

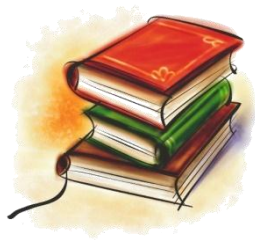
# مبانی رایانش نرم

فازی: کنترل‌گرها

هادی ویسی

[h.veisi@ut.ac.ir](mailto:h.veisi@ut.ac.ir)

دانشگاه تهران - دانشکده علوم و فنون نوین



- کنترل (کلاسیک)
- کنترل فازی
- ۵ گام طراحی یک کنترل گر فازی
- روش های غیرفازی کردن
- مثال کنترل گر فازی: آونگ معکوس
- مثال کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع
- انواع کنترل گر فازی
- کنترل گر فازی: استنتاج با شبکه های عصبی
- کنترل گر فازی: نمونه ها
- پایداری کنترل گر فازی



## کنترل ...

### ○ هدف از کنترل یک سیستم

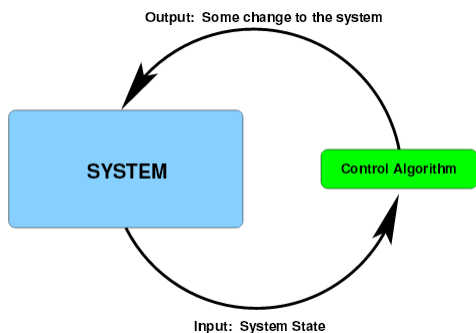
- ایجاد یک ارتباط درست بین ورودی و خروجی (یا حالت داخلی) سیستم

### ○ مثال: کولر (تنظیم خودکار دمای اتاق)

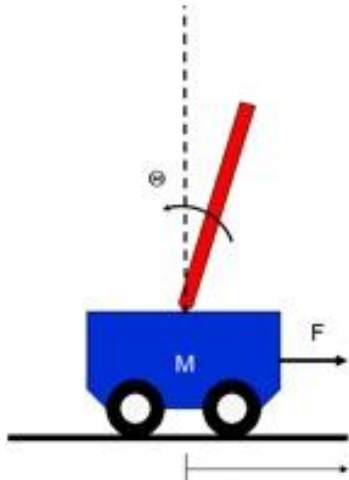
- هدف: حفظ درجه حرارت اتاق در دمای مشخص (مثلاً ۲۰ درجه)
- متغیر خروجی: دمای اتاق

○ در کنترل: علاوه بر مقدار متغیر خروجی، میزان تغییرات آن (مشتق) را هم در نظر می گیرند

- متغیر کنترل: ترموستات (متغیری که خروجی را تنظیم می کند)
- متغیر(های) اختلال: دمای بیرون، تابش خورشید و .... (متغیرهایی که خروجی را تحت تاثیر قرار می دهند)



# کنترل ...



## مثال: آونگ معکوس

عمودی نگه داشتن آونگ (میله) در حین حرکت

متغیر خروجی

زاویه آونگ با خط عمودی =  $e$

تعبیرات زاویه آونگ = مشتق  $e$

مقدار مطلوب: هر دو متغیر صفر باشند

متغیر کنترل

نیرو  $F$  (سرعت حرکت گاری)

مدلسازی

در نظر گرفتن

جرم آونگ ( $m$ )

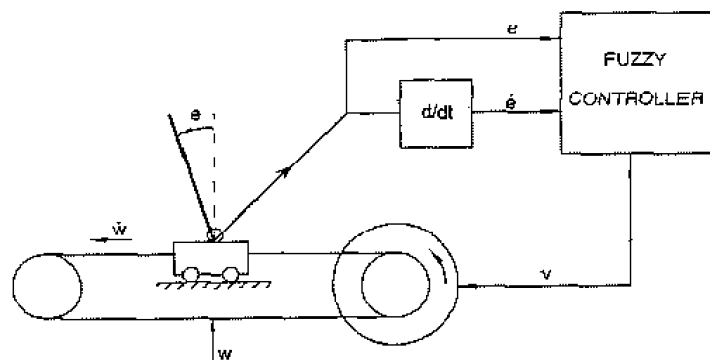
جرم گاری ( $M$ )

طول آونگ ( $2L$ )

مکان گاری ( $w$ ) - مشتق دوم

نیروهای افقی و عمودی میله ( $H$  و  $V$ )

ممان سکون ( $I = mL^2/3$ )



$$I\ddot{e} = VL \sin e - HL \cos e,$$

$$V - mg = -mL(\ddot{e} \sin e + \dot{e}^2 \cos e),$$

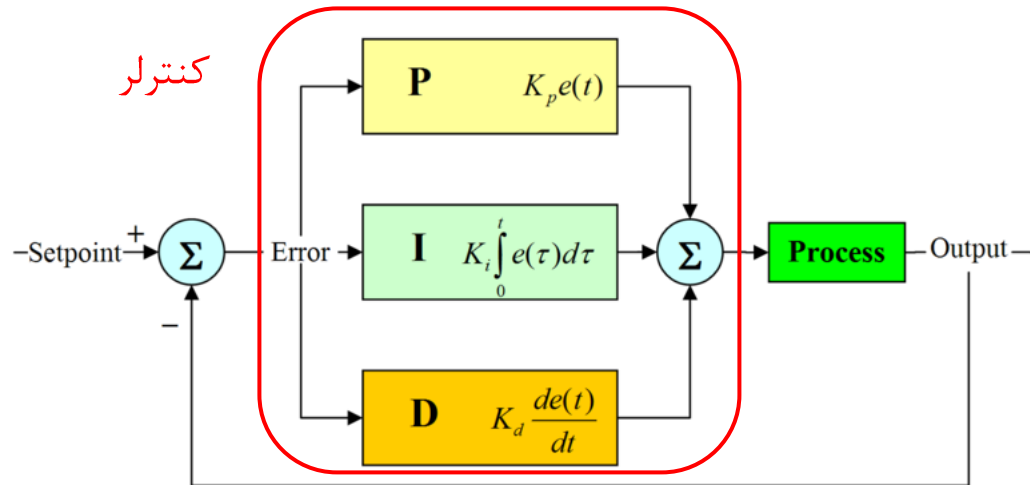
$$H = m\ddot{w} + mL(\ddot{e} \cos e - \dot{e}^2 \sin e)$$

$$U - H = M\ddot{w},$$

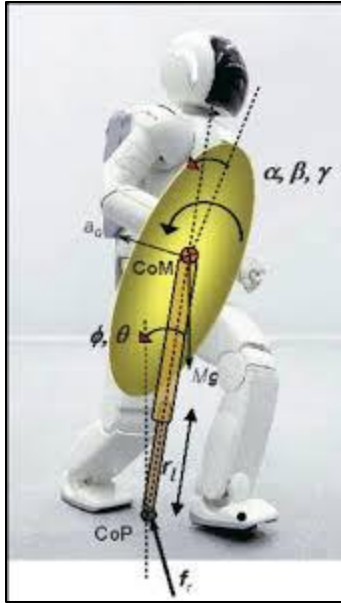
## کنترل ...

### ○ کنترل کلاسیک

- استخراج مدل فیزیکی از فرآیند موردنظر
  - استفاده از قوانین فیزیکی حاکم بر پروسه
  - استفاده از تکنیک‌های شناسایی سیستم
- مدل کردن سیستم با روابط ریاضی (معادلات دیفرانسیل)
- طراحی کنترل گر برای مدل بدست آمده
  - PID, state feedback, feedback linearization ...



## کنترل ...

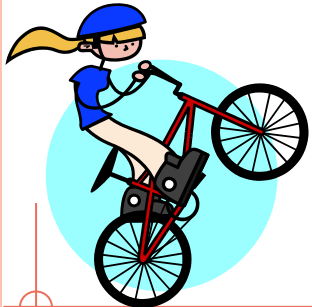


### ○ مشکلات کنترل گرهای کلاسیک

- زمان بر بودن طراحی مدل های مناسب
- نیاز به پیش نیازهای تئوری برای طراح
- حساسیت کنترل گر به خطای مدل سازی
- ممکن نبودن طراحی کنترل گر برای بعضی از فرآیندها
  - حل روابط در بیشتر موارد پیچیده و گاهی غیرممکن
  - ساده سازی مدل فرآیند (مثلاً خطی سازی)

### ○ امکان کنترل با روش های ساده تر

- یک کودک بدون دانستن معادلات دیفرانسل و استفاده از آن، یک دوچرخه را به سادگی کنترل می کند



## کنترل فازی ...

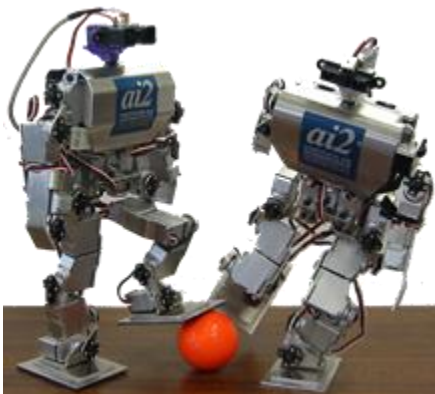
○ موفق ترین سیستم های فازی در صنعت و تجارت

○ کنترل گرهای فازی

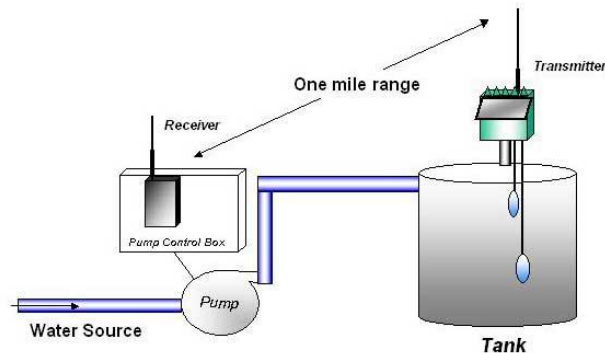
- بیان اطلاعات در قالب زبان طبیعی انسان
- استفاده از تجربه انسان
- طراحی بسیار آسان
- امکان طراحی کنترل کننده با تجارب سرانگشتی و عدم نیاز به مدل پیچیده ریاضی
- ارزان بودن سیستم های کنترل فازی
- مقاوم بودن کنترل گر در برابر نویز

○ مثال (دنیای واقعی)

- یادگیری راندن دوچرخه و کنترل آن
- رانندگی و کنترل خودرو (پارک کردن خودرو)
- کنترل دمای اتاق



