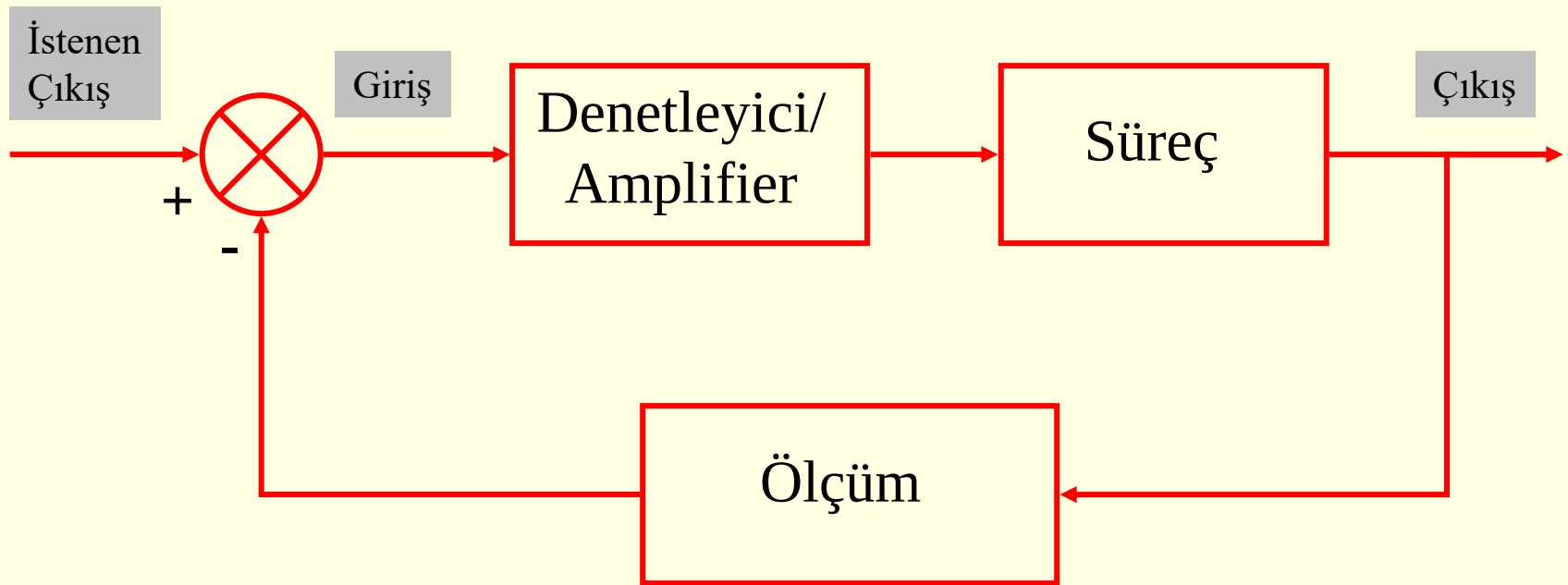


BULANIK MANTIK DENETLEYİCİLERİ

Bulanık Denetleyici Modelleri

GELENEKSEL KONTROL

- **Açık çevrim** kontrolü gerçek çıkışa duyarlıdır.
- **Kapalı çevrim** kontrolü gerçek çıkışı hesaba katar ve bunu istenen çıkış ile kıyaslar



GELENEKSEL KONTROL

Örnek: Bir seyir kontrol sistemi tasarlayın

Sistemin dinamiklerini sezgisel bir anlayışa kavuşturduktan ve tasarım hedeflerini belirledikten sonra, kontrol mühendisi genellikle aşağıdakileri yaparak seyir kontrol problemini çözer:

- Otomobil dinamiklerinin modelini geliştirme.
(araç ve güç aktarma dinamikleri, lastik ve süspansiyon dinamikleri, yol sınıfı varyasyonlarının etkisi gibi).
- Bir denetleyici tasarlamak için matematiksel modeli veya onun basitleştirilmiş bir versiyonunu kullanma.
(örneğin, doğrusal bir model yoluyla, klasik kontrol teknikleriyle doğrusal bir kontrolör geliştirin).

GELENEKSEL KONTROL

- Performansını incelemek için, kapalı çevrim sistemin matematiksel modelini ve matematiksel veya simülasyon temelli analizleri kullanma. (muhtemelen yeniden tasarıma yol açar).

Örneğin bir mikroişlemci vasıtasıyla kontrolörün gerçekleştirilmesi ve kapalı çevrim sistemin performansının değerlendirilmesi. (yine muhtemelen yeniden tasarıma yol açar).

GELENEKSEL KONTROL

Sistemin matematiksel modeli:

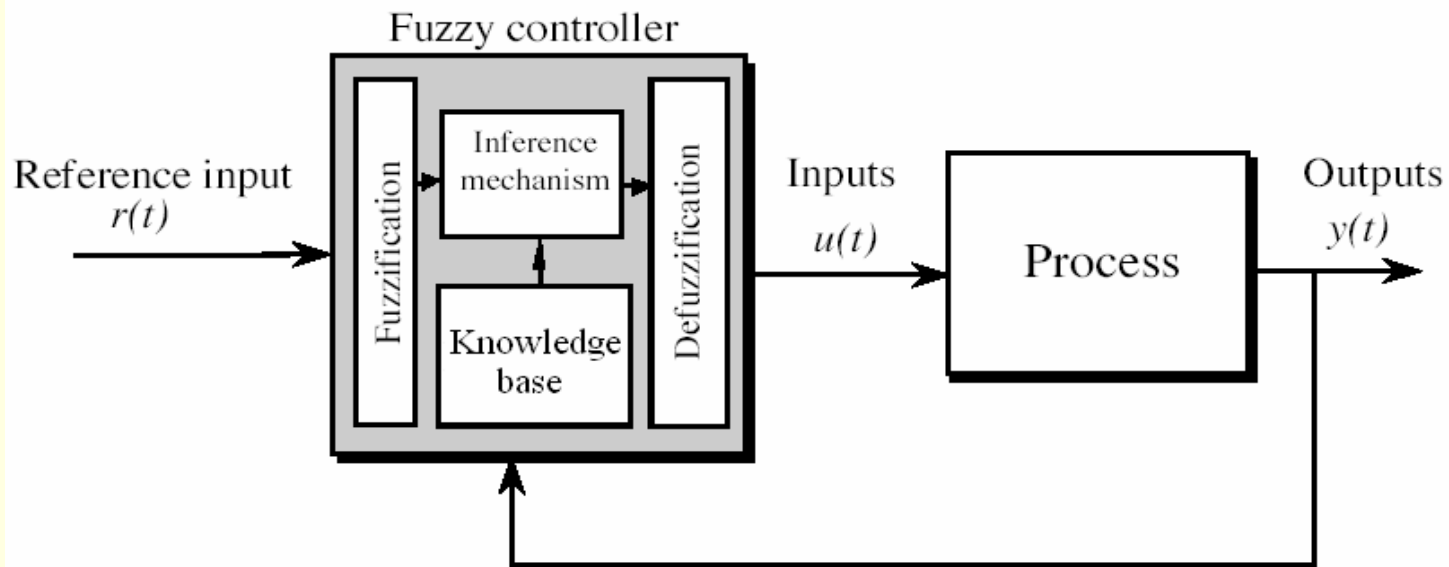
- asla mükemmel değildir
- gerçek sistemin soyutlanmasıdır
- çalışacak bir denetleyiciyi tasarlayabilecek kadar doğrudur.
- Bir diferansiyel denklem sistemine dayalıdır

$$\dot{x}_{(t)} = A_{(t)} \cdot x_{(t)} + B_{(t)} \cdot u_{(t)}$$

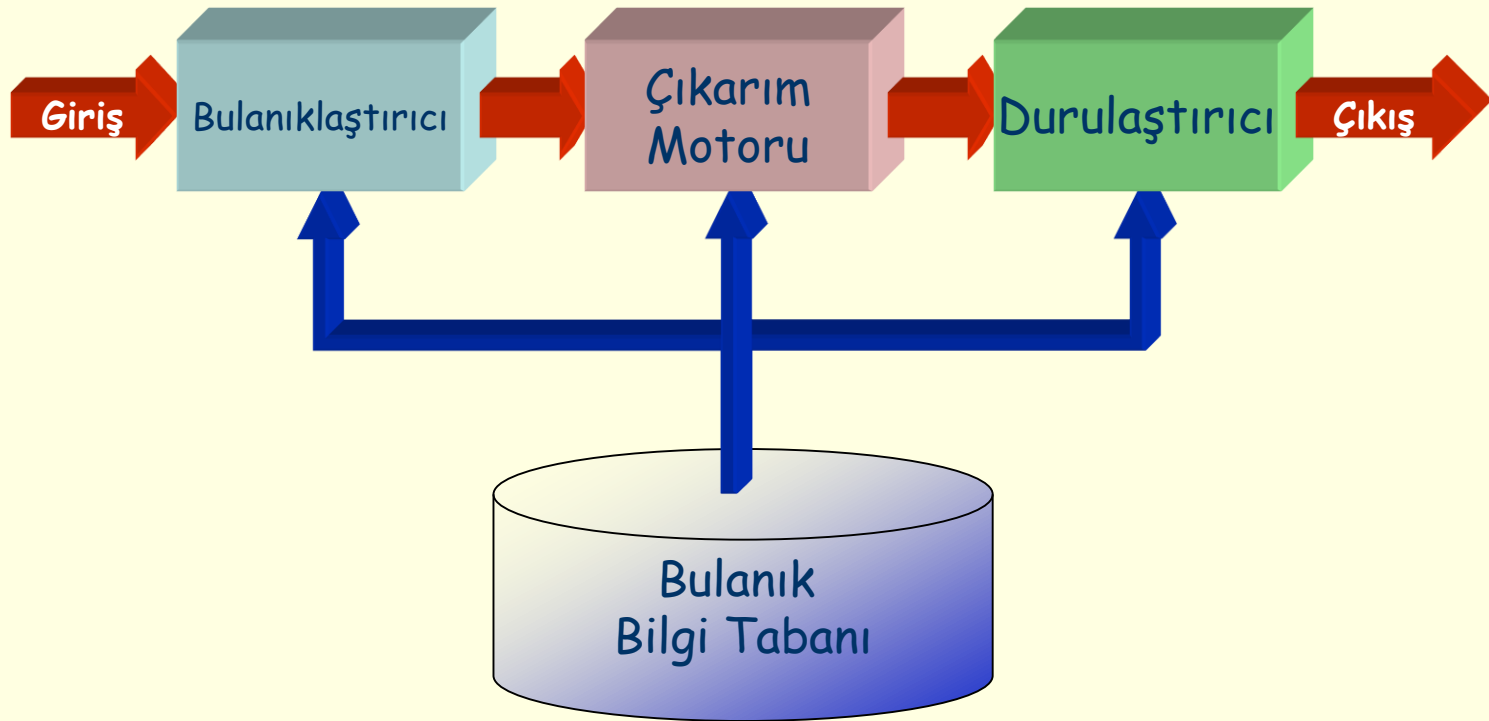
$$y_{(t)} = C_{(t)} \cdot x_{(t)} + D_{(t)} \cdot u_{(t)}$$

