ürüne sahip olduğunu kabul edelim.

Sonuç değerlendirmeye gelince, aşağıdaki formül kullanılabilir;

$$\text{çıktı=} \frac{9 \times \mu_G(9) + 9 \times \mu_B(9) + 8 \times \mu_E(8) + 8 \times \mu_C(8)}{\mu_G(9) + \mu_B(9) + \mu_E(8) + \mu_C(8)}$$

$$\text{çıktı=} \frac{9 \times 0.9 + 9 \times 0.1 + 8 \times 0.8 + 8 \times 0.2}{0.9 + 0.1 + 0.8 + 0.2}$$

$$\text{çıktı=} 8.5$$

Bununla beraber sonuç olan karar indeksinin 8.5 olmasına en çok katkıda bulunan sayı  $8 \times 0.8$  'dir. Gerçekten de bu sayı pahalı demektir ve tercih edilmez. Böylece, sonuca karar verme aşamasında çok fazla katulmayabilir. Diğer yandan başka birisi için de performans=9, ücret=1 şeklindeki bir olgu ile de bu karşılaştırılabilir.

$$\text{çıktı} = \frac{9 \times \mu_G(9) + 9 \times \mu_B(9) + 1 \times \mu_E(1) + 1 \times \mu_C(1)}{\mu_G(9) + \mu_B(9) + \mu_E(1) + \mu_C(1)}$$

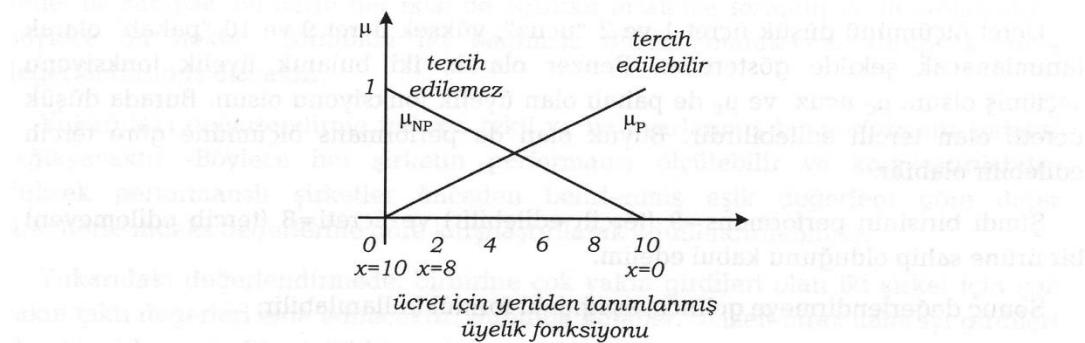
$$\text{çıktı} = \frac{9 \times 0.9 + 9 \times 0.1 + 1 \times 0.1 + 1 \times 0.9}{0.9 + 0.1 + 0.1 + 0.9}$$

$$\text{çıktı} = 5$$

Bu karşılaştırmada ürünün ilk parçası ikincisinden daha iyidir sonucuna ulaşılabilir. Fakat açıkta ki bu durum, ikinci parçanın performansı daha düşük maliyetli olan birincisi ile aynı olduğundan saçmadır.

Burada sorun, ilk tercih edilebilir üyelik fonksiyonu ve ikinci tercih edilmeyen üyelik fonksiyonunun aynı anda üyelik fonksiyonlarını gösteren şeklärın sağında yer almasından kaynaklanmaktadır.

Bu problemi çözümlemek için, ilk şeklär değiştirilmeden tutulup ikincisi çevrilerek iki tercih edilir üyelik fonksiyonu da tutarlı hale getirilebilir. Bunu yapmanın daha başka pek çok yolu da bulunmaktadır. Bir yolu da ikinci üyelik fonksiyonunun aşağıdaki gibi tanımlanmasıdır.