## کنترل گر فازی (مثال) ...



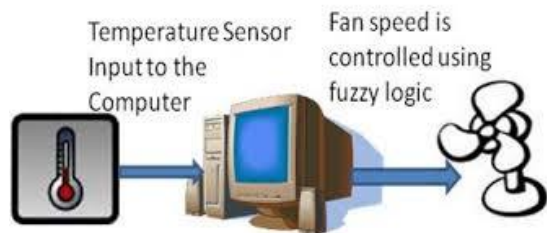
### ○ کنترل سطح آب در یک تانکر

- از یک شیر برای پر کردن یک تانکر، هنگام خالی شدن استفاده می شود
- **هدف:** ریختن آب زمانی که سطح آب از حدی کمتر شد
- قوانین

- اگر سطح آب از حد مورد نظر کمتر بود **آنگاه** شیر آب را باز کن
- اگر سطح آب از حد مورد نظر بیشتر بود **آنگاه** شیر آب را ببند

○ مجموعه فازی: کمتر ، بیشتر

○ متغیر حالت: سطح آب



### ○ کنترل سرعت پنکه (کولر) جهت تنظیم دمای اتاق

- **دانش:** اگر هوا **گرم** بود سرعت را **زیاد** کن و اگر هوا **خنک** بود سرعت را **کم** کن.
- در نظر گرفتن تعدادی حالت برای دمای هوا تعدادی حالت برای سرعت

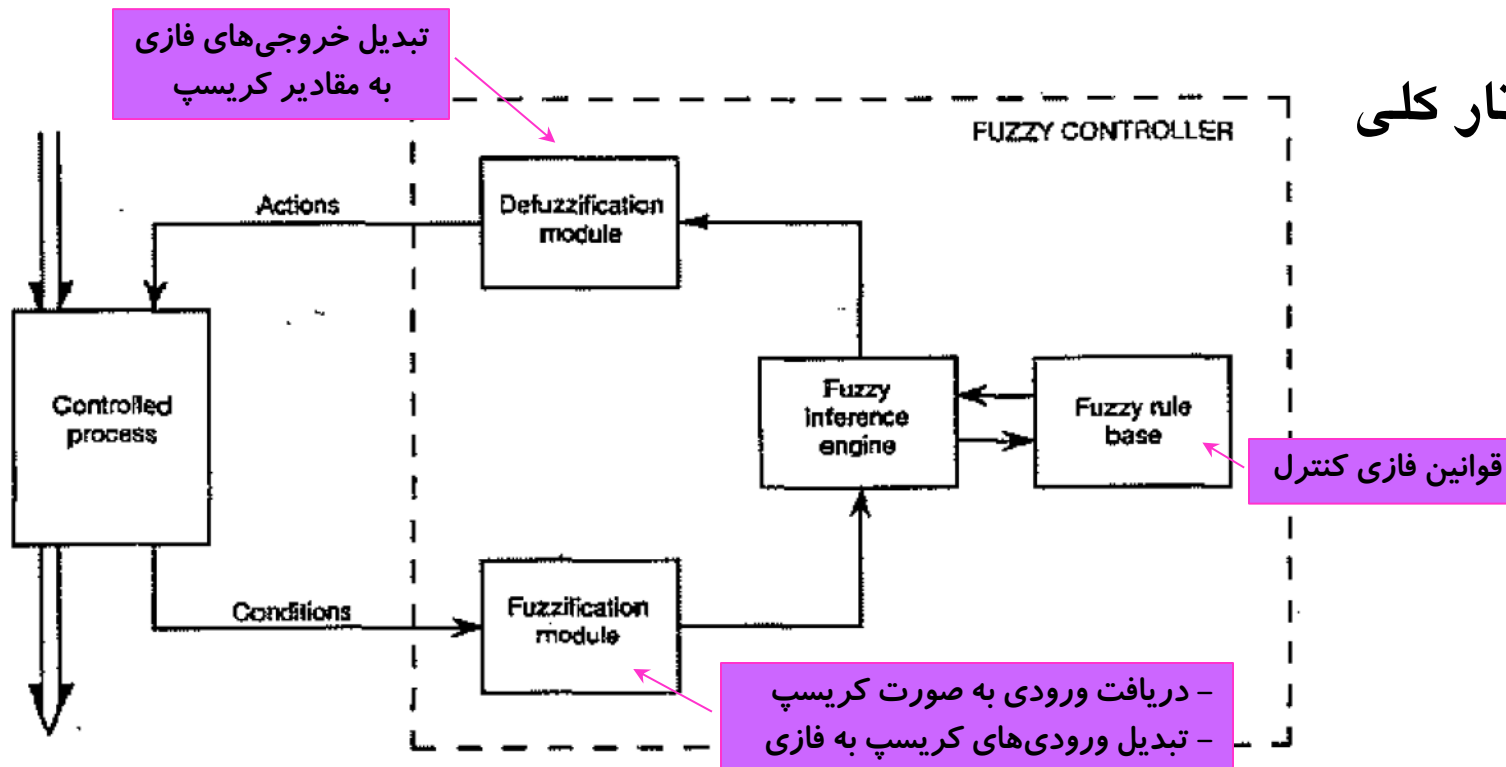


## کنترل گر فازی ...

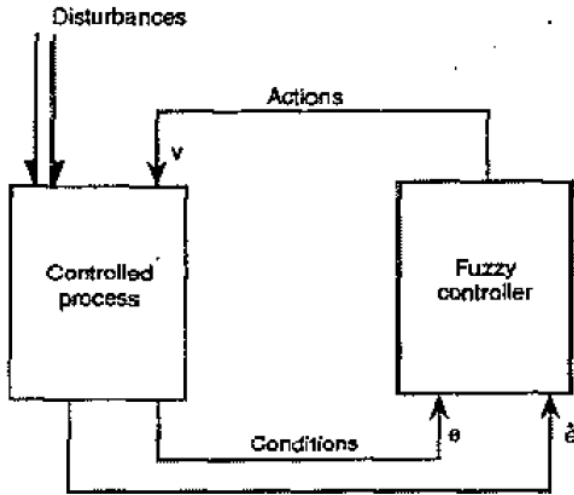
یکی از انواع سیستم‌های خبره مبتنی بر دانش

- استفاده از دانش بشری در قالب قوانین فازی
- به کارگیری استنباط فازی برای تصمیم‌گیری

ساختار کلی



## کنترل گر فازی: ۵ گام طراحی ..



### طراحی در ۵ گام ...

- ورودی: خطا (e) و مشتق آن (ė)
- خروجی: v

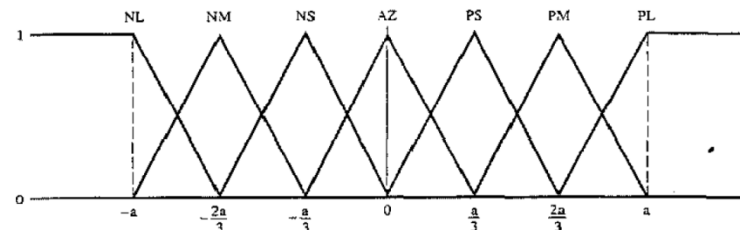
### گام اول: انتخاب عبارات زبانی برای متغیرها و بیان مجموعه فازی مرتبط

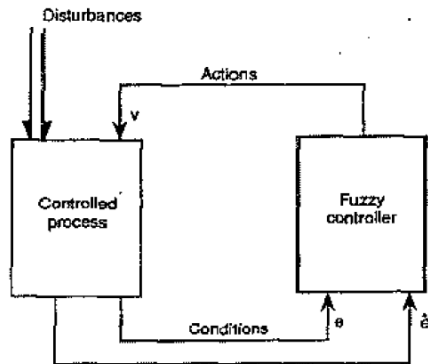
- در بیشتر موارد، مجموعه‌های فازی، اعداد فازی هستند
- در مثال، e در بازه  $[-a, a]$ ، ė در بازه  $[-b, b]$  و v در بازه  $[-c, c]$

NL—negative large  
NM—negative medium  
NS—negative small  
AZ—approximately zero

PL—positive large  
PM—positive medium  
PS—positive small

برای e





## کنترل گر فازی: ۵ گام طراحی ...

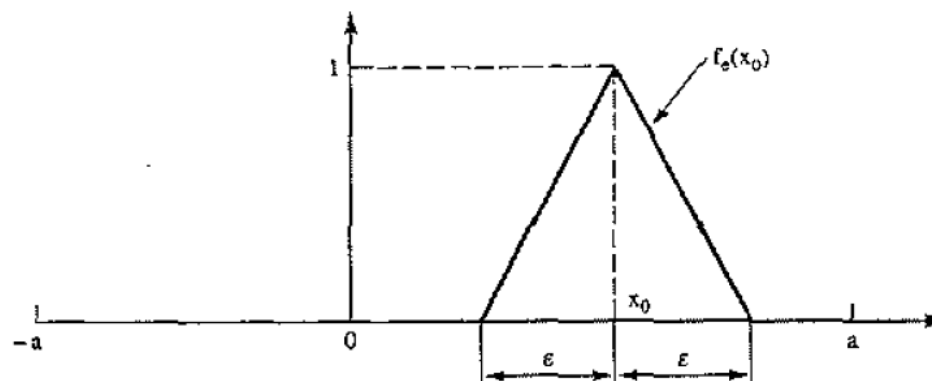
### ○ گام دوم: فازی کردن (fuzzification) ورودی(ها)

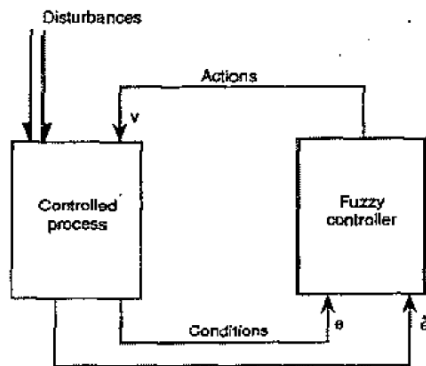
- تابعی برای تبدیل مقدار ورودی به یک عدد فازی  $f_e : [-a, a] \rightarrow \mathcal{R}$

دامنه ورودی

مجموعه اعداد فازی

- در برخی موارد، عمل فازی کردن انجام نمی شود  $f_e(x_0) = x_0$





## کنترل گر فازی: ۵ گام طراحی ...

### گام سوم: بیان دانش مساله با قوانین استنتاج فازی

If  $e = A$  and  $\dot{e} = B$ , then  $v \approx C$

○ A, B و C اعداد فازی

○ بیانگر یکی از ۷ متغیر زبانی هستند

NL—negative large  
NM—negative medium  
NS—negative small  
AZ—approximately zero