BULANIK KONTROL

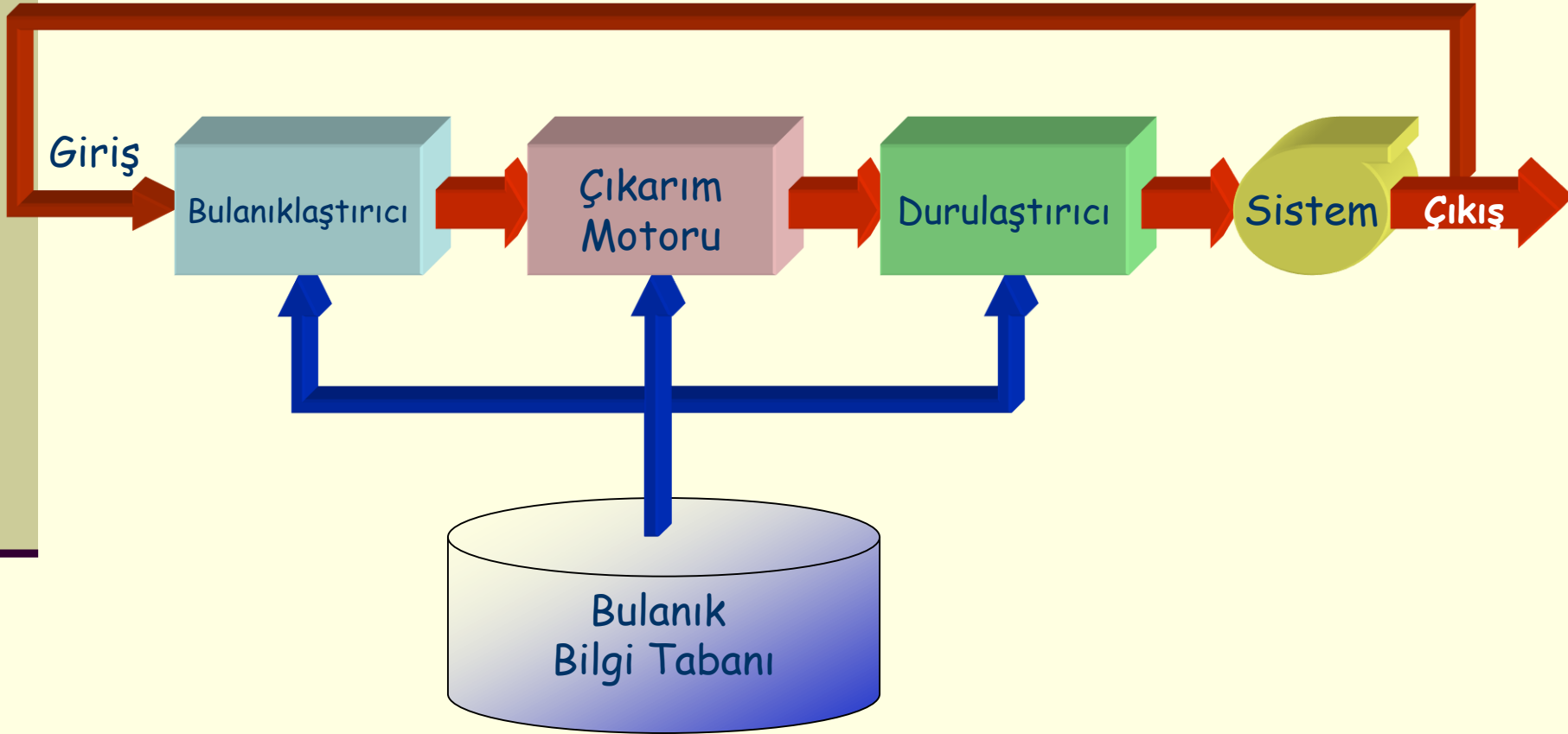
Bulanık kontrol, bir insanın bir sistemi nasıl kontrol edeceği hakkındaki tecrübi bilgilerinin temsil edilmesi, manipüle edilmesi ve uygulanması için resmi bir metodoloji sağlar.



Bulanık Sistem



Bulanık Kontrol Sistemleri



Bulanık Mantık Denetimi

- **Bulanık denetleyici tasarımı**, tecrübelerinizi ve bir sistemi nasıl denetleyeceğinizle ilgili diğer bilgileri bir dizi **kurallara** dönüştürme işlemini kapsar.
- Bu kurallar daha sonra sisteme uygulanabilir.
- Kurallar sistemi yeterince kontrol ederse, tasarım çalışmaları tamalanmış demektir.
- Kurallar yetersizse, başarısızlık sebepleri kuralları değiştirmek için bilgi sağlar.

Çıkış elde etmek maksadıyla girişleri işlemek için, kural tabanlı bulanık sistem oluşturulmasında altı adım vardır:

- 1. Girişleri ve aralıklarını belirleyin ve adlandırın.
- 2. Çıkışları ve aralıklarını belirleyin ve adlandırın.
- 3. Her giriş ve çıkış için bulanık küme ve kümelere ait üyelik fonksiyonları oluşturun.
- 4. Sistemin altında çalışacağı kural tabanını oluşturun
- 5. Çıkarım mekanizmasına karar verin
- 6. Kural çıktılarının birleştirilmesinden elde edilen bulanık küme için durulaştırma yöntemine karar verin

Bulanık Mantık Denetimi

Bulanık Denetleyici Çeşitleri:

- Mamdani
- Larsen
- TSK (Takagi Sugeno Kang)
- Tsukamoto
- Diğer metodlar

Bulanık Denetim Sistemleri

Mamdani
Bulanık modeli

Mamdani Bulanık Modeli

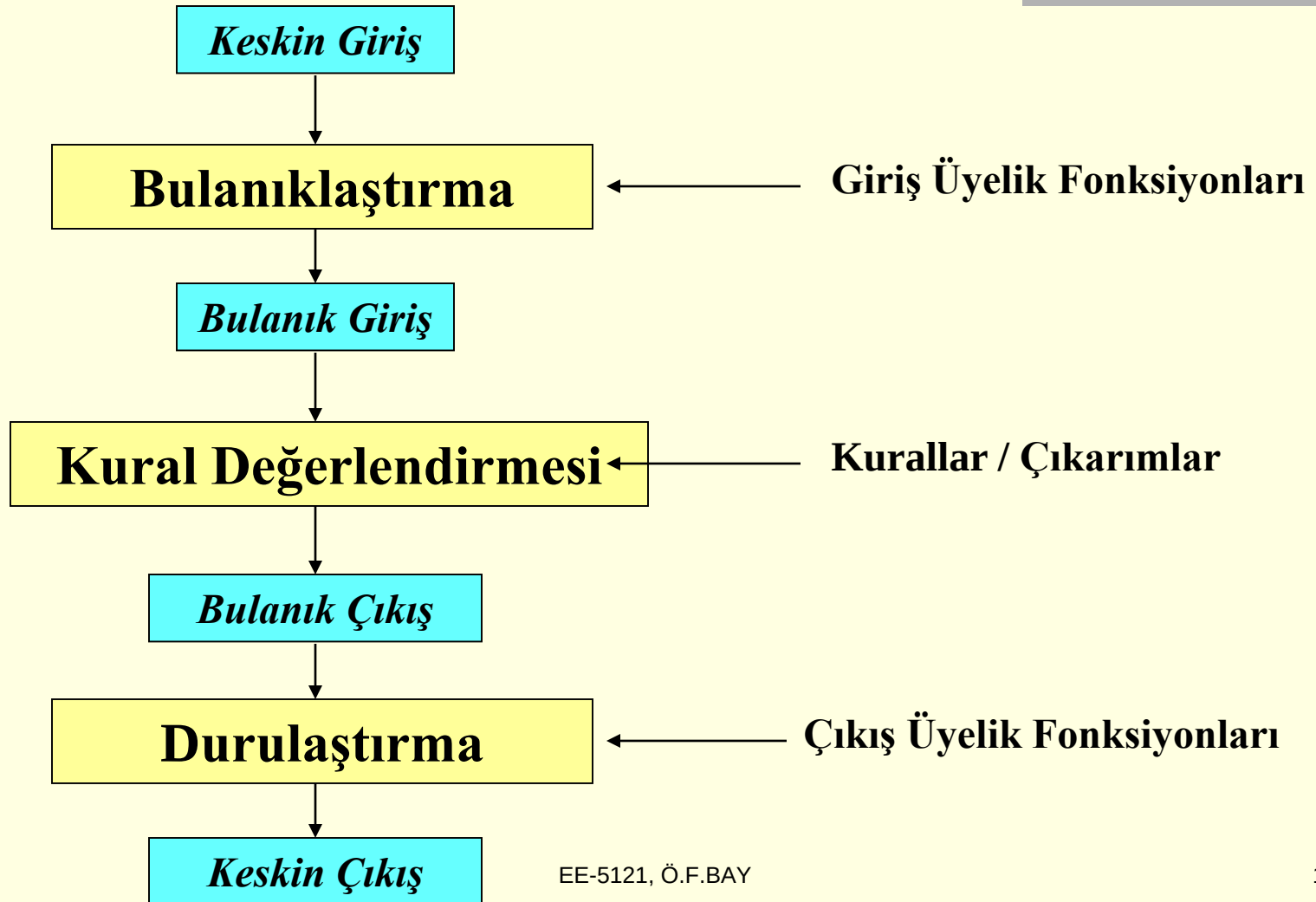
- En sık kullanılan bulanık çıkarım tekniği, Mamdani yöntemi olarak adlandırılmaktadır.
- 1975'te Londra Üniversitesi'nden Profesör Ibrahim Mamdani, buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol etmek için ilk bulanık sistemlerden birini gerçekleştirdi.
- Hedef: Tecrübeli insan operatörlerinden elde edilen bir dizi sözel kontrol kuralıyla buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol etmek