Burada,  $\mu_P$  tercih edilebilir üyelik fonksiyonu,  $\mu_{NP}$  tercih edilmeyen üyelik fonksiyonu olarak değişmiştir. Buna uygun şekilde,  $x$ ,  $10-x$  'e değişmiştir. Sonuç olarak ilk üretilen parçalar;

$$\text{çıktı} = \frac{9 \times \mu_G(9) + 9 \times \mu_B(9) + 2 \times \mu_{NP}(2) + 2 \times \mu_P(2)}{\mu_G(9) + \mu_B(9) + \mu_{NP}(2) + \mu_C(2)}$$

$$\text{çıktı} = \frac{9 \times 0.9 + 9 \times 0.1 + 2 \times 0.8 + 2 \times 0.2}{0.9 + 0.1 + 0.8 + 0.2}$$

$$\text{çıktı} = 5.5$$

İkinci üretilen parçalar;

$$\text{çıktı} = \frac{9 \times \mu_G(9) + 9 \times \mu_B(9) + 9 \times \mu_{NP}(9) + 9 \times \mu_P(9)}{\mu_G(9) + \mu_B(9) + \mu_{NP}(9) + \mu_P(9)}$$

$$\text{çıktı} = \frac{9 \times 0.9 + 9 \times 0.1 + 9 \times 0.1 + 9 \times 0.9}{0.9 + 0.1 + 0.1 + 0.9}$$

$$\text{çıktı} = 9.0$$

olur. Sonuçta; doğru olarak ürünün ikinci parçasının daha iyi olduğu sonucu elde edilmiş olur. Buradaki basit örnek, genel bir olgunun pratik tasarımlı konusunda

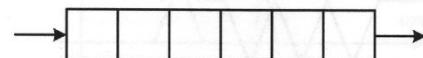
temel bir ilke sağlar. Eldeki uygulamaya ilişkin makul çalışma yaklaşımını belirlemek için teknik bilgi ve sağduyu, özellikle doğru ortalama formülü ile beraber kullanmalıdır. Yine, tasarım kavramının temelinde evrensel bir doğru tasarım çözümünün bulunamaması yatar. Bundan dolayı tasarımcı söz konusu uygulamaların gerçekleştirilmesi için uygun çözümün üretilmesinde sağduyu ve bilimsel bilgiyi kullanmalıdır.

### AĞ TRAFİĞİ DENETİMİ

İletişim ağında gecikmeyi en aza indirmek ve trafik denetimini sağlamak için minimum gecikmeye ve bant kullanımına sahip rotanın seçilmesi istenir. Bu maksatla, rotanın belirlenmesi sırasında her düğümdeki trafik koşullarını tanımlayabilen bir indekse gerek duyulmaktadır. Trafik koşulları tampon kuyruk uzunluğu, trafik tipine bağlı olan bant kullanımı ve gecikmeyle ilişkilidir. Geleneksel bir şekilde bu parametreleri doğrudan kullanarak trafik koşullarının tanımını yapmak karmaşık bir süreçtir. Bununla beraber bulanık mantık kullanarak bir performans indeksi oluşturmak problem için elverişli bir çözüm üretme imkanı verebilir.

Buradaki basitörnekte düğümdeki tampon kuyruk uzunluğu, bant kullanımını ve trafik tipine bağlı trafik koşullarının tanımlanması için bir indeks geliştirilmesinde bulanık mantık kullanılmıştır.

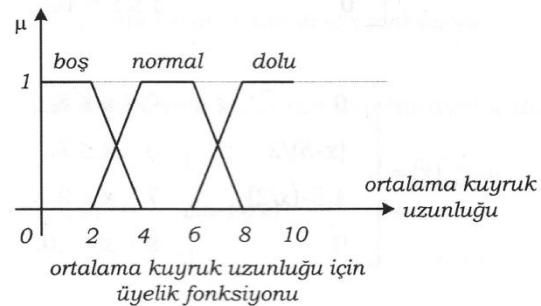
Basit olması açısından bir girdi-bir çıktı FIFO (ilk giren ilk çıkar) düğüm modeli kullanılmıştır. Girdi hızı sınırsız, tampon büyütüğü 200 hücre, çıktı hızı her zaman aralığında 1 hücre olarak tanımlanmıştır. Bir girdi, bir çıktılı FIFO düğüm modeli şu şekilde gösterilebilir;



### Tampon kuyruk uzunluğu:

Daha uzun kuyruk, daha çok gecikme anlamına gelir ve bu da girdi trafiğinde çok artışınlı olduğu durumlarda veri kaybına yol açar. Bundan dolayı kuyruğun kısa olması istenir.