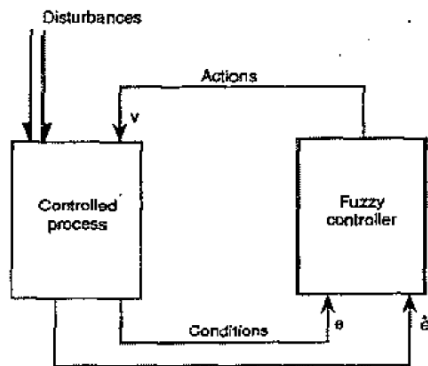
PL—positive large  
PM—positive medium  
PS—positive small

		ē							
v		NL	NM	NS		AZ	PS	PM	PL
ē	NL	PL					PM	AZ	
	NM								
	NS	PM		PM	PS	AZ	NM		
	AZ			PS	AZ	NS			
	PS			AZ	NS	NM			
	PM	AZ		NM		NL			
	PL								

### • استخراج قوانین بر اساس تجربه اپراتور انسانی

- دو متغیر ورودی، هر کدام ۷ حالت = ۴۹ قانون
- در عمل تعداد محدودتری قانون کافیهست
- استفاده از روش‌های آماری برای یافتن قوانین بهتر

### • استخراج قوانین بر اساس داده‌های تجربی و با روش‌های یادگیری (شبکه عصبی)



## کنترل گر فازی: ۵ گام طراحی ...

### ○ گام چهارم: استنتاج فازی (تولید پاسخ برای ورودی)

If  $e = A$  and  $\dot{e} = B$ , then  $v \approx C$  ➡ If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A \times B$ , then  $v$  is  $C$



$$[A \times B](x, y) = \min[A(x), B(y)]$$

• دریافت ورودی  $\langle e_0, \dot{e}_0 \rangle = f_e(x_0) \times f_{\dot{e}}(y_0)$

*Rule 1 :* If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A_1 \times B_1$ , then  $v$  is  $C_1$

*Rule 2 :* If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A_2 \times B_2$ , then  $v$  is  $C_2$

.....  
*Rule n :* If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A_n \times B_n$ , then  $v$  is  $C_n$

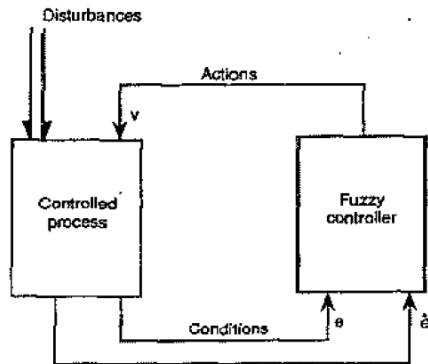
*Fact :*  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $f_e(x_0) \times f_{\dot{e}}(y_0)$

---

*Conclusion :*  $v$  is  $C$

• استفاده از همه قوانین

• محاسبه خروجی  $C = \bigcup_j [f_e(x_0) \times f_{\dot{e}}(y_0)] \circ R_j$



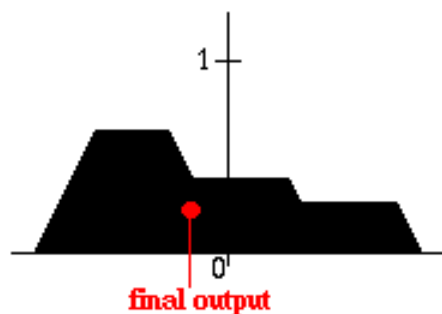
## کنترل گر فازی: ۵ گام طراحی ...

### ○ گام پنجم: غیرفازی کردن (defuzzification)

- تبدیل مجموعه (عدد) فازی به عدد حقیقی (کریسپ)

#### • روش های مختلف

- بیشینه مقدار (max)
- مرکز ناحیه (centroid method, center of gravity, center of area)
- مرکز بیشینه (center of maxima)
- میانگین بیشینه (mean of maxima)





## کنترل گر فازی: غیر فازی کردن ...

### ○ مرکز ناحیه (center of area)

- جایی که مساحت زیر منحنی تابع عضویت به دو بخش مساوی تقسیم می شود
- محاسبه امید ریاضی برای متغیر مورد نظر

$$d_{CA}(C) = \frac{\sum_{k=1}^n C(z_k) z_k}{\sum_{k=1}^n C(z_k)}, \quad \text{در حالت گسسته} \quad d_{CA}(C) = \frac{\int_{-c}^c C(z) z dz}{\int_{-c}^c C(z) dz} \quad \text{در حالت پیوسته}$$

- در حالت گسسته، برای مواردی که حاصل هیچ کدام از مقادیر مجموعه جهانی نباشد، نزدیک ترین مقدار انتخاب می شود



## کنترل گر فازی: غیر فازی کردن ...

### ○ مرکز بیشینه (center of maxima)

- میانگین کمترین و بیشترین مقدار بیشینه تابع عضویت

- حالت پیوسته

$$d_{CM}(C) = \frac{\inf M + \sup M}{2},$$

ارتفاع

$$M = \{z \in [-c, c] | C(z) = h(C)\}.$$

- حالت گسسته

$$d_{CM}(C) = \frac{\min\{z_k | z_k \in M\} + \max\{z_k | z_k \in M\}}{2}$$

$$M = \{z_k | C(z_k) = h(C)\}.$$





## کنترل گر فازی: غیرفازی کردن ...

### ○ میانگین بیشینه (mean of maxima)

- میانگین تمام مقادیری که تابع عضویت برای آن بیشینه است
- استفاده برای حالت گسسته

○ قابل محاسبه برای حالت پیوسته

$$d_{MM}(C) = \frac{\sum_{z_k \in M} z_k}{|M|}$$

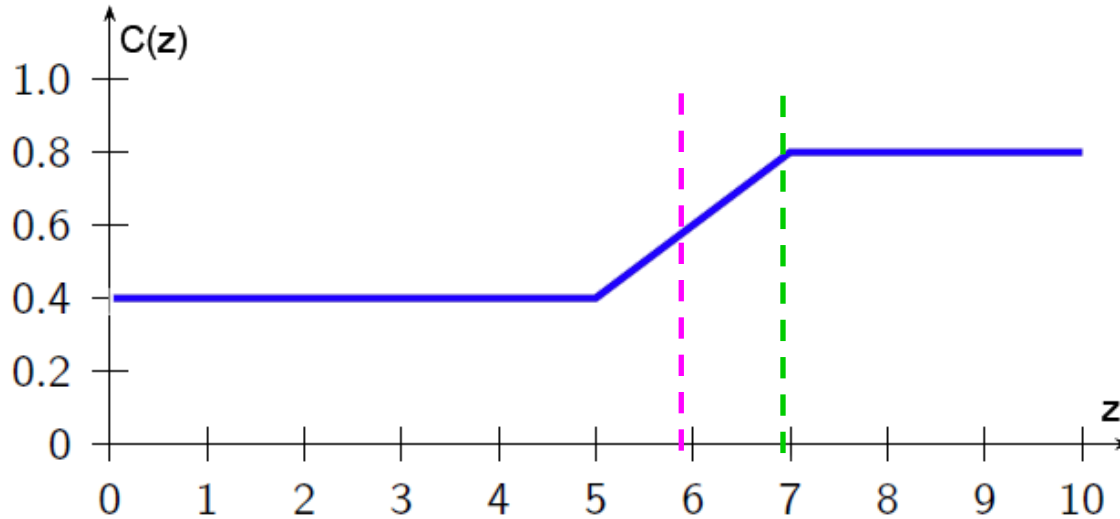
$$M = \{z_k | C(z_k) = h(C)\}$$

- میانگین فوق می تواند وزن دار باشد



# کنترل گر فازی: غیر فازی کردن ...

مثال ...



• مرکز ناحیه (center of area)

پیوسته

$$d_{CA}(C) = \frac{\int_{-c}^c C(z)zdz}{\int_{-c}^c C(z)dz} = \frac{\int_0^5 0.4y dy + \int_5^7 (0.2y - 0.6)y dy + \int_7^{10} 0.8y dy}{5 \cdot 0.4 + 2 \cdot \frac{0.8+0.4}{2} + 3 \cdot 0.8} \approx \frac{38.7333}{5.6} \approx 6.917$$

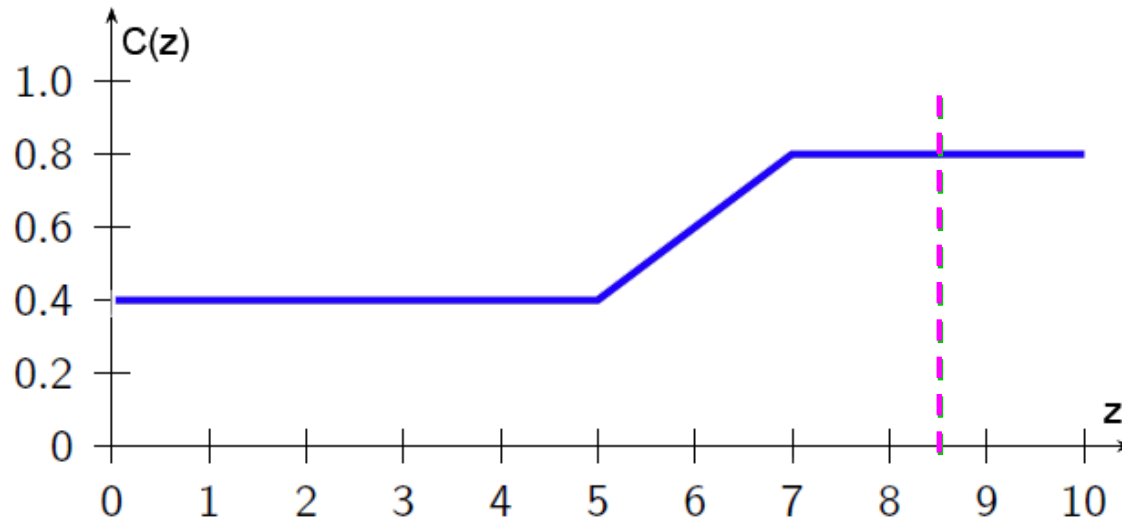
گسسته

$$d_{CA}(C) = \frac{\sum_{k=1}^n C(z_k)z_k}{\sum_{k=1}^n C(z_k)} = \frac{0.4 \cdot (0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5) + 0.6 \cdot 6 + 0.8 \cdot (7 + 8 + 9 + 10)}{0.4 \cdot 6 + 0.6 \cdot 1 + 0.8 \cdot 4} = \frac{36.8}{6.2} \approx 5.935$$



# کنترل گر فازی: غیر فازی کردن ...

مثال ...