Mamdani Bulanık Çıkarımı

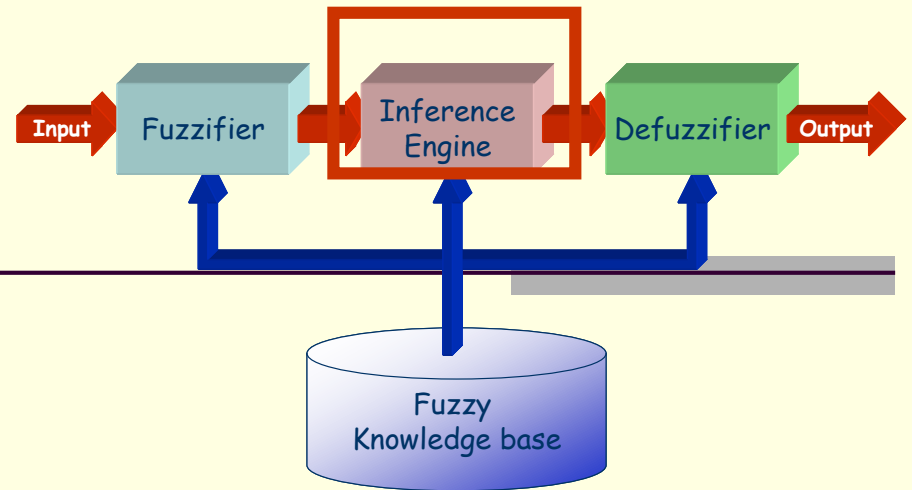
Mamdani tipi bulanık çıkarım işlemi dört adımda gerçekleştirilir:

- Giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılması,
- Kural değerlendirmesi,
- Kural çıktılarının bir araya getirilmesi ve,
- Durulaştırma.

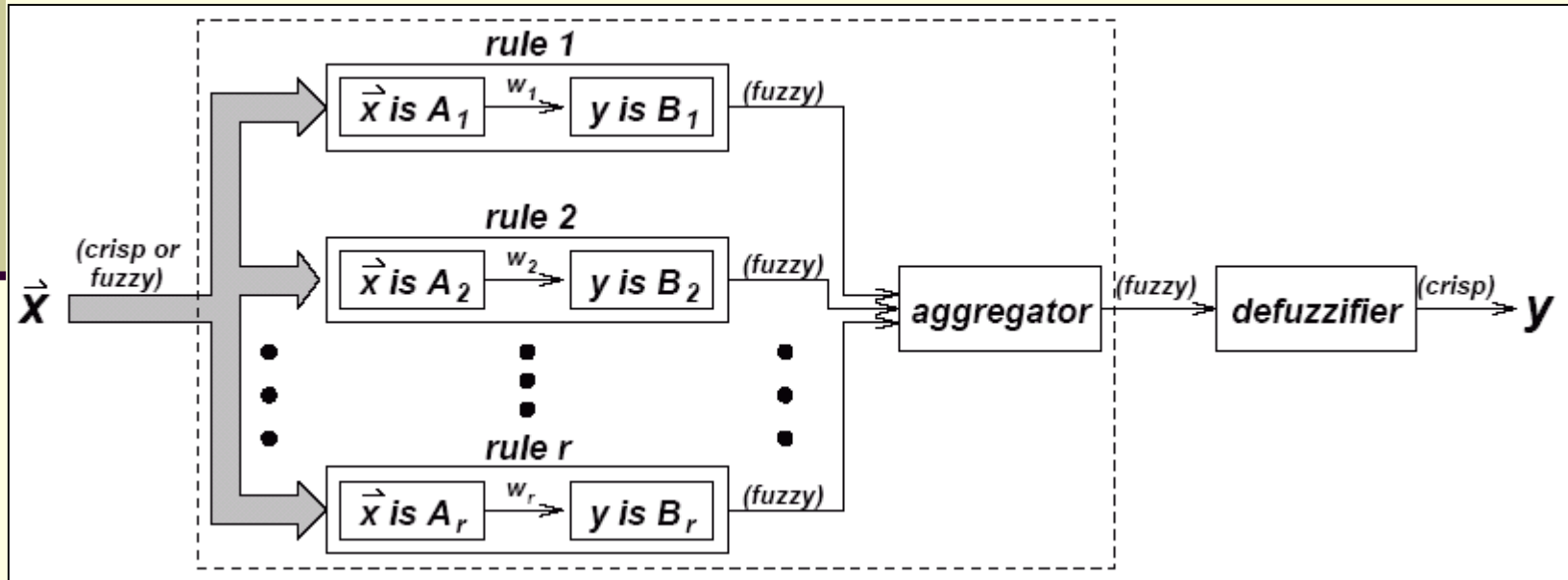
Bulanık Sistemin Çalışması



Çıkarım Motoru



If-Then türü bulanık kurallar kullanıldığında, bulanık girdiyi bulanık çıktıya dönüştürür.



Üç kural içeren basit iki girişli tek çıkışlı bir problemi inceleyelim:

Kural: 1

IF x is $A3$
OR y is $B1$
THEN z is $C1$

Kural : 2

IF x is $A2$
AND y is $B2$
THEN z is $C2$

Kural : 3

IF x is $A1$
THEN z is $C3$

Kural : 1

IF proje finansmanı yeterli
OR proje çalışanları az
THEN risk düşük

Kural : 2

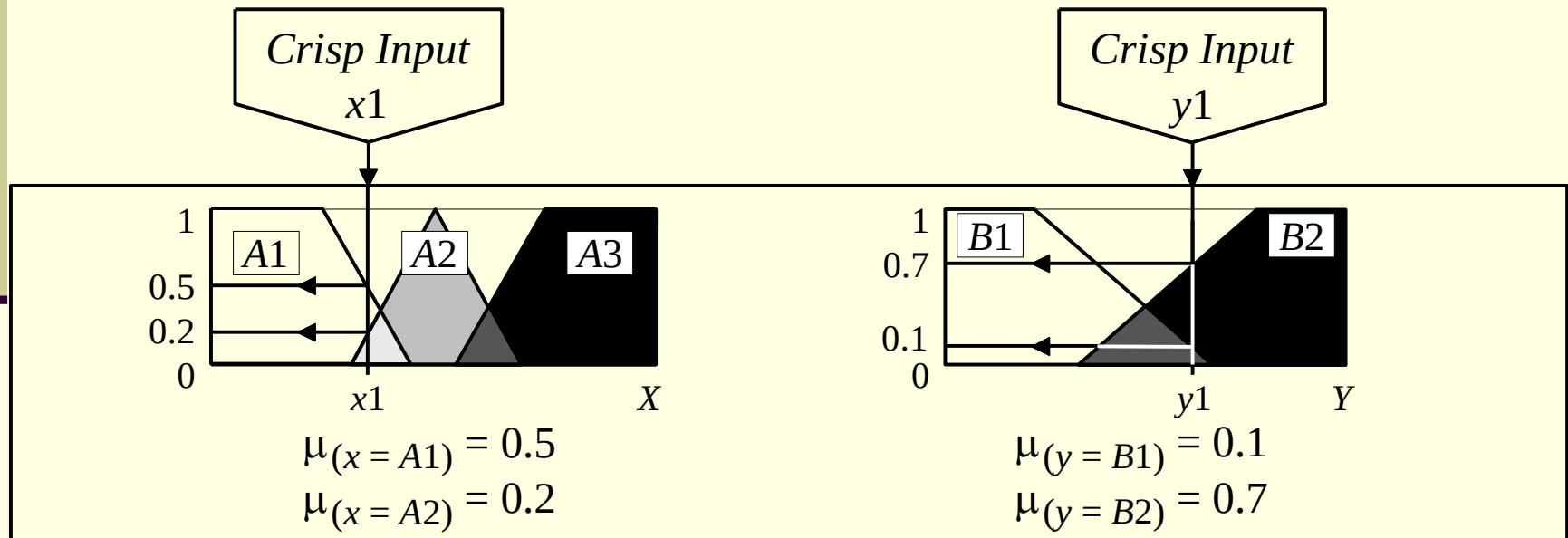
IF proje finansmanı marjinal
AND proje çalışanları fazla
THEN risk normal

Kural : 3

IF proje finansmanı yetersiz
THEN risk yüksek

Adım 1: Bulanıklaştırma

- Keskin girişleri al, x_1 ve y_1 (proje finansmanı ve proje personeli)
- Bu girişlerin uygun bulanık kümelerin her birine ne derecede üye olduğunu belirle.



proje finansmanı

EE-5121, Ö.F.BAY

proje personeli

Adım 2: Kural Değerlendirmesi

- $\mu A1(x) = 0.5$, $\mu A2(x) = 0.2$, $\mu B1(y) = 0.1$ ve $\mu B2(y) = 0.7$ olan bulanıklaştırılmış girişler alınır.
- Bulanık kuralların öncülerine uygulanır.
- Belirli bir bulanık kuralın birden fazla öncülü varsa, öncül değerlendirilmesinin sonucunu temsil eden tek bir sayı elde etmek için bulanık operatör (AND veya OR) kullanılır.
- Daha sonra bu sayı (doğruluk değeri) sonculun üyelik fonksiyonuna uygulanır.