Ortalama kuyruk uzunluğu düğümdeki ortalama bekleme süresi hakkında bilgi vericidir. Ani kuyruk uzunluğu düğümdeki anlık gecikmeyi gösterir. Her ikisi birden trafik koşulları için bilgi vericidir. Aşağıdaki ortalama kuyruk uzunluklarının üyelik fonksiyonları olsun.



Normalleştirmeden sonra ortalama kuyruk uzunluğu için bir üyelik fonksiyonu olarak;

$$\mu_{QA,e}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 2, \\ 2-(x/2) & 2 \leq x \leq 4, \\ 0 & 4 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

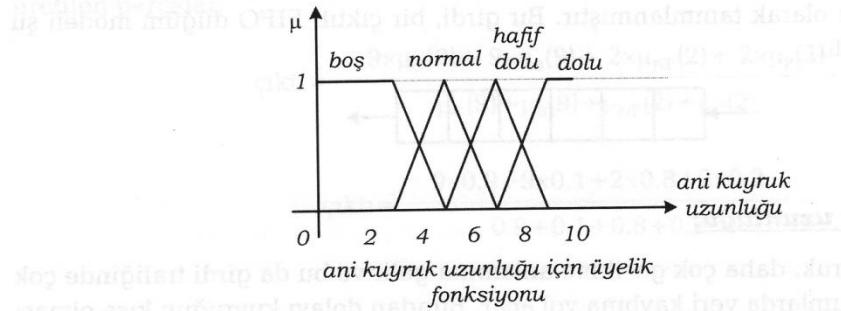
Normalleştirmeden sonra ortalama kuyruk uzunluğu için bir üyelik fonksiyonu olarak;

$$\mu_{QA,f}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 6, \\ (x-6)/2 & 6 \leq x \leq 8, \\ 1 & 8 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

Normalleştirmeden sonra ortalama kuyruk uzunluğu için bir üyelik fonksiyonu olarak;

$$\mu_{QA,n}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 2, \\ (x-2)/2 & 2 \leq x \leq 4, \\ 1 & 4 \leq x \leq 6, \\ 4-(x/2) & 6 \leq x \leq 8, \\ 0 & 8 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

Aşağıdaki ani kuyruk uzunluklarının üyelik fonksiyonları olsun;



Ani kuyruk uzunluğu için bir üyelik fonksiyonu olarak;

$$\mu_{QB,e}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 3, \\ 2.5 - (x/2) & 3 \leq x \leq 5, \\ 0 & 5 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

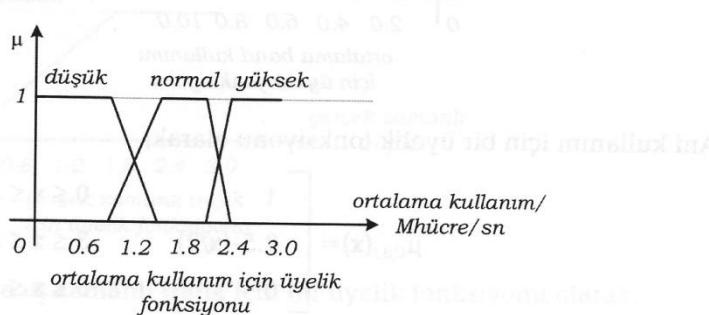
$$\mu_{QB,qf}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 5, \\ (x-5)/2 & 5 \leq x \leq 7, \\ 4.5 - (x/2) & 7 \leq x \leq 9, \\ 0 & 9 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