• مرکز بیشینه (center of maxima)

$$M = \{z \in [-c, c] | C(z) = h(C)\} = [7, 10]$$

پیوسته

$$d_{CM}(C) = \frac{\inf M + \sup M}{2} = \frac{7 + 10}{2} = 8.5$$

$$M = \{z_k | C(z_k) = h(C)\} = \{7, 8, 9, 10\}$$

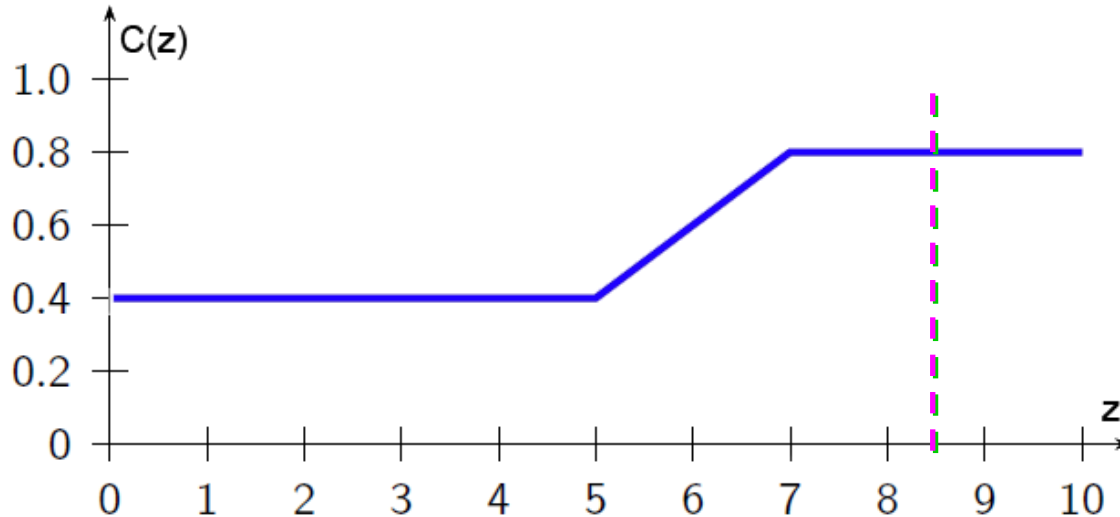
گسسته

$$d_{CM}(C) = \frac{\min\{z_k | z_k \in M\} + \max\{z_k | z_k \in M\}}{2} = \frac{7 + 10}{2} = 8.5$$



# کنترل گر فازی: غیر فازی کردن ...

مثال ...



• میانگین بیشینه (mean of maxima)

$$M = \{z_k | C(z_k) = h(C)\} = \{7, 8, 9, 10\}$$

○ گسسته

$$d_{MM}(C) = \frac{\sum_{z_k \in M} z_k}{|M|} = \frac{7 + 8 + 9 + 10}{4} = \frac{34}{4} = 8.5$$

○ پیوسته

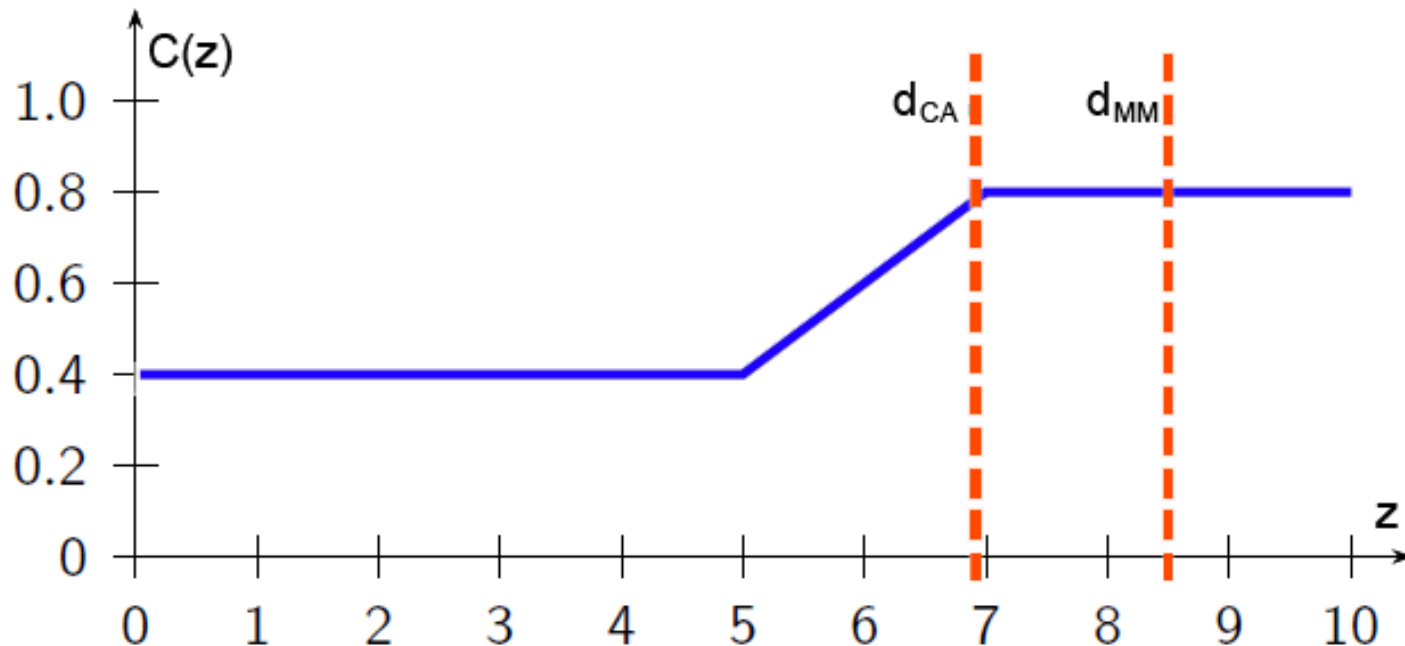
$$d_{MM}(C) = \frac{\int_7^{10} y \, dy}{\int_7^{10} dy} = \frac{50 - 24.5}{10 - 7} = \frac{25.5}{3} = 8.5$$



## کنترل گر فازی: غیر فازی کردن ...

مثال

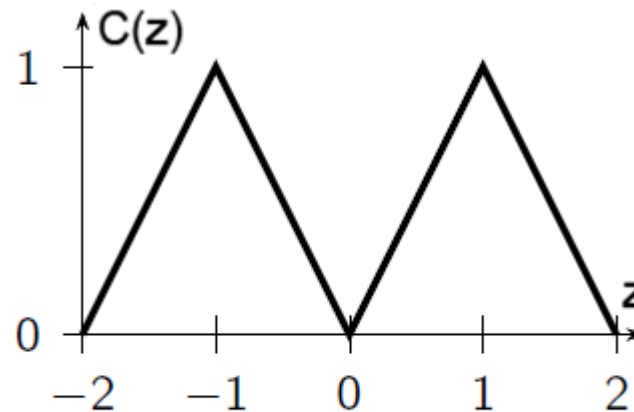
• حالت پیوسته





## کنترل گر فازی: غیرفازی کردن

○ مشکل با غیرفازی کننده‌ها



○ مقدار خروجی با روش‌های زیر چقدر است؟

- مرکز ناحیه (center of area)
- مرکز بیشینه (center of maxima)
- میانگین بیشینه (mean of maxima)

## کنترل گر فازی: آونگ معکوس ...

- عمود نگه داشتن آونگ (میله) با حرکت دادن متناسب گاری
- متغیرهای ورودی

- زاویه میل به خط عمود ( $e$ ): قابل محاسبه با استفاده از سنسور زاویه
  - حرکت میل به چپ = زاویه منفی و حرکت میل به راست = زاویه مثبت

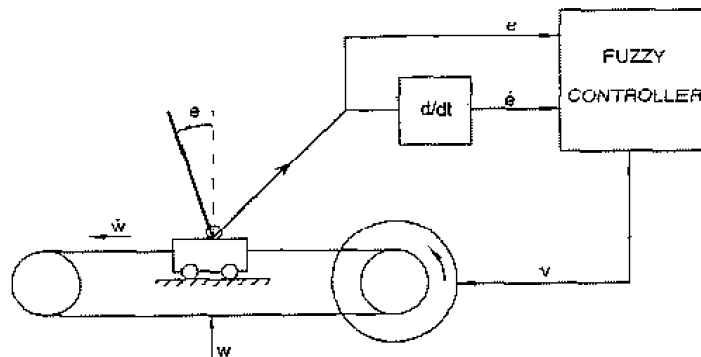
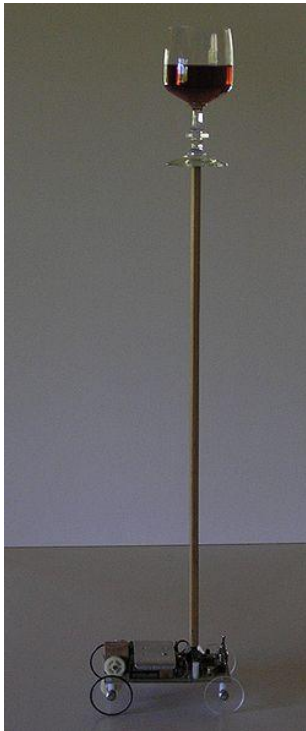
- تغییرات زاویه ( $\dot{e}$ ): محاسبه با مقادیر قبلی زاویه

- [اختیاری] فاصله (محل) گاری از محل ایده آل و تغییرات آن

- متغیرهای خروجی

- نیروی محرکه ( $v$ ): متناسب با سرعت گاری ( $\dot{w}$ )

- حرکت گاری به چپ = نیرو منفی و حرکت گاری به راست = نیرو مثبت





## کنترل گر فازی: آونگ معکوس ...

### ○ روش کلاسیک

• زاویه میله با عمود (e) و مشتق‌های اول و دوم آن

• جرم آونگ (m)

• جرم گاری (M)

• طول آونگ (2L)

• مشتق دوم مکان گاری ( $\ddot{w}$ )

• نیروهای افقی و عمودی میله (V و H)

• ممان سکون ( $I = mL^2/3$ )

$$\begin{aligned} I\ddot{e} &= VL \sin e - HL \cos e, \\ V - mg &= -mL(\ddot{e} \sin e + \dot{e}^2 \cos e), \\ H &= m\ddot{w} + mL(\ddot{e} \cos e - \dot{e}^2 \sin e) \\ U - H &= M\ddot{w}, \end{aligned}$$