Adım 2: Kural Değerlendirmesi

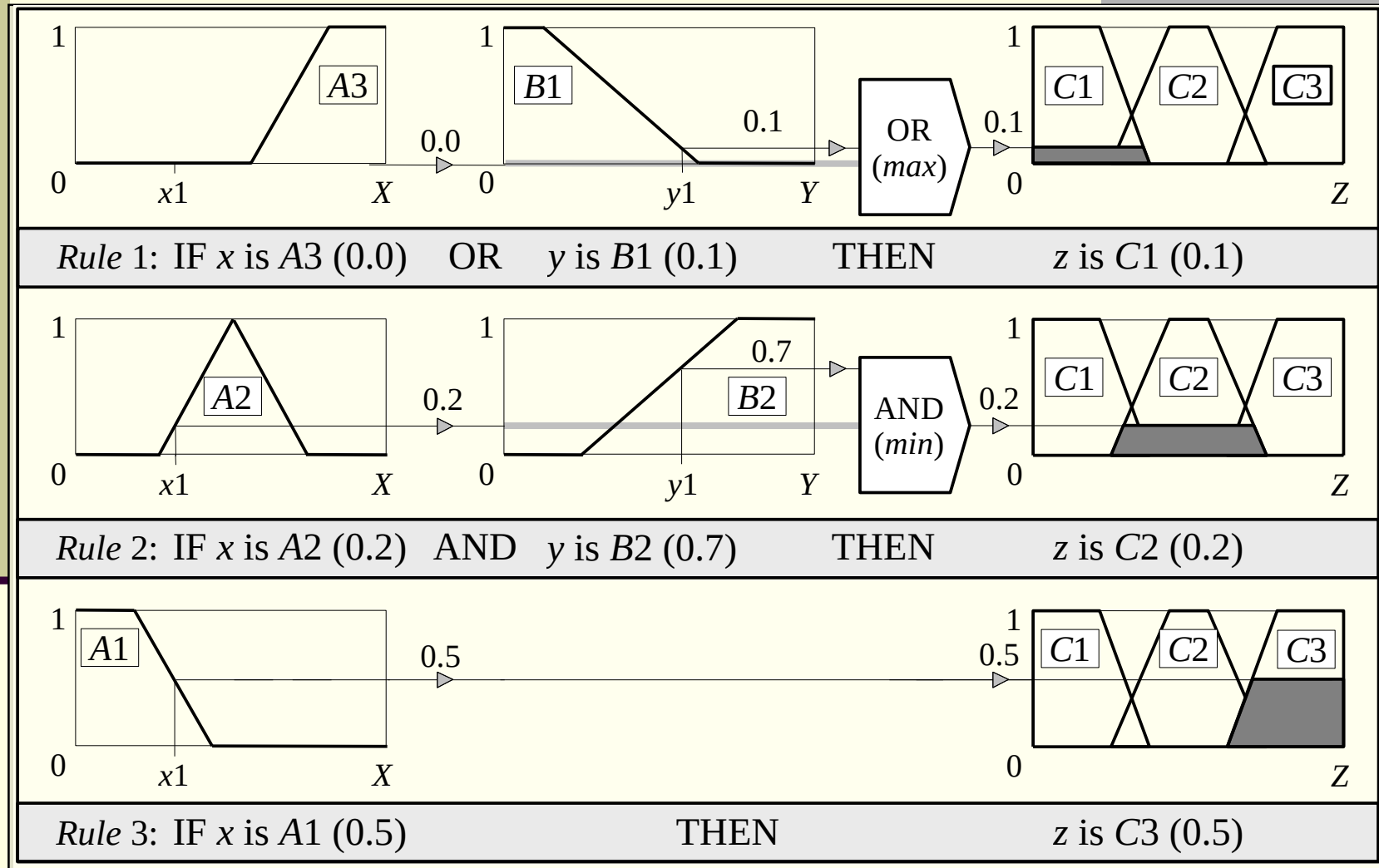
- Kural öncüllerinin ayrışımını değerlendirmek için OR bulanık işlemi kullanılır. Genellikle, bulanık sistemler klasik bulanık birleşme işlemini kullanır:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

- Benzer şekilde, kural öncüllerinin birleşimini değerlendirmek için AND bulanık kesişim işlemi uygulanır:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

Mamdani-tipi kural değ erlendirmesi



Mamdani-tipi kural değerlendirmesi

- Şimdi, öncül değerlendirmesinin sonucu, sonculun üyelik fonksiyonuna uygulanabilir.
- Bunu yapmak için iki ana yöntem vardır:
 - Kırpma
 - Ölçeklendirme
- En yaygın yöntem, soncul üyelik fonksiyonunu, öncül değerlendirmesinde elde edilen doğruluk derecesinde kesmektir.

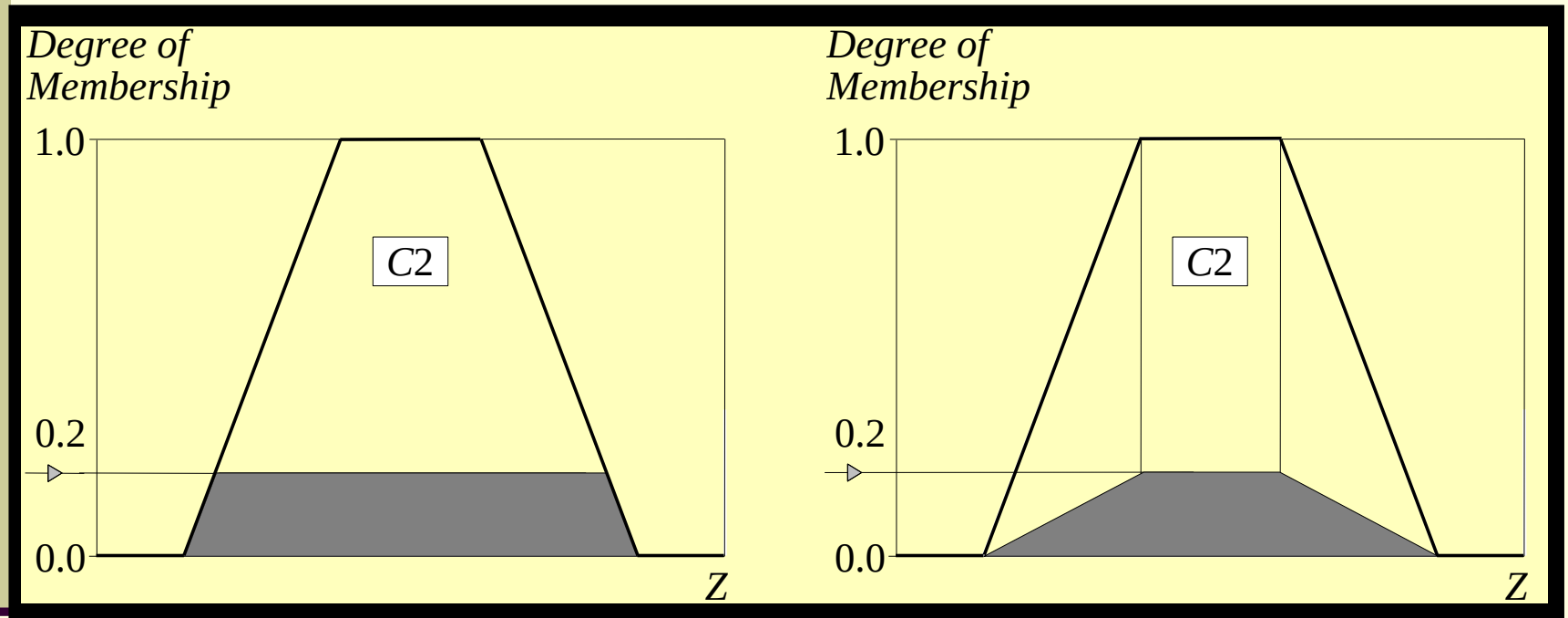
Mamdani-tipi kural değerlendirilmesi

- Bu yöntem kırpma olarak adlandırılır (Max-Min Kompozisyon).
- Kırpılmış bulanık küme bazı bilgileri kaybeder.
- Kırpma hala sıklıkla tercih edilmektedir, çünkü:
 - daha az karmaşıklık ve daha hızlı matematik işlem içerir
 - Durulaştırmayı kolaylaştıran birleştirilmiş bir çıkış yüzeyi oluşturur.

Mamdani-tipi kural değerlendirilmesi

- Kırpma, sıkça kullanılan bir yöntem olmakla birlikte, ölçeklendirme (Max-Çarpım Kompozisyonu), bulanık kümenin orijinal şeklini korumak için daha iyi bir yaklaşım sunar.
- Kuralın sonculuna ait olan orijinal üyelik fonksiyonu, tüm üyelik derecelerini kuralın öncülünün üyelik derecesi ile çarpmak suretiyle ayarlanır.
- Genellikle daha az bilgi kaybeden bu yöntem, bulanık sistemlerde daha kullanışlı olabilir.

Kırpılmış ve ölçeklenmiş üyelik fonksiyonları



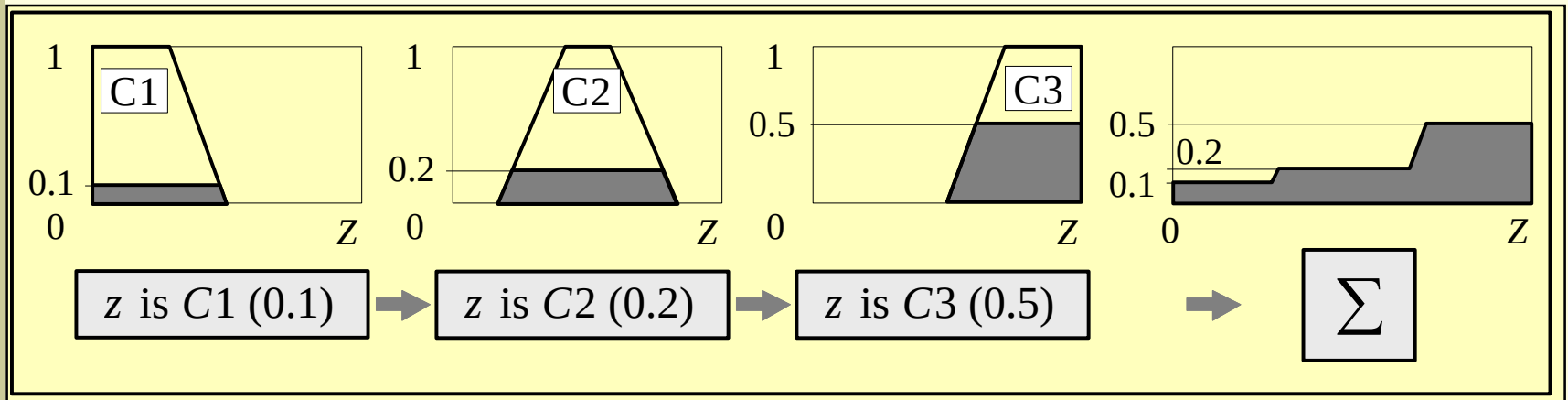
Max-Min Kompozisyonu

Max-Çarpım Kompozisyonu

Adım 3: Kural Çıktılarının Bir Araya Getirilmesi

- Bir araya getirme, tüm kuralların çıktılarının birleştirilmesi sürecidir.
- Daha önce kırpılmış veya ölçeklendirilmiş tüm kural sonucullarının üyelik fonksiyonları ele alınıp bunlar tek bir bulanık küme halinde birleştirilir.