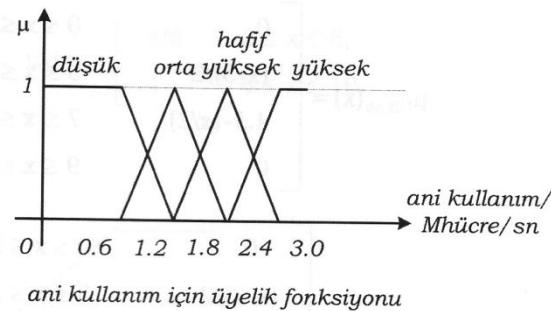
$$\mu_{QB,n}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 3, \\ (x-3)/2 & 3 \leq x \leq 5, \\ 3.5-(x/2) & 5 \leq x \leq 7, \\ 0 & 7 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

$$\mu_{QB,f}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 7, \\ (x-7)/2 & 7 \leq x \leq 9, \\ 1 & 9 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

### **Bant kullanımı**

Bant kullanımı düğümde yoğunlaşma koşullarını göstermektedir. Yüksek bant kullanımı girdi trafiğinde anlık artışla birikim için yüksek risk demektir. Bundan dolayı gecikme zamanı değerlendiriliyorsa düşük kullanım, bağı verimliliği ya da etkinlik kaybı değerlendiriliyorsa yüksek kullanım hızı arzu edilir. Bununla beraber çok yüksek kullanım tamponda aşırı birikim oluşturacağından veri kaybına neden olabilir. Bant kullanımı ile ilgili üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi olsun;



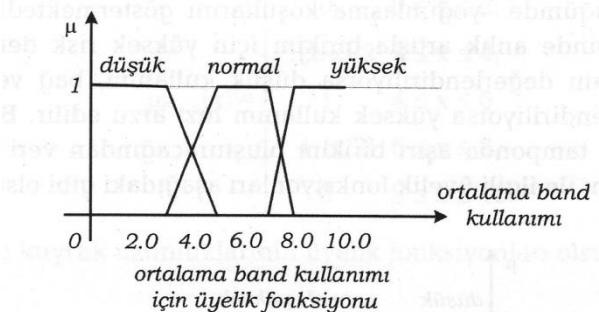


Normalleştirmeden sonra ortalama kullanım için bir üyelik fonksiyonu olarak;

$$\mu_{UA,l}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 3, \\ 2.5 - (x/2) & 3 \leq x \leq 5, \\ 0 & 5 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

$$\mu_{UA,h}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 7, \\ x-7 & 7 \leq x \leq 8, \\ 1 & 8 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

$$\mu_{UA,n}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 3, \\ (x-3)/2 & 3 \leq x \leq 5, \\ 1 & 5 \leq x \leq 7, \\ 8-x & 7 \leq x \leq 8, \\ 0 & 8 \leq x \leq 10. \end{cases}$$



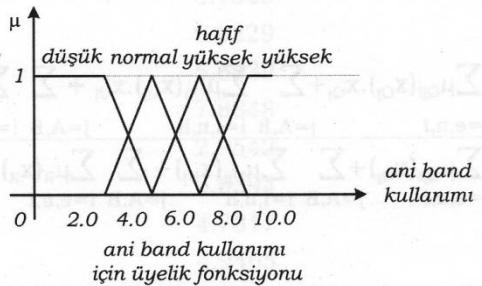
Ani kullanım için bir üyelik fonksiyonu olarak;

$$\mu_{UB,l}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 3, \\ 2.5 - (x/2) & 3 \leq x \leq 5, \\ 0 & 5 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

$$\mu_{UB,qh}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 5, \\ (x-5)/2 & 5 \leq x \leq 7, \\ 4.5 - (x/2) & 7 \leq x \leq 9, \\ 0 & 9 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