### ○ مشکلات روش کلاسیک

• حل پیچیده (و گاهی غیرممکن) معادلات غیرخطی

○ نیاز به حل عددی: نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ

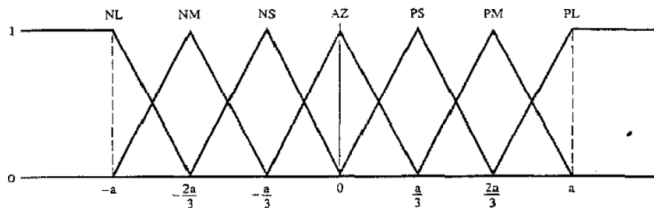
• نیاز به تغییر کنترل گر متناسب با تغییرات (اندک) سیستم (تغییر وزن و اندازه میله)



# کنترل گر فازی: آونگ معکوس ...

NL—negative large  
NM—negative medium  
NS—negative small  
AZ—approximately zero

PL—positive large  
PM—positive medium  
PS—positive small



## روش فازی: ۵ گام ساده!

### گام اول: متغیرها و مجموعه فازی

- دو متغیر ورودی: زاویه (e) و مشتق آن
- متغیر خروجی نیرو (v)
- حالت زبانی با تابع عضویت مثلثی

### گام دوم: فازی کردن ورودیها

- عدم فازی کردن یا فازی کردن مثلثی

### گام سوم: استخراج قوانین استنتاج فازی ...

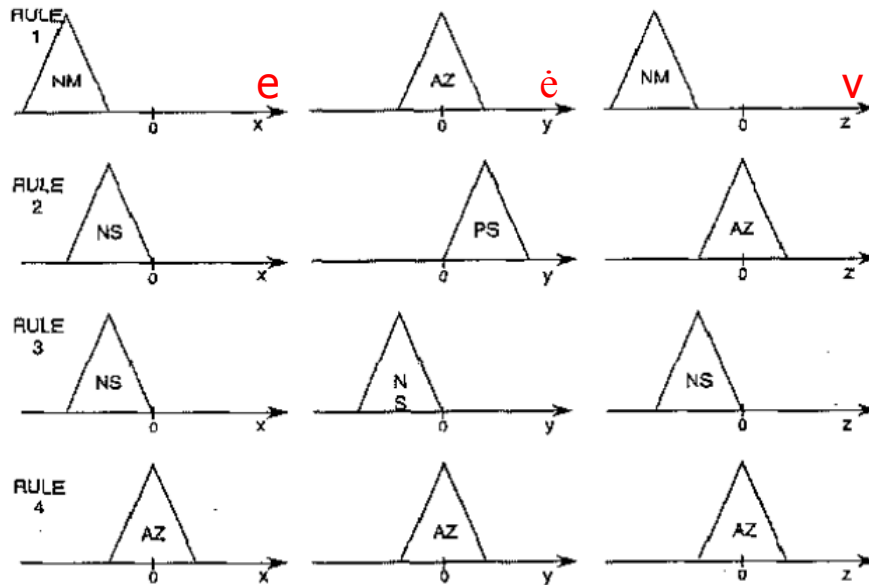
- استفاده از تعداد محدودی قانون

$\begin{matrix} e \\ \dot{e} \end{matrix}$	NM	NS	AZ	PS	PM
NS		NS		AZ	
AZ	NM		AZ		PM
PS		AZ		PS	

اگر زاویه کمی مثبت باشد و تغییرات کمی منفی باشد  
آنگاه سرعت باید تقریباً صفر باشد

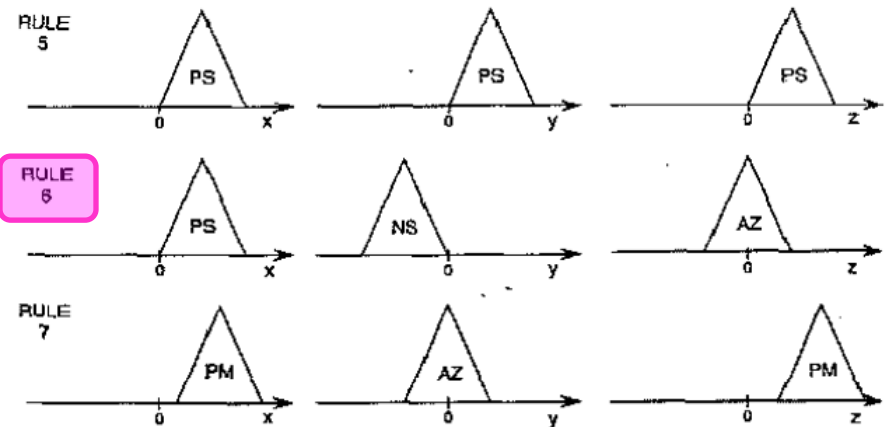
# کنترل گر فازی: آونگ معکوس ...

$\hat{e}$ \ $e$	NM	NS	AZ	PS	PM
NS		NS		AZ	
AZ	NM		AZ		PM
PS		AZ		PS	



○ روش فازی: ۵ گام ساده!

• گام سوم: استخراج قوانین استنتاج فازی





# کنترل گر فازی: آونگ معکوس ...

## روش فازی: ۵ گام ساده!

### گام چهارم: استنتاج ...

درس: مبانی رایانش نرم- فازی (منطق و استدلال)



## استدلال تقریبی (استلزام فازی) ...

Rule 1 : If  $X$  is  $A_1$ , then  $Y$  is  $B_1$   
Rule 2 : If  $X$  is  $A_2$ , then  $Y$  is  $B_2$

Rule  $n$  : If  $X$  is  $A_n$ , then  $Y$  is  $B_n$   
Fact :  $X$  is  $A'$

Conclusion :  $Y$  is  $B'$

**Step 1.** Calculate the degree of consistency,  $r_j(A')$ , between the given fact and the antecedent of each if-then rule  $j$  in terms of the height of intersection of the associated sets  $A'$  and  $A_j$ . That is, for each  $j \in N_n$ ,

$$r_j(A') = h(A' \cap A_j)$$

or, using the standard fuzzy intersection,

$$r_j(A') = \sup_{x \in X} \min[A'(x), A_j(x)]. \quad (11.17)$$

**Step 2.** Calculate the conclusion  $B'$  by truncating each set  $B_j$  by the value of  $r_j(A')$ , which expresses the degree to which the antecedent  $A_j$  is compatible with the given fact  $A'$ , and taking the union of the truncated sets. That is,

$$B'(y) = \sup_{j \in N_n} \min[r_j(A'), B_j(y)] \quad (11.18)$$

for all  $y \in Y$ .

H. Veisi (h.veisi@ut.ac.ir)

درس: مبانی رایانش نرم- فازی (کنترل گرها)

## کنترل گر فازی: ۵ گام طراحی ...

گام چهارم: استنتاج فازی (تولید پاسخ برای ورودی)

If  $e = A$  and  $\dot{e} = B$ , then  $v \approx C$  → If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A \times B$ , then  $v$  is  $C$

↓

$[A \times B](x, y) = \min[A(x), B(y)]$

دریافت ورودی •  $\langle e_0, \dot{e}_0 \rangle = f_e(x_0) \times f_{\dot{e}}(y_0)$

استفاده از همه قوانین •

Rule 1 : If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A_1 \times B_1$ , then  $v$  is  $C_1$   
Rule 2 : If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A_2 \times B_2$ , then  $v$  is  $C_2$   
Rule  $n$  : If  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $A_n \times B_n$ , then  $v$  is  $C_n$   
Fact :  $\langle e, \dot{e} \rangle$  is  $f_e(x_0) \times f_{\dot{e}}(y_0)$   
Conclusion :  $v$  is  $C$

محاسبه خروجی  $R_j$  •  $C = \bigcup_j [f_e(x_0) \times f_{\dot{e}}(y_0)]$

H. Veisi (h.veisi@ut.ac.ir)

### استدلال تقریبی (استنتاج فازی) ...

Rule 1 : If  $x$  is  $A_1$ , then  $y$  is  $B_1$   
 Rule 2 : If  $x$  is  $A_2$ , then  $y$  is  $B_2$   
 ...  
 Rule  $n$  : If  $x$  is  $A_n$ , then  $y$  is  $B_n$   
 Fact :  $x$  is  $A'$   
 Conclusion :  $y$  is  $B'$

**Step 1.** Calculate the degree of consistency,  $r_j(A')$ , between the given fact and the antecedent of each  $j$ -then rule  $j$  in terms of the height of intersection of the associated sets  $A'$  and  $A_j$ . That is, for each  $j \in N_m$ ,

$$r_j(A') = h(A' \cap A_j)$$

or, using the standard fuzzy intersection,

$$r_j(A') = \sup_{x \in X} \min[A'(x), A_j(x)]. \quad (11.17)$$

**Step 2.** Calculate the conclusion  $B'$  by truncating each set  $B_j$  by the value of  $r_j(A')$ , which expresses the degree to which the antecedent  $A_j$  is compatible with the given fact  $A'$ , and taking the union of the truncated sets. That is,

$$B'(y) = \sup_{j \in N_m} \min[r_j(A'), B_j(y)] \quad (11.18)$$

for all  $y \in Y$ .

H. Veisi (h.veisi@ut.ac.ir)

41

## کنترل گر فازی: آونگ معکوس ...

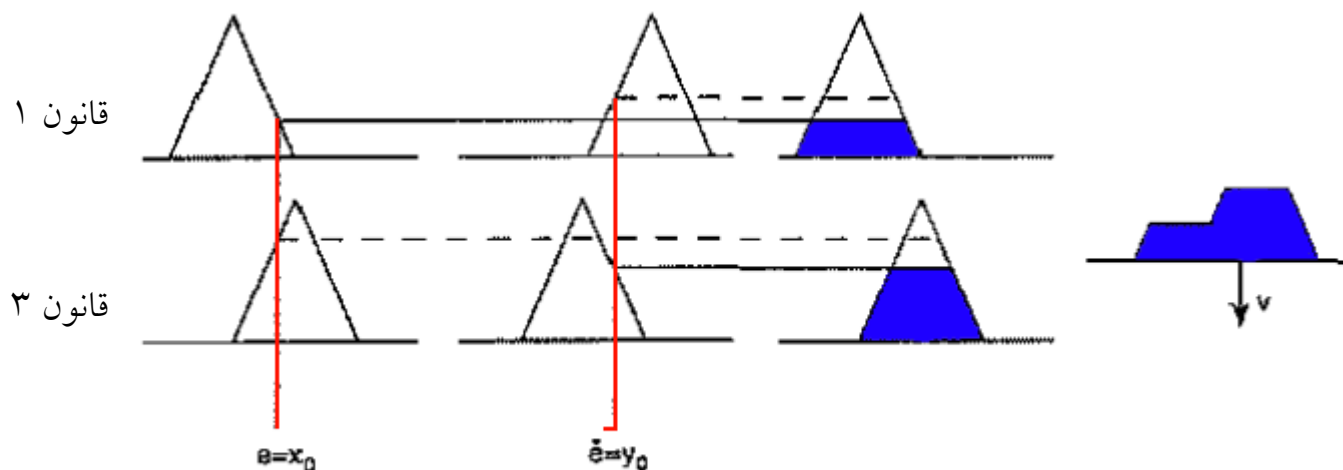
روش فازی: ۵ گام ساده!