Kural çıktılarının bir araya getirilmesi



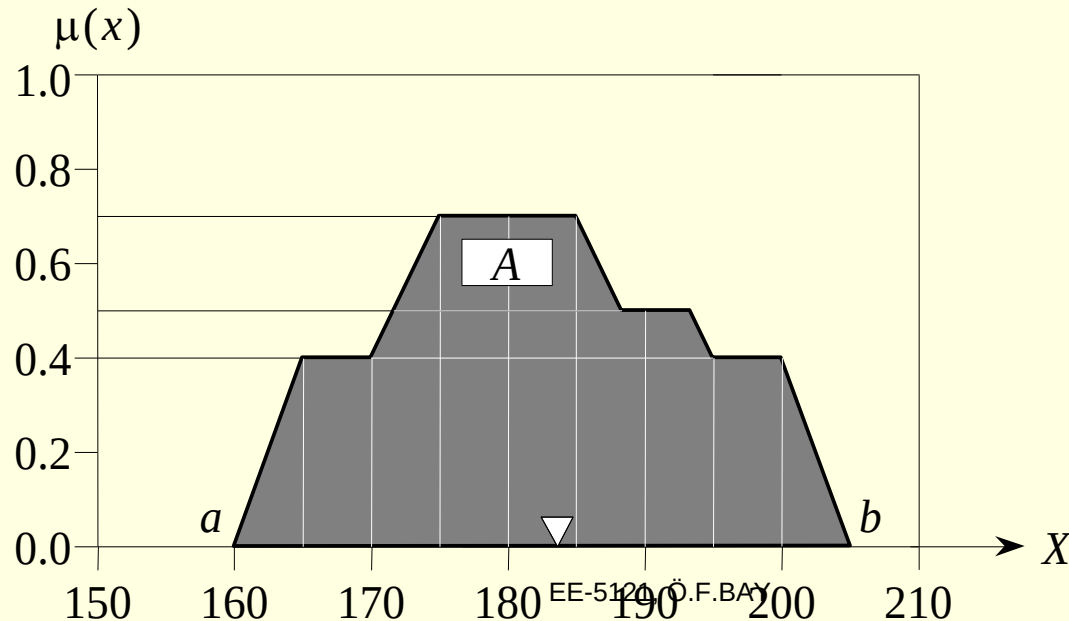
Adım 4: Durulaştırma

- Bulanıklık, kuralları değerlendirmemize yardımcı olur, ancak bulanık bir sistemin nihai çıktısı keskin bir sayı olmalıdır.
- Durulaştırma işleminin girişi, bir araya getirilmiş bulanık bir kümedir ve çıkışı ise tek bir sayıdır.

- Bir çok durulaştırma yöntemi vardır, ancak en popüler olanı ağırlık merkezi (centroid) tekniğidir.
- Matematiksel olarak ağırlık merkezi **[centre of gravity (COG)]** şu şekilde ifade edilir:

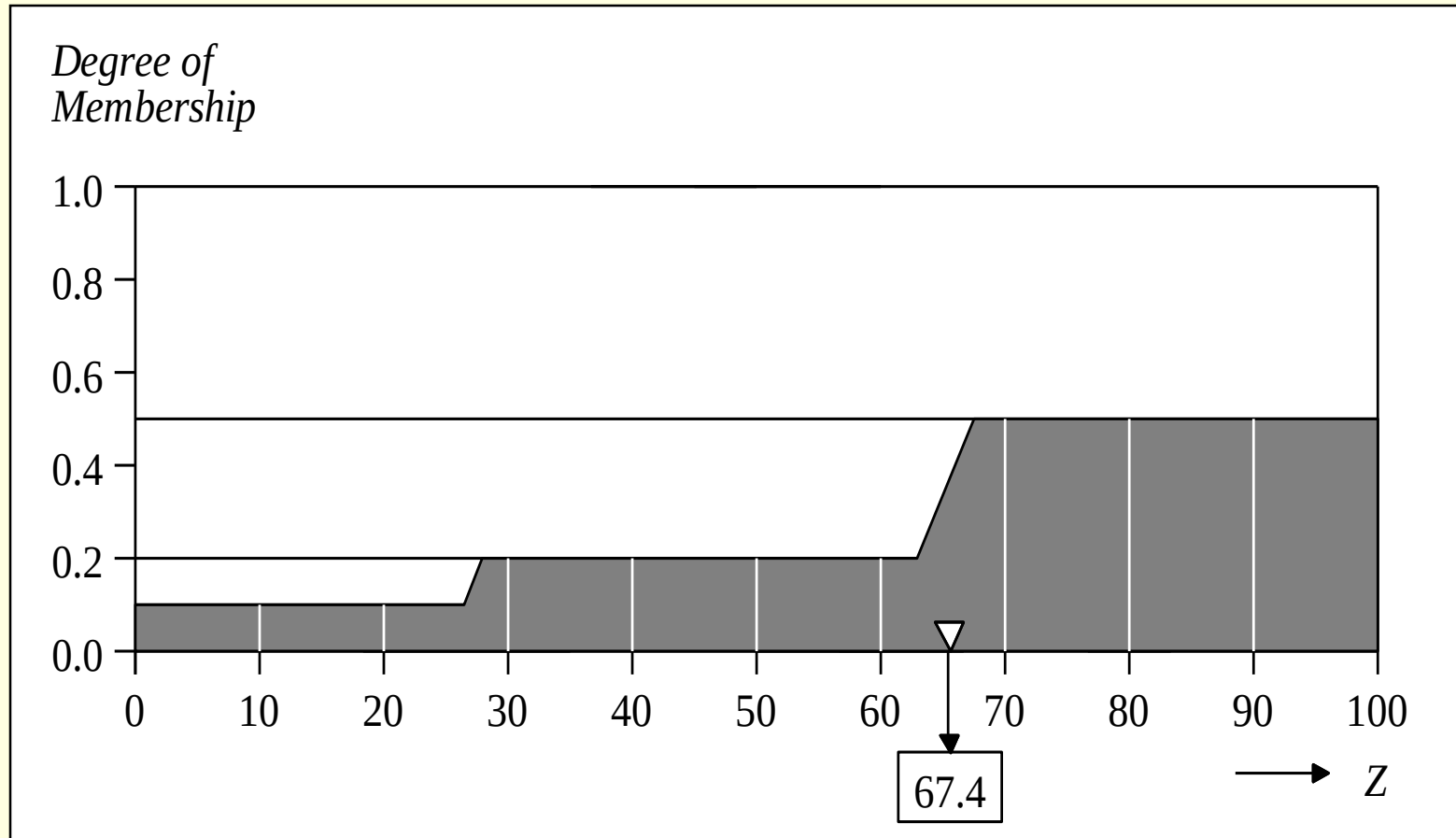
$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx}$$

- Centroid bulaşıklıklaştırma yöntemi bulanık A kümesinin ağırlık merkezini temsil eden a-b aralığında bir nokta bulur.
- Kabul edilebilir bir tahmin, çeşitli örnekleme noktaları üzerinden hesaplanarak elde edilebilir.



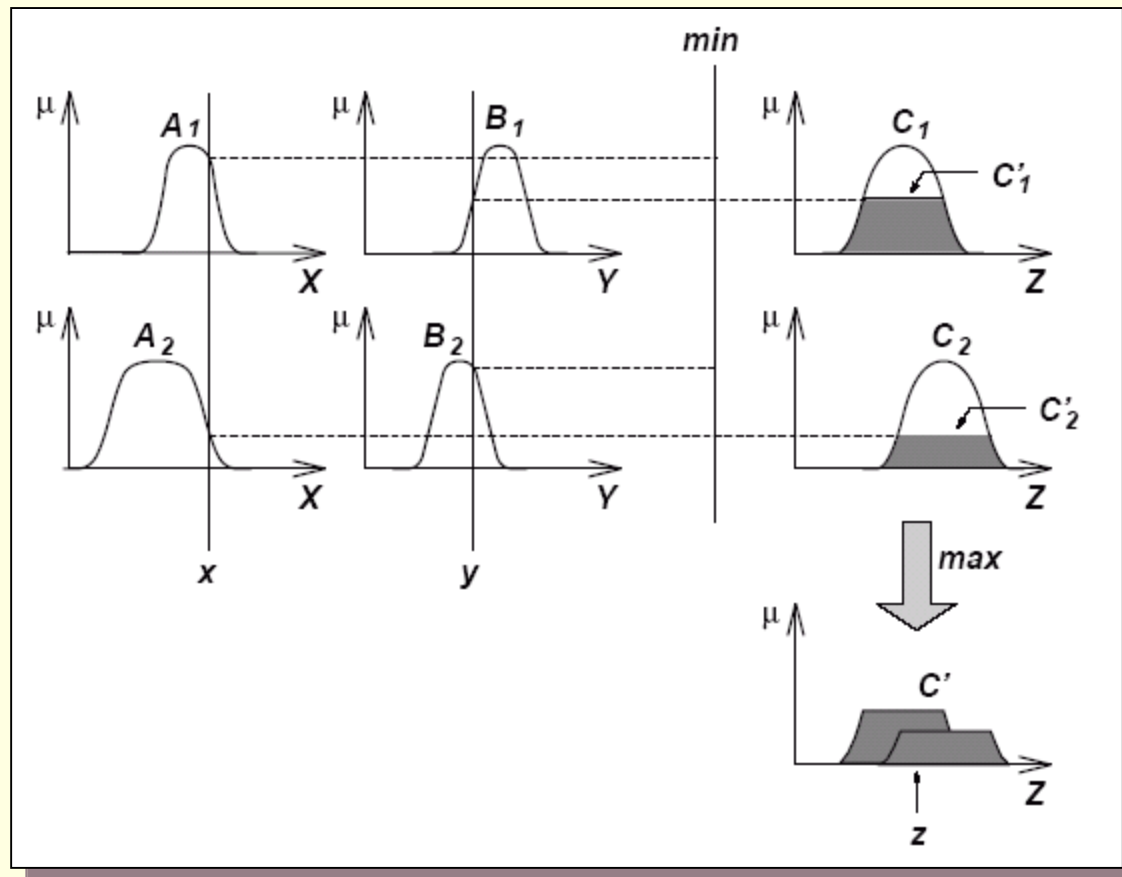
Ağırlık Merkezi (Centre of gravity):

$$COG = \frac{(0+10+20) \times 0.1 + (30+40+50+60) \times 0.2 + (70+80+90+100) \times 0.5}{0.1+0.1+0.1+0.2+0.2+0.2+0.2+0.5+0.5+0.5+0.5} = 67.4$$