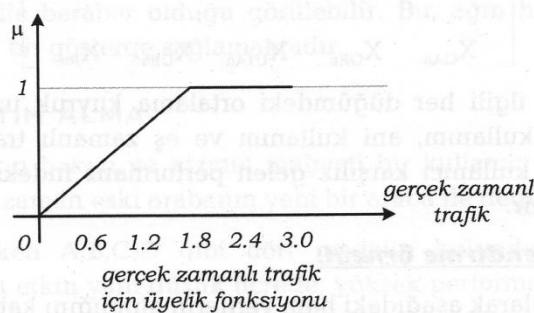
$$\mu_{UB,n}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 3, \\ (x-3)/2 & 3 \leq x \leq 5, \\ 3.5 - (x/2) & 5 \leq x \leq 7, \\ 0 & 7 \leq x \leq 10. \end{cases}$$

$$\mu_{UB,h}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 7, \\ (x-7)/2 & 7 \leq x \leq 9, \\ 1 & 9 \leq x \leq 10. \end{cases}$$



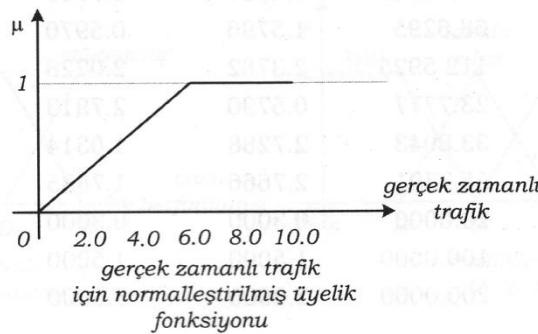
### Trafik Tipi

Gerçek zamanlı trafik verisi (ses, video) gecikmeye daha az toleranslidir. Benzer gecikme değeri gerçek zamanlı olmayana göre daha çok önem kazanır. Bundan dolayı bir düğümdeki gerçek zamanlı trafik bu düğümdeki trafik koşullarını etkileyeceğinden dolayı eş zamanlı trafiğin az olması istenir.



Normalleştirmeden sonra eş zamanlı trafik için bir üyelik fonksiyonu olarak;

$$\mu_R(x) = \begin{cases} x/6 & 0 \leq x \leq 6, \\ 1 & 6 \leq x \leq 10. \end{cases}$$



Buna göre bütüncül performans indeksi;

$$P_{\text{trafik}} = \frac{\sum_{j=A,B} \sum_{i=e,n,f} \mu_{Qji}(x_{Qj}) \cdot x_{Qj} + \sum_{j=A,B} \sum_{i=l,n,h} \mu_{Uji}(x_{Uj}) \cdot x_{Uj} + \sum_{j=A,B} \sum_{i=e,n,f} \mu_R(x_R) \cdot x_R}{\sum_{j=A,B} \sum_{i=e,n,f} \mu_{Qji}(x_{Qj}) + \sum_{j=A,B} \sum_{i=l,n,h} \mu_{Uji}(x_{Uj}) + \sum_{j=A,B} \sum_{i=e,n,f} \mu_R(x_R)}$$

olarak yazılabilir. Bu değerlendirmede, daha küçük indeks daha iyi performans demektir.

#### Algoritmik olarak yürürlüğe koyma:

Kullanıcı parametre matrisi oluşturulmalıdır;

$$\begin{bmatrix} X_{QA1} & X_{QR1} & X_{UA1} & X_{UB1} & X_{R1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{QAn} & X_{QRn} & X_{U1An} & X_{UBn} & X_{Rn} \end{bmatrix}$$

Burada, her satır ilgili her düğümdeki ortalama kuyruk uzunluğu, ani kuyruk uzunluğu, ortalama kullanım, ani kullanım ve eş zamanlı trafik parametrelerini içermektedir. Sonra, kullanıcı karşılık gelen performans indeksini bir çıktı vektörü şeklinde elde edecektir.

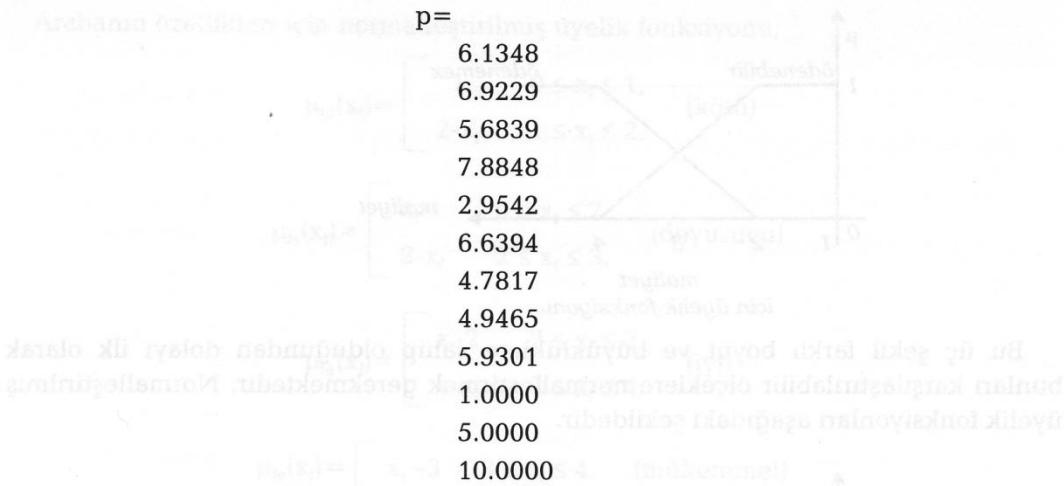
### **Performans değerlendirme örneği:**

Sayısal bir örnek olarak aşağıdaki ham verilerin alındığını kabul edelim;

a=

157.6266	83.2128	1.4568	2.3026	0.0101
56.2128	59.7598	2.8567	2.8420	2.9460
44.9573	134.4873	0.6958	2.4399	2.6985
181.7749	187.6515	1.4360	2.7715	2.0783
1.4658	68.6295	1.5796	0.5970	1.3190
117.7479	112.5925	2.3782	2.0228	2.1031
108.4236	23.7777	0.5790	2.7813	1.8291
130.7048	33.8043	2.7288	1.0314	0.8997
62.6870	55.7791	2.7666	1.7835	2.5681
20.0000	20.0000	0.3000	0.3000	0.3000
100.0000	100.0000	1.5000	1.5000	1.5000
200.0000	200.0000	3.0000	3.0000	3.0000

Bu günlük küme ilk olarak normalleştirilir ve sonra algoritmaya girilir.  
Hesaplamadan sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilir;



### Sonuç:

Sayısal sonuçlardan, yüksek kullanım ve daha uzun tampon kuyruğunun yüksek performans indeksi ile beraber olduğu görülebilir. Bu, ağın her düğümünde trafik koşullarını açıklayan bir gösterge sağlamaktadır.