Muhakeme Şeması

Max-Min Kompozisyon kullanılmakta



Mamdani Bulanık Modeli Örnekleri

Örnek #1

Tek giriş tek çıkışlı üç kurallı Mamdani bulanık modeli:

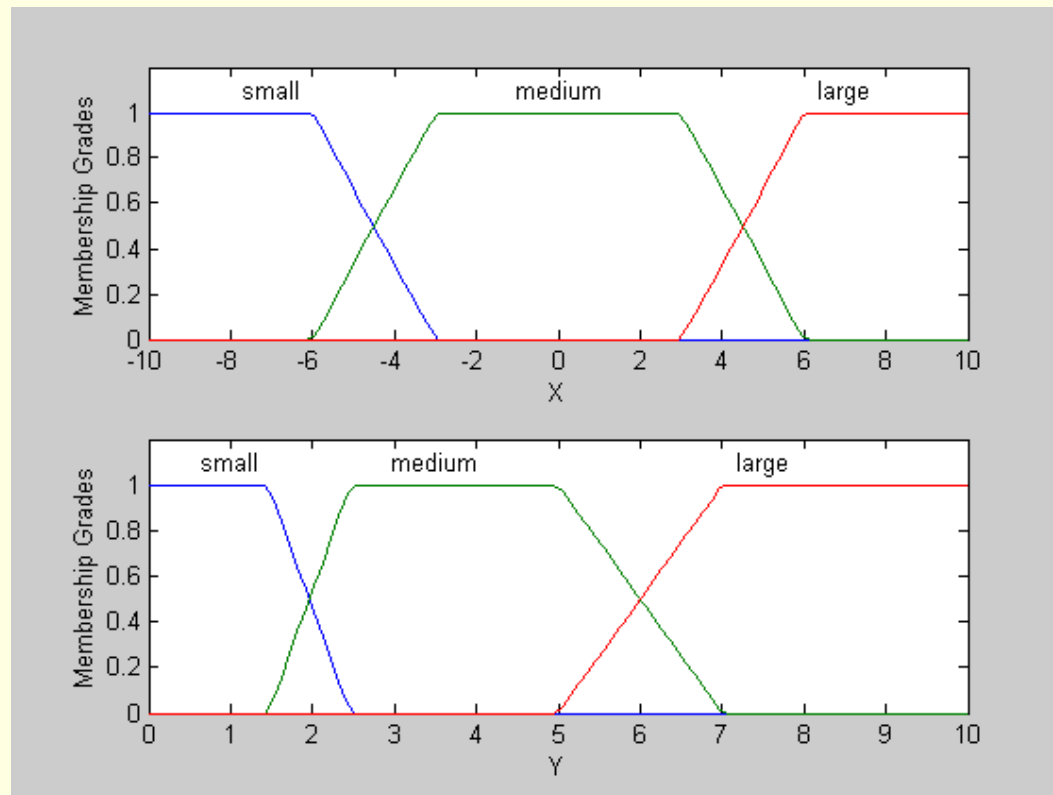
If X is small then Y is small $\rightarrow R_1$

If X is medium then Y is medium $\rightarrow R_2$

Is X is large then Y is large $\rightarrow R_3$

X = giriş $\in [-10, 10]$ Y = çıkış $\in [0, 10]$

Tek giriş tek çıkış öncül ve soncul Üyelik Fonksiyonları



Örnek #2 (Mamdani bulanık modeli)

İki giriş tek çıkışlı, 4 kurallı Mamdani bulanık modeli:

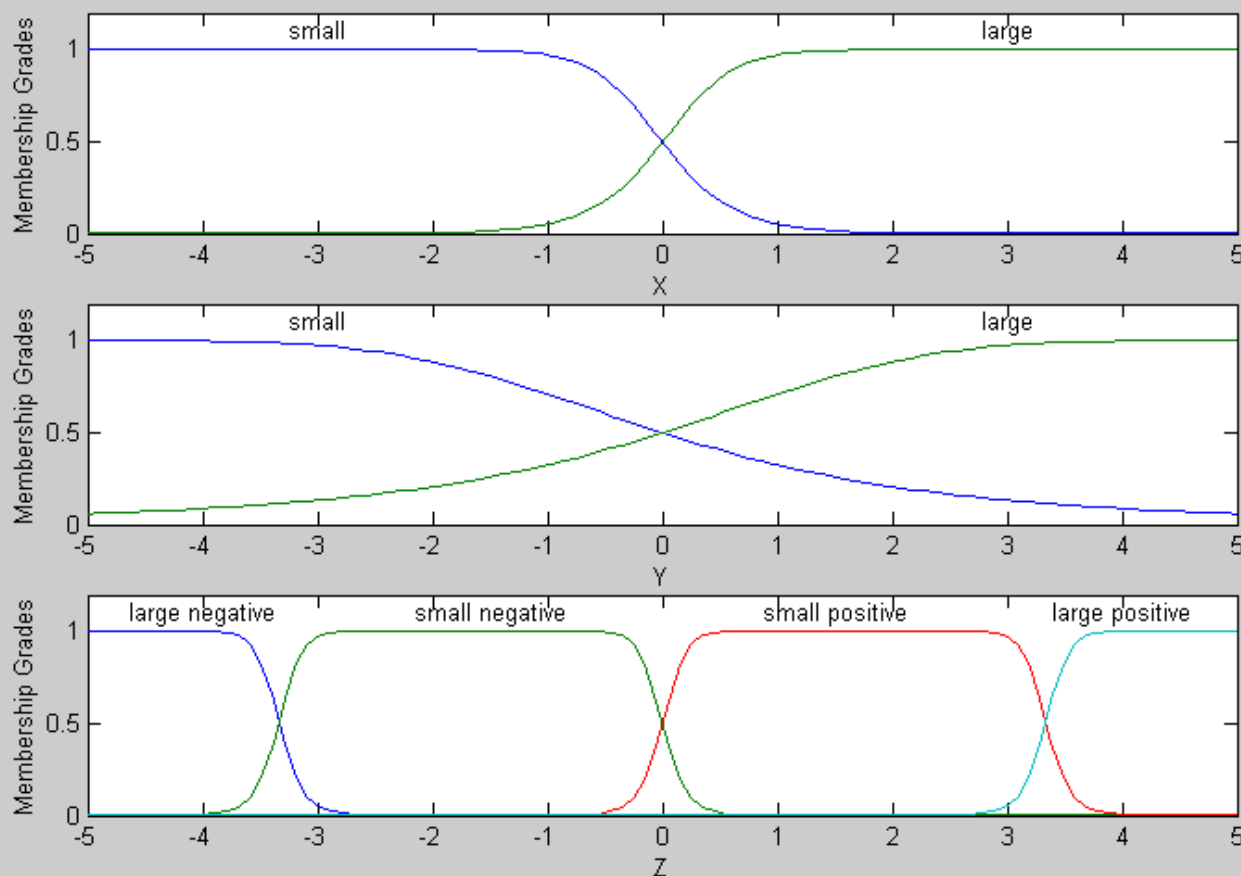
If X is small & Y is small then Z is negative large

If X is small & Y is large then Z is negative small

If X is large & Y is small then Z is positive small

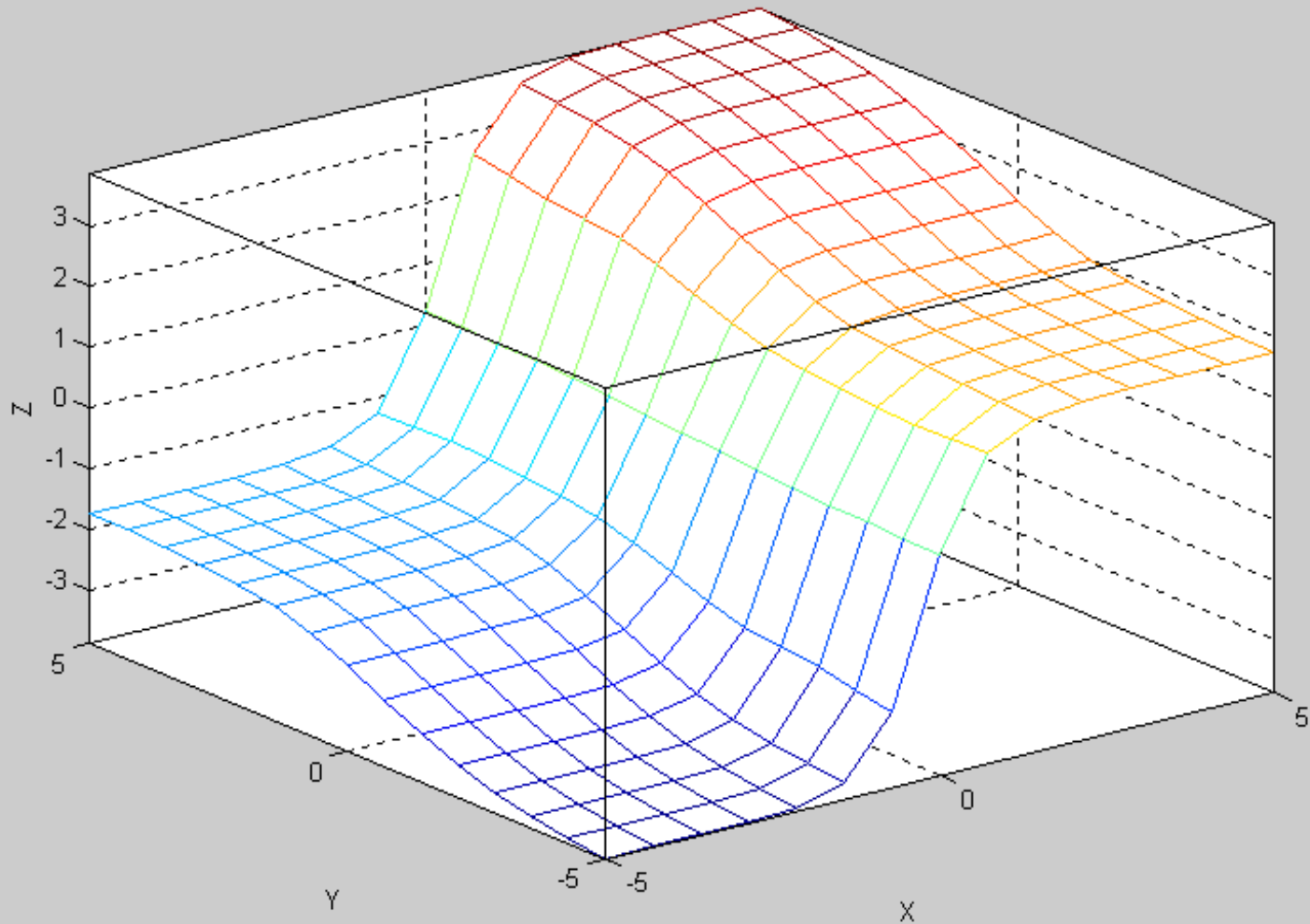
If X is large & Y is large then Z is positive large