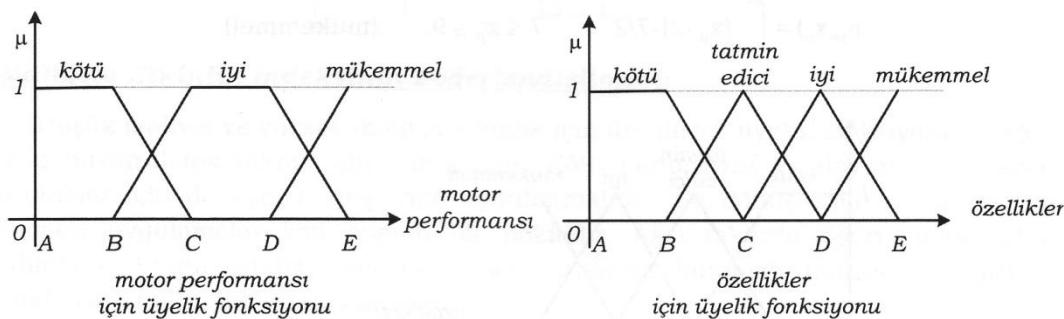
### **YENİ ARABA SATIN ALMA**

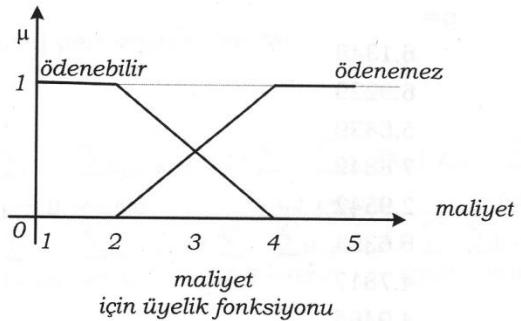
Bir araba için rutin bakım ve hizmet maliyeti bir kullanıcı için zamanla önemli boyutlara ulaşır ve o zaman eski arabanın yeni bir araba ile değiştirilmesi gereklidir.

Araba satın alırken A,B,C,D gibi dört modelin bulunduğu kabul edelim. Amacımız en maliyet etkin yani düşük ücretle, yüksek performans ve kalite sağlayan modeli seçmektir.

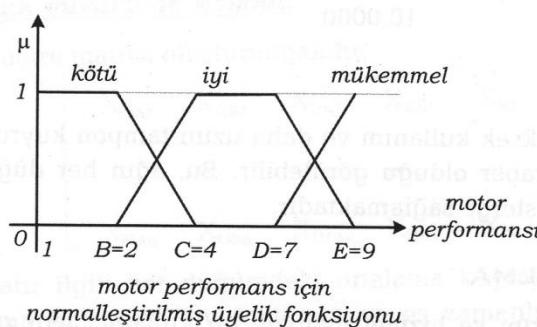
### **Problem formülaşyonu:**

Yeni bir araba satın alınırken maliyet etkinliği açıklayan önceden belirlenmiş üç bulanık üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde olsun.





Bu üç şekil farklı boyut ve büyüklüklerle sahip olduğundan dolayı ilk olarak bunları karşılaştırılabilir ölçeklere normalleştirmek gerekmektedir. Normalleştirilmiş üyelik fonksiyonları aşağıdaki şekildedir.

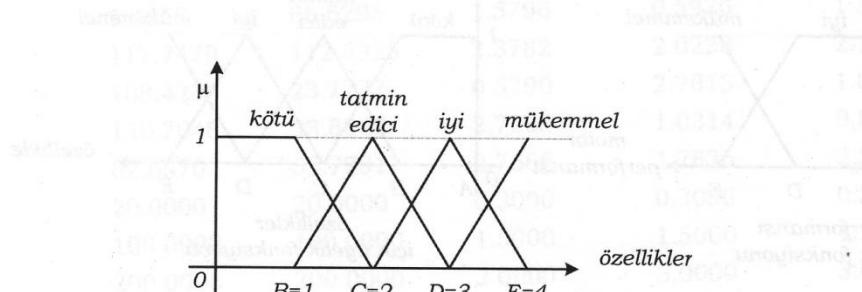


Motor performansı için normalleştirilmiş üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{pp}(x_p) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_p \leq 2, \\ -(x_p/2) + 2 & 2 \leq x_p \leq 4. \end{cases} \quad (\text{kötü})$$

$$\mu_{pg}(x_p) = \begin{cases} (x_p/2) - 1 & 2 \leq x_p \leq 4, \\ 1 & 4 \leq x_p \leq 7, \\ -(x_p/2) + 9/2 & 7 \leq x_p \leq 9. \end{cases} \quad (\text{iyi})$$

$$\mu_{pe}(x_p) = \begin{cases} (x_p/2) - 7/2 & 7 \leq x_p \leq 9. \end{cases} \quad (\text{mükemmel})$$



*özellikler için normalleştirilmiş  
üyelik fonksiyonu*

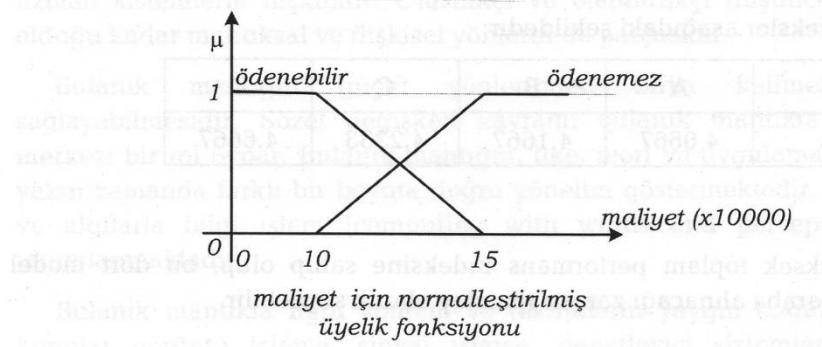
Arabanın özellikleri için normalleştirilmiş üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{fp}(x_f) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_f \leq 1, \\ 2-x_f & 1 \leq x_f \leq 2. \end{cases} \quad (\text{kötü})$$

$$\mu_{fs}(x_f) = \begin{cases} x_f - 1 & 0 \leq x_f \leq 2, \\ 3 - x_f & 2 \leq x_f \leq 3. \end{cases} \quad (\text{doyurucu})$$

$$\mu_{fg}(x_f) = \begin{cases} x_f - 2 & 2 \leq x_f \leq 3, \\ 4 - x_f & 3 \leq x_f \leq 4. \end{cases} \quad (\text{iyi})$$

$$\mu_{fe}(x_f) = \begin{cases} x_f - 3 & 3 \leq x_f \leq 4. \end{cases} \quad (\text{mükemmel})$$



maliset için normalleştirilmiş  
üyelik fonksiyonu

Maliyet için normalleştirilmiş üyelik fonksiyonları;

$$\mu_{fc}(x_c) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_c \leq 10, \\ -(x_c/5) + 3 & 10 \leq x_c \leq 15. \end{cases} \quad (\text{ödenebilir})$$

$$\mu_{fc}(x_c) = \begin{cases} -(x_c/5) - 2 & 10 \leq x_c \leq 15, \\ 1 & 15 \leq x_c. \end{cases} \quad (\text{ödenemez})$$

#### **Maliyete Etkinlik İndeksinin Değerlendirilmesi:**

Düşük maliyet ve yüksek maliyet etkinlik için üretilen üye fonksiyonu,  $x$ , 15-x'ye dönüştürüllererek tekrar tanımlanmalıdır. Kötü performans ve doyurucu olmayan özellikler için de aynı dönüştürme uygulanmalıdır. Bu dönüştürme işlemi, bu ve benzeri uygulamalar için önemli bir noktadır. Aksi takdirde doğru sonuç elde edilemez. Uygun arabayı seçerken baş vurulacak bütüncül indeks ise ağırlıklı ortalama formülü ile hesaplanacaktır.

#### **Yürürlüğe koyma:**

Araba motorunun performans kaydı her modelin spesifikasyonundan elde edilebilir. Bu ölçüte bir indeks atamak nispeten kolaydır.

Bir arabanın özellikleri doğrudan araba modelinden (araba büyülüğu, iç donanım, biçim, renk, diğer donanımlar stereo radyo ve CD player gibi) elde edilebilir. Bunlara sürüş testi esnasında elde edilen öznel değerler de eklenebilir.

Her modelin maliyeti modeli sunan araba satıcısından kolayca elde edilebilir.

Program bu bilgilerle şimdi kolayca yazılabilir.

Sayısal bir örnek olarak hesaplanan veri aşağıda gösterilmiştir;

İndeks/Model	A	B	C	D
Motor	8.0	7.5	7.0	6.0
Özellikler	3.5	2.8	3.2	3.0
Maliyet	14.3	12.8	12.5	10.0

Hesaplanmış indeksler aşağıdaki şekildedir;

Model	A	B	C	D
İndeks	4.0667	4.1667	4.2333	4.6667

#### **Karar verme:**

Model D en yüksek toplam performans indeksine sahip olup, bu dört model içerisinde yeni bir araba alınacağı zaman ilk aday olarak seçilebilir.