$$X = [-5, 5]; Y = [-5, 5]; Z = [-5, 5]$$



İki girişli tek çıkışlı bir sistemin öncül ve soncul MF

max-min kompozisyon ve ağırlık merkezi durulaştırmayla toplam
giriş-çıkış yüzeyini belirleme

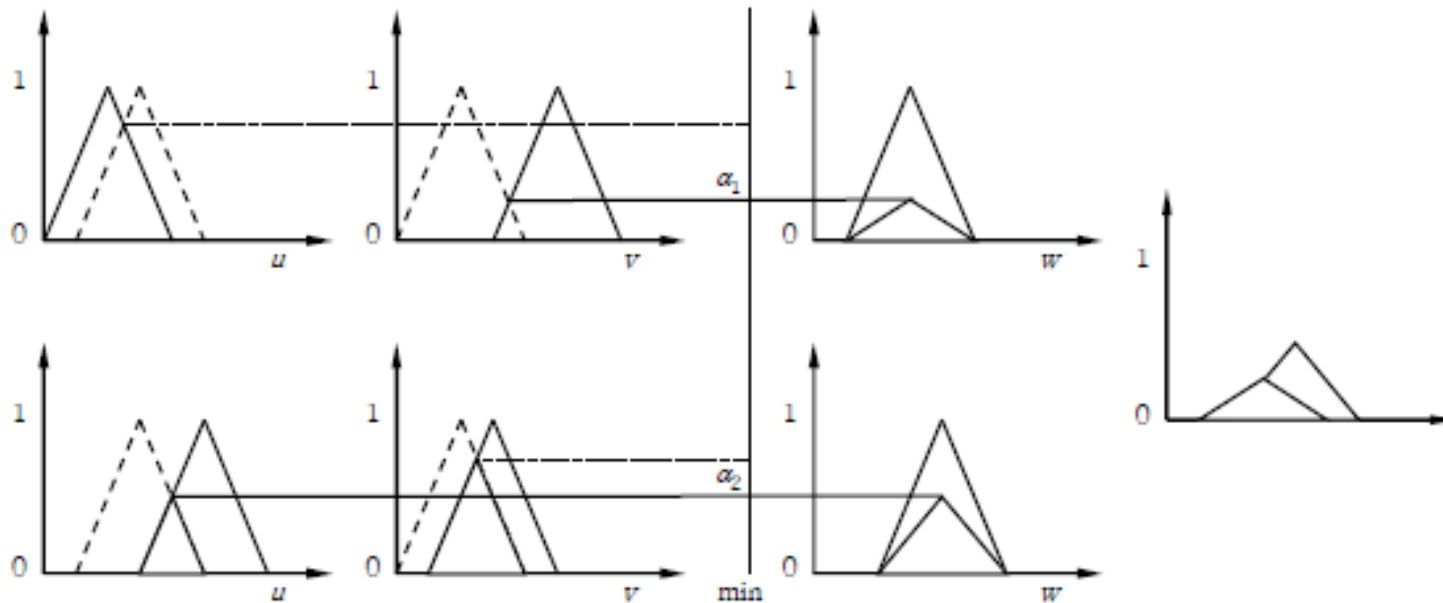


Toplam giriş-çıkış yüzeyi

Larsen Bulanık Modeli

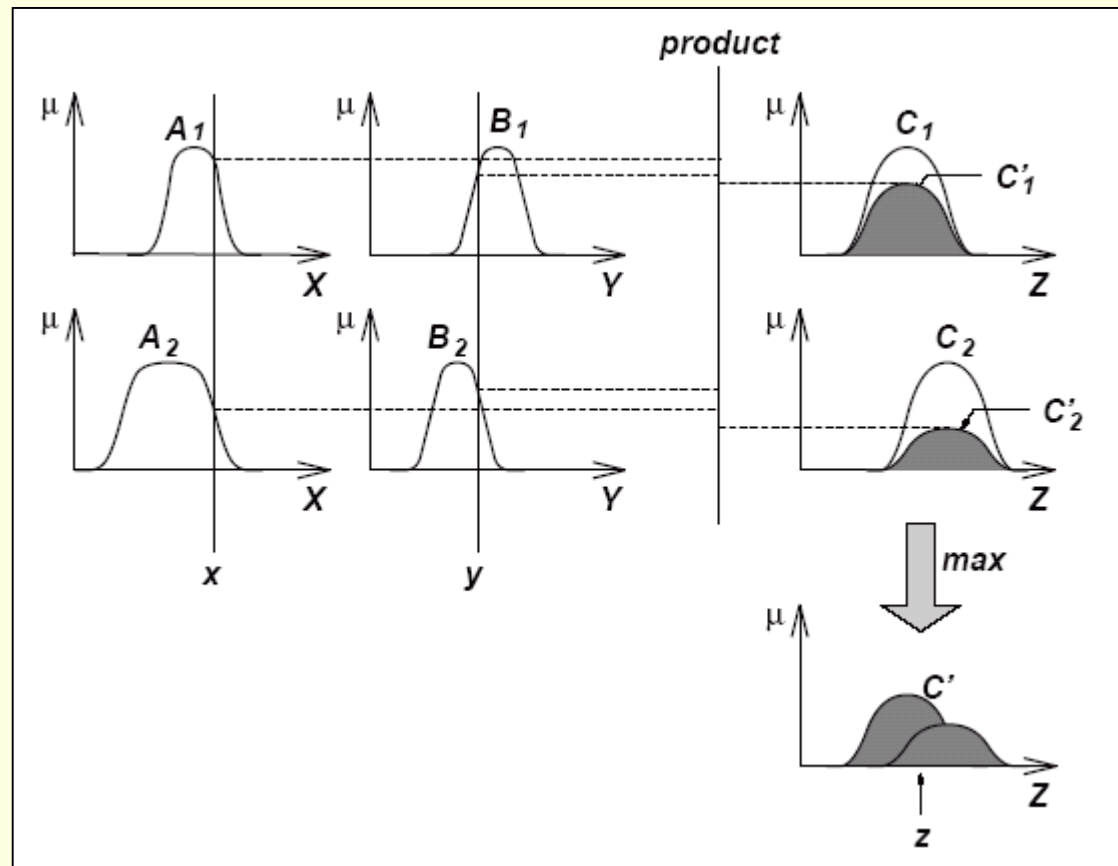
Çıkarım yöntemi: Larsen

- Bulanık implikasyon için çarpım operatörü ($\bullet$)
- Kompozisyon için Max-çarpım operatörü



Bulanık Muhakeme Şeması

Max-Çarpım Kompozisyon kullanıldığında



Bulanık Denetim Sistemleri

Sugeno Bulanık Modeli

Sugeno Bulanık Modeli

- TSK bulanık modeli olarak ta bilinir
 - Takagi, Sugeno & Kang, 1985
- Hedef: Verilen giriş-çıkış veri kümesinden bulanık kuralların üretilmesi.

Sugeno Bulanık Denetim

- Mamdani tipi çıkarım, sürekli değişen bir fonksiyona entegre edilerek iki boyutlu bir şeklin merkezini bulmayı gerektirir.
- Genel olarak, bu işlem, hesaplama açısından verimli değildir.
- **Michio Sugeno**, kuralın sonculuna ait üyelik fonksiyonu olarak bulanık teklik (singleton) önermektedir.
- **Bulanık teklik**, evrensel küme üzerindeki tek bir noktada tam üyelik derecesine sahip bir üyelik fonksiyonlu bir bulanık kümedir.

Sugeno Bulanık Denetim

- Sugeno tipi bulanık çıkarım, Mamdani yöntemine çok benzemektedir.

Sugeno sadece kuralın sonculunu değiştirmektedir. Bir bulanık küme yerine, giriş değişkeninin matematiksel bir fonksiyonunu kullanmaktadır.

- **Sugeno-tipi bulanık kuralın** biçimi;

IF x is A AND y is B
THEN z is $f(x, y)$

- burada x , y ve z sözel değişkenlerdir.
- A ve B kümeleri X ve Y evrensel kümelerinde bulanık kümelerdir .
- $f(x, y)$ matematiksel bir fonksiyondur.

Sugeno Bulanık Denetim

En sık kullanılan **Sugeno bulanık modeli** bulanık kuralları aşağıdaki biçimde uygular:

**IF x is A AND y is B
THEN z is k**

burada k bir sabittir.

- Bu durumda, her bulanık kuralın çıktısı sabittir.
- Bütün soncul çıkan üyelik fonksiyonları bulanık teklik ile temsil edilir.

TSK Modeli'nin Bulanık Kuralları

If x is A and y is B then $z = f(x, y)$

Bulanık kümeler

Keskin fonksiyon

$f(x, y)$ genellikle x ve y 'ye göre
bir polinom fonksiyonudur.

Örnekler

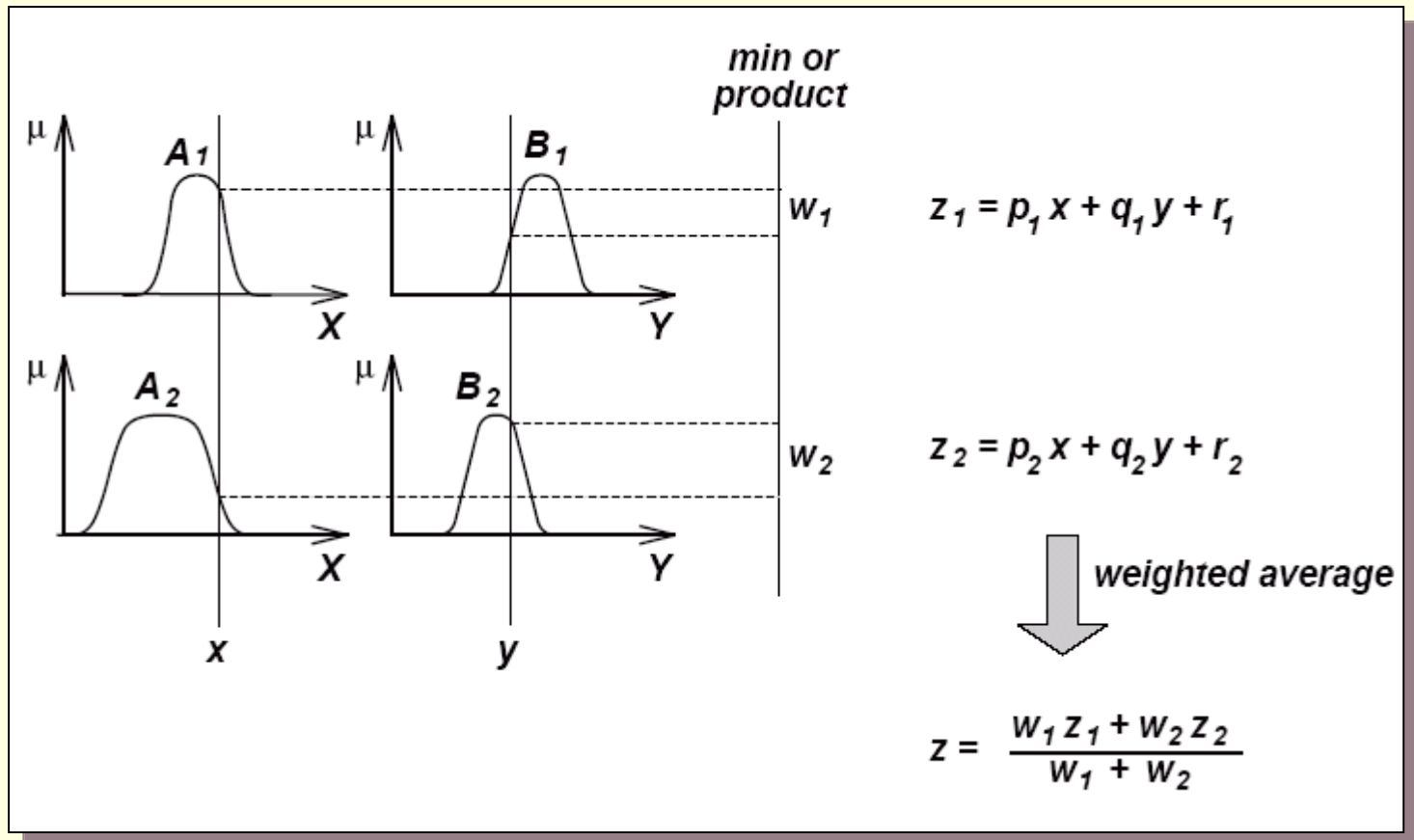
R1: if X is small and Y is small then $z = -x + y + 1$

R2: if X is small and Y is large then $z = -y + 3$

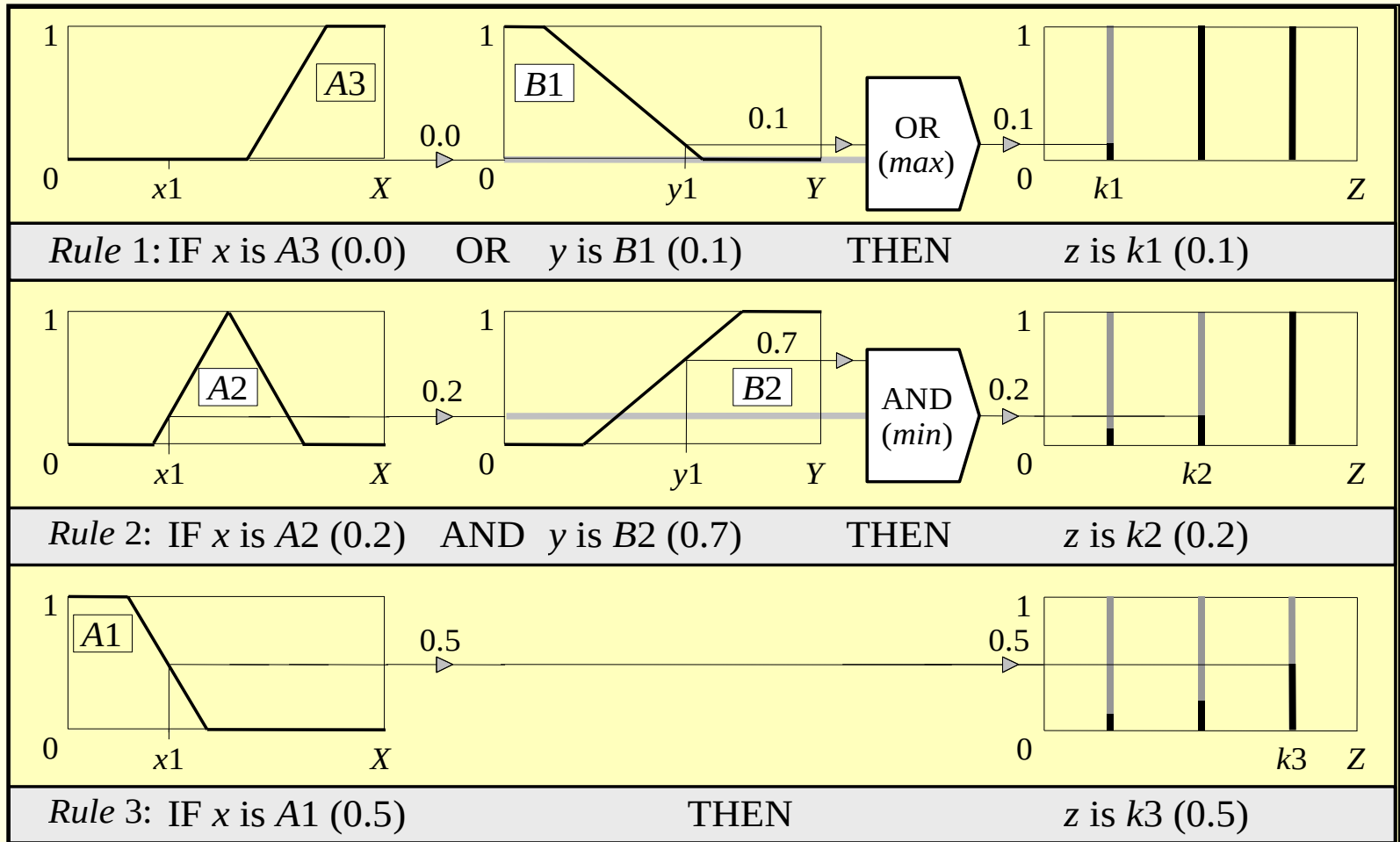
R3: if X is large and Y is small then $z = -x + 3$

R4: if X is large and Y is large then $z = x + y + 2$

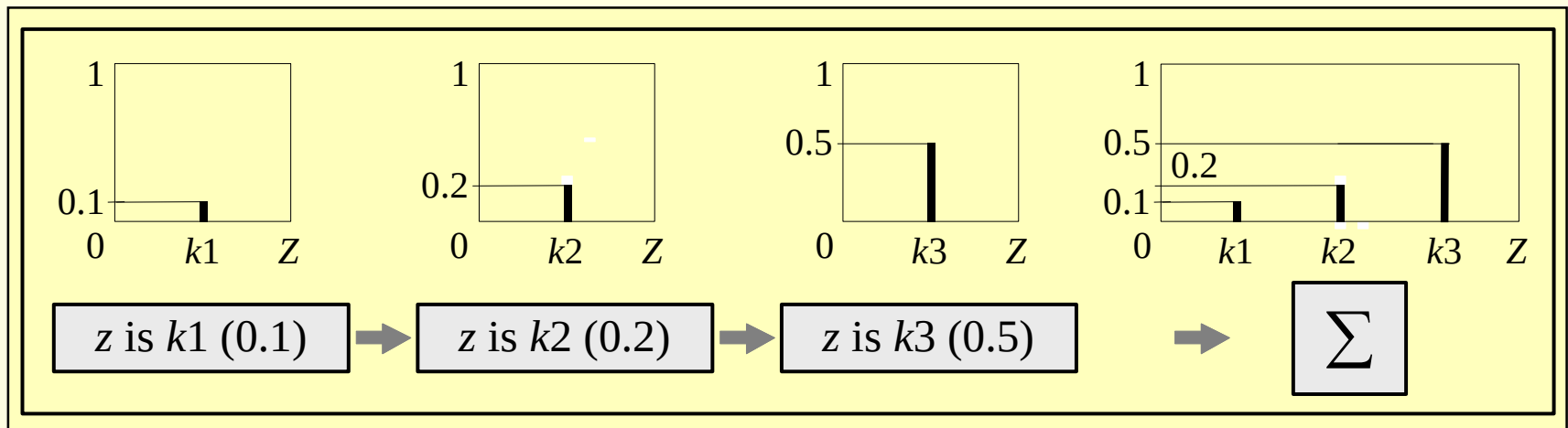
Muhakeme Şeması



Sugeno-tipi kural değ erlendirmesi



Sugeno-tipi kural çıktılarının bir araya getirilmesi



Ağırlıklı ortalama (weighted average):

$$WA = \frac{\mu(k1) \times k1 + \mu(k2) \times k2 + \mu(k3) \times k3}{\mu(k1) + \mu(k2) + \mu(k3)} = \frac{0.1 \times 20 + 0.2 \times 50 + 0.5 \times 80}{0.1 + 0.2 + 0.5} = 65$$

Sugeno-tipi durulaştırma