گام چهارم: استنتاج ...

در این مساله به ازای هر ورودی ای (فازی یا کریسپ)، حداقل یک قانون فعال می شود، یعنی

$$r_j(x_0, y_0) > 0$$

به ازای هر ورودی کریسپ، حداکثر دو قانون فعال می شود



ورودی های کریسپ: فازی نشده

Rule 1 : If  $x$  is  $A_1$ , then  $y$  is  $B_1$   
 Rule 2 : If  $x$  is  $A_2$ , then  $y$  is  $B_2$   
 ...  
 Rule  $n$  : If  $x$  is  $A_n$ , then  $y$  is  $B_n$   
 Fact :  $x$  is  $A'$   
 Conclusion :  $y$  is  $B'$

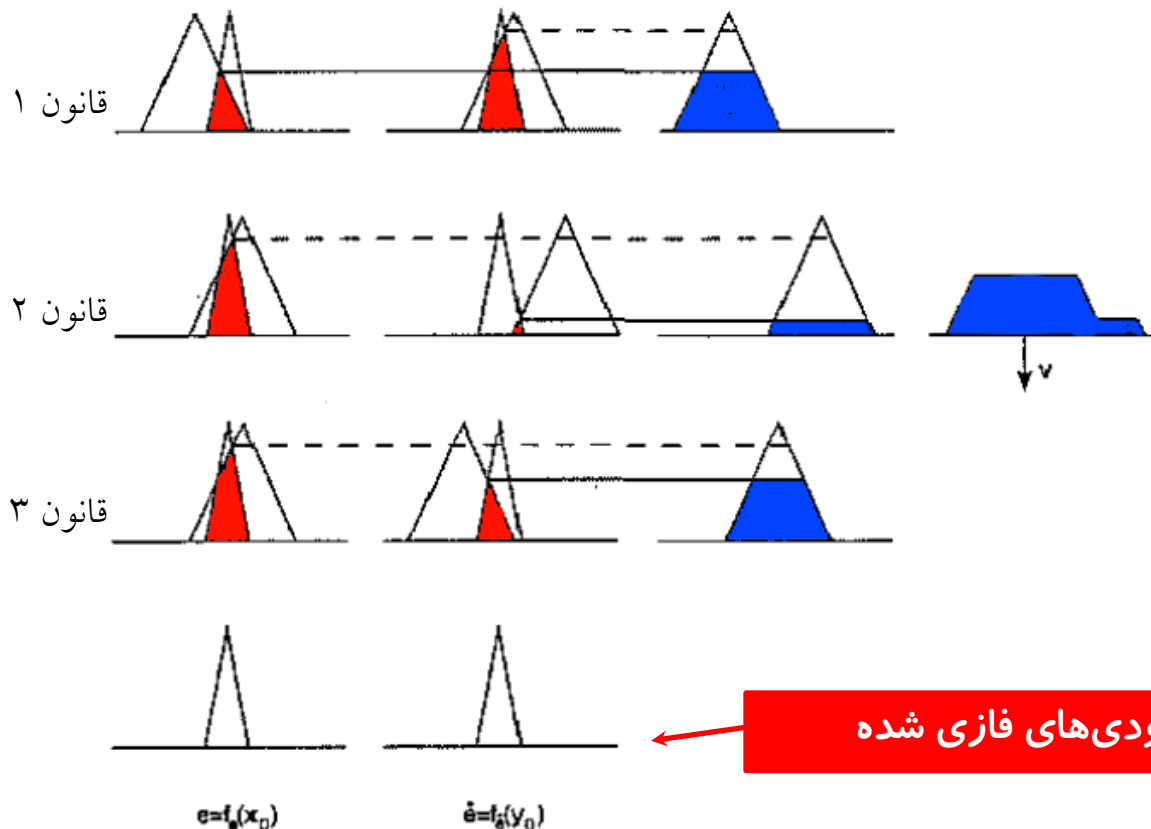
استنتاج در حالت چندشرطی ...

# کنترل گر فازی: آونگ معکوس ...

روش فازی: ۵ گام ساده!

گام چهارم: استنتاج

به ازای هر ورودی فازی (فازی شده)، حداقل دو قانون (یا بیشتر تا ۵ قانون) فعال می شود

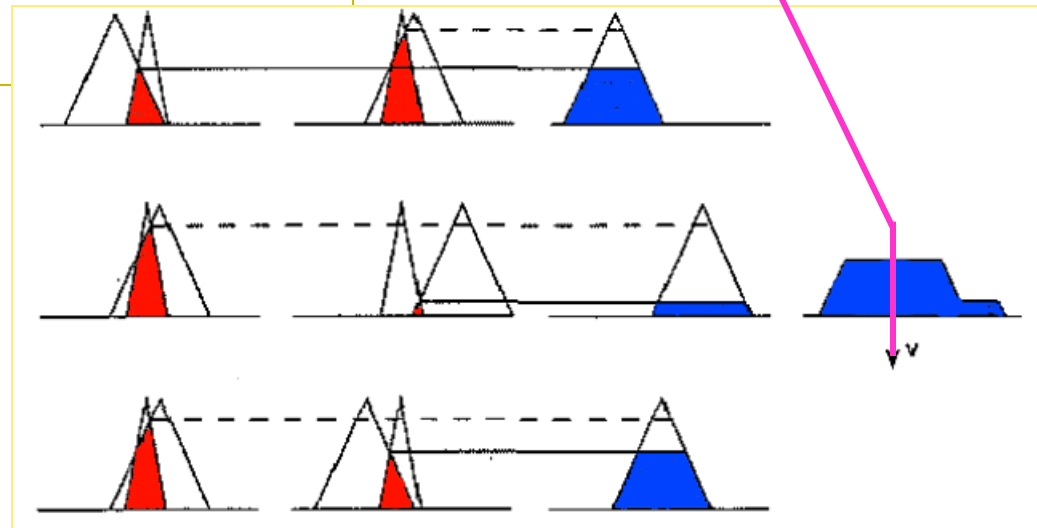
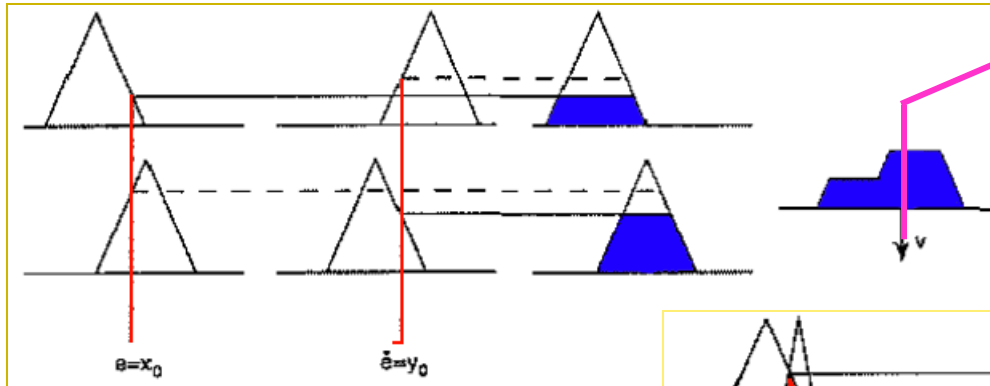


# کنترل گر فازی: آونگ معکوس

## روش فازی: ۵ گام ساده!

- گام پنجم: غیر فازی کردن خروجی: تعیین مقدار نیروی وارد بر گاری برای جابجایی

روش مرکز ناحیه (center of area) - روش پر کاربرد در کنترل گرها





## کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

### ○ کنترل سرعت پنکه (کولر) جهت تنظیم دمای اتاق

- دانش: اگر هوا گرم بود سرعت را زیاد کن و اگر هوا خنک بود سرعت را کم کن.
- برای دمای هوا ۵ حالت و برای سرعت ۵ حالت را در نظر می گیریم:
  - شرایط هوا (دما): سرد، خنک، مطلوب، گرم، داغ
  - سرعت: خیلی سریع، سریع، متوسط، آهسته، خیلی آهسته

### ○ قوانین استنتاج

- اگر هوا سرد بود آنگاه سرعت کولر را خیلی آهسته کن
- اگر هوا خنک بود آنگاه سرعت کولر را آهسته کن
- اگر هوا مطلوب بود آنگاه سرعت کولر را در شرایط متوسط نگهدار
- اگر هوا گرم آنگاه سرعت کولر را زیاد کن (سریع)
- اگر هوا داغ بود آنگاه سرعت کولر را خیلی زیاد کن (خیلی سریع)

# کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

○ مجموعه فازی دما

دما (سانتیگراد)	سرد	خنک	مطلوب	گرم	داغ
0	$Y^*$	N	N	N	N
5	Y	Y	N	N	N
10	N	Y	N	N	N
12.5	N	$Y^*$	N	N	N
15	N	Y	N	N	N
17.5	N	N	$Y^*$	N	N
20	N	N	N	Y	N
22.5	N	N	N	$Y^*$	N
25	N	N	N	Y	N
27.5	N	N	N	N	Y
30	N	N	N	N	$Y^*$

Annotations:

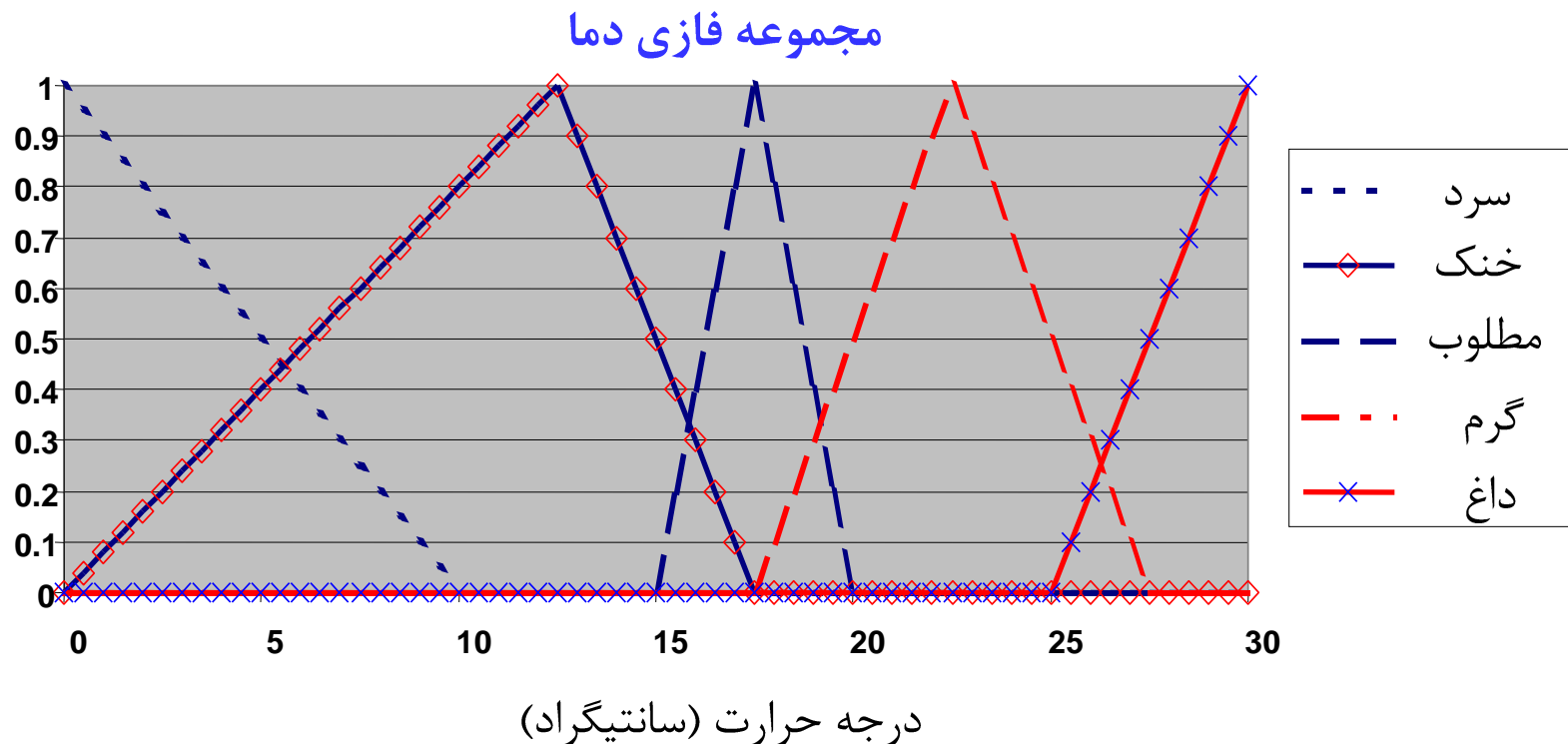
- $0 < \mu(T) < 1$  points to the row for 5°C (Y in the 'سرد' column).
- $\mu(T) = 0$  points to the row for 30°C (N in the 'سرد' column).
- $\mu(T) = 1$  points to the row for 22.5°C ( $Y^*$  in the 'گرم' column).





# کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

## مجموعه فازی دمای اتاق (توابع عضویت)





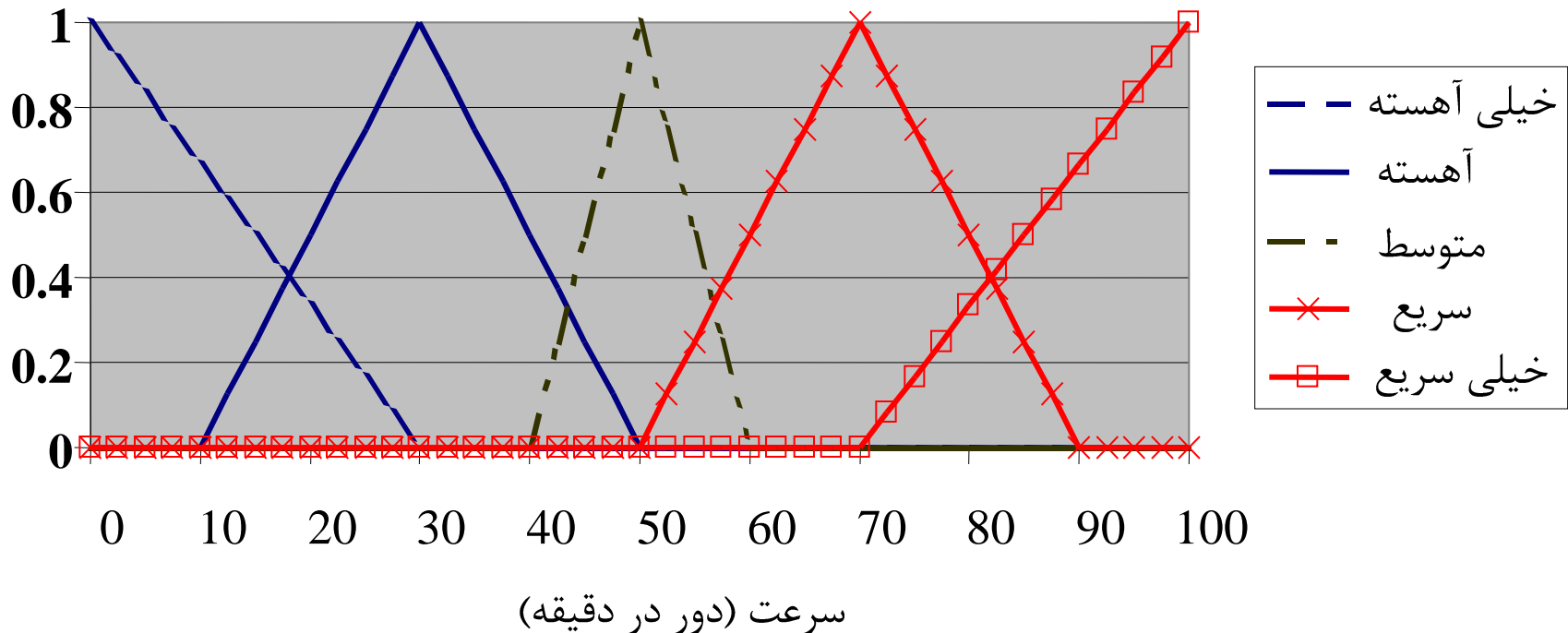
# کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

## مجموعه فازی سرعت

سرعت (RPM)	خیلی آهسته	آهسته	متوسط	سریع	خیلی سریع
$\mu=1$ 0	$\gamma^*$	N	N	N	N
$0<\mu<1$ 10	$\gamma$	N	N	N	N
20	$\gamma$	$\gamma$	N	N	N
30	N	$\gamma^*$	N	N	N
$\mu=0$ 40	N	$\gamma$	N	N	N
50	N	N	$\gamma^*$	N	N
60	N	N	N	$\gamma$	N
70	N	N	N	$\gamma^*$	N
80	N	N	N	$\gamma$	$\gamma$
90	N	N	N	N	$\gamma$
100	N	N	N	N	$\gamma^*$

## کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

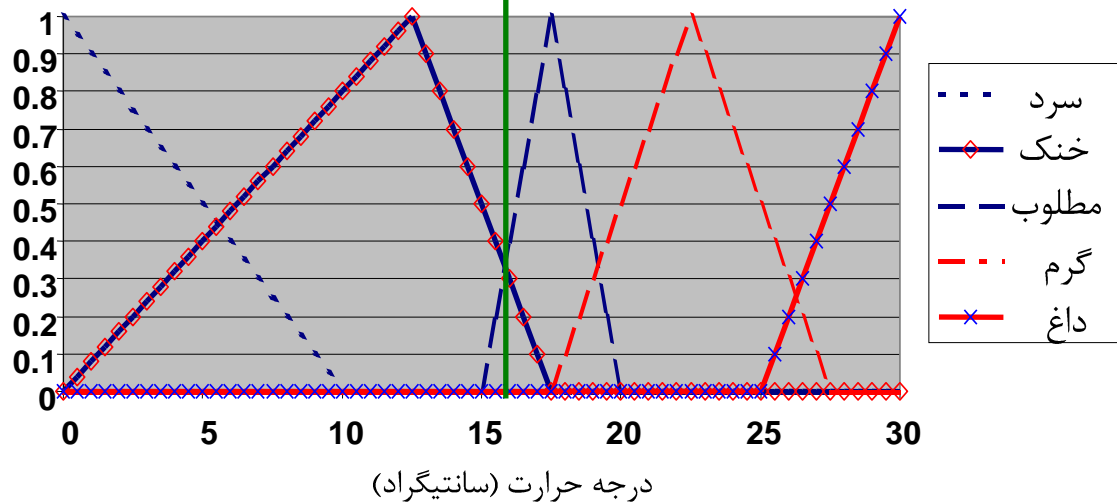
○ مجموعه فازی سرعت کولر (توابع عضویت)



# کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

دمای 16 درجه

○ برای دمای اتاق = 16 درجه، سرعت = ؟

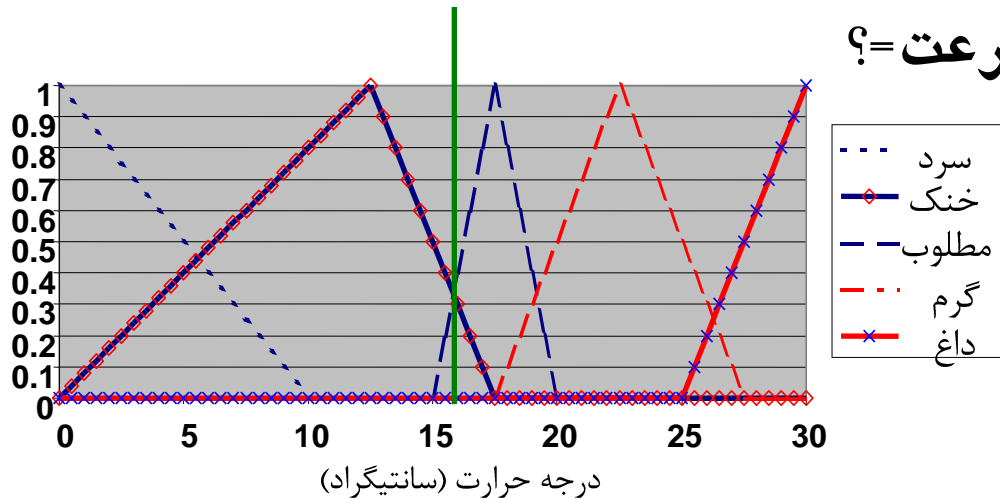


○ در دمای 16 درجه

- اگر هوا سرد بود آنگاه سرعت کولر را خیلی آهسته کن
- اگر هوا خنک بود آنگاه سرعت کولر را آهسته کن
- اگر هوا مطلوب بود آنگاه سرعت کولر را در شرایط متوسط نگهدار
- اگر هوا گرم آنگاه سرعت کولر را زیاد کن (سریع)
- اگر هوا داغ بود آنگاه سرعت کولر را خیلی زیاد کن (خیلی سریع)

# کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

دمای 16 درجه



○ برای دمای اتاق = 16 درجه، سرعت = ؟

○ در دمای 16 درجه

- اگر هوا خنک (0.3) بود آنگاه سرعت کولر را آهسته (0.3) کن
- اگر هوا مطلوب (0.4) بود آنگاه سرعت کولر را در شرایط متوسط (0.4) نگهدار

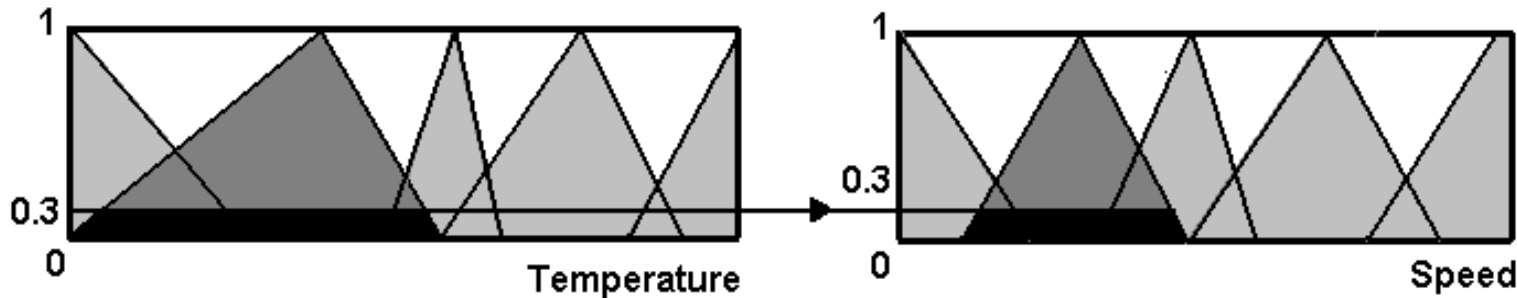
$$\mu_{\text{خنک}}(t) = -\frac{t}{5} + 3.5 = -\frac{16}{5} + 3.5 = 0.3$$

$$\mu_{\text{مطلوب}}(t) = \frac{t}{2.5} - 6 = \frac{16}{2.5} - 6 = 0.4$$

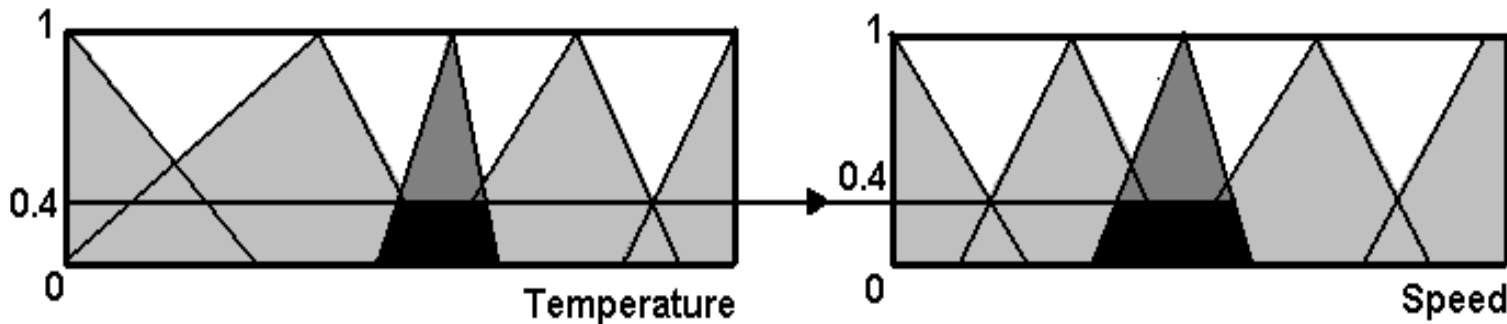
$$\mu_{\text{سرد}} = \mu_{\text{گرم}} = \mu_{\text{داغ}} = 0$$

## کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع ...

### ○ استنتاج (با دو قانون فعال)



اگر هوا خنک (0.3) بود آنگاه سرعت کولر را آهسته (0.3) کن



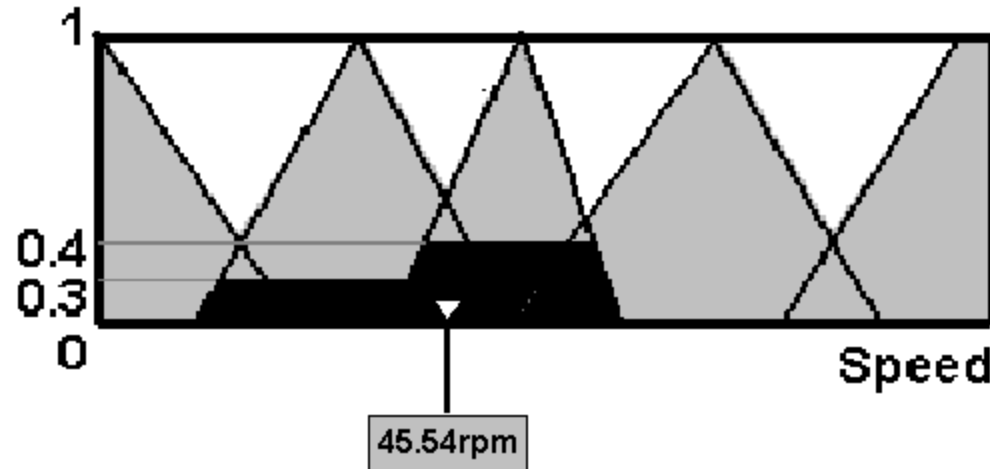
اگر هوا مطلوب (0.4) بود آنگاه سرعت کولر را در شرایط متوسط (0.4) نگهدار



# کنترل گر فازی: سیستم تهویه مطبوع

## ○ محاسبه سرعت (غیر فازی کردن)

- غیر فازی کردن با روش مرکز ناحیه (center of area)
- سرعت آهسته (۰.۳) + سرعت متوسط (۰.۴)



$$d_{CA} = \frac{0.125(12.5) + 0.25(15) + 0.3(17.5+20+\dots+40+42.5) + 0.4(45+47.5+\dots+52.5+55) + 0.25(57.5)}{0.125 + 0.25 + 0.3(11) + 0.4(5) + 0.25}$$

$$= 45.54\text{rpm}$$



## کنترل گر فازی: انواع ...

### ○ انواع کنترل گرها

- ممدانی (Mamdani)
- لارسن (Larsen)
- سوگنو یا TSK (Takagi Sugeno Kang)
- Tsukamoto
- سایر!

### ○ تفاوت: بخش تالی قوانین و نحوه استنتاج

If <antecedence> then <consequence>

The **same** style for

- Mamdani
- Larsen
- Sugeno
- Tsukamoto

**Different** styles for

- Mamdani
- Larsen
- Sugeno
- Tsukamoto

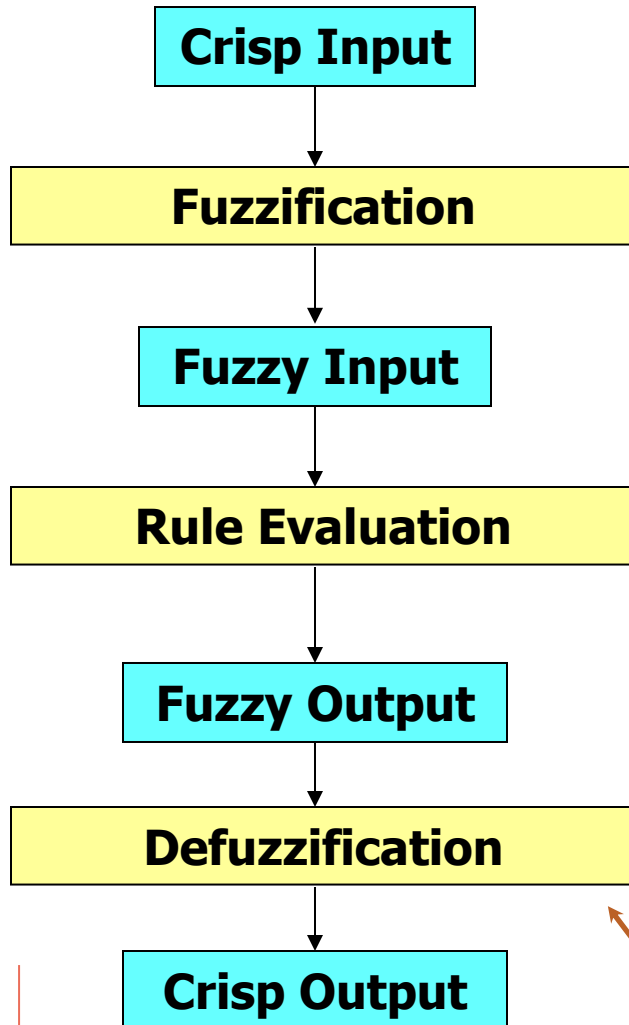




## کنترل گر فازی: انواع ...

### ○ کنترل گرهای ممدانی (Mamdani)

- اولین کنترل گر فازی: برای موتور بخار
- توسط ابراهیم ممدانی در سال ۱۹۷۵ (دانشگاه لندن)
- رایج ترین روش: آنچه تاکنون بیان شد!



فرم کلی قوانین

IF x is A and(or) y is B, THEN z is C

استنتاج

روش ترکیب Max-Min (clipping)

- محاسبات کم اما با از دست دادن اطلاعات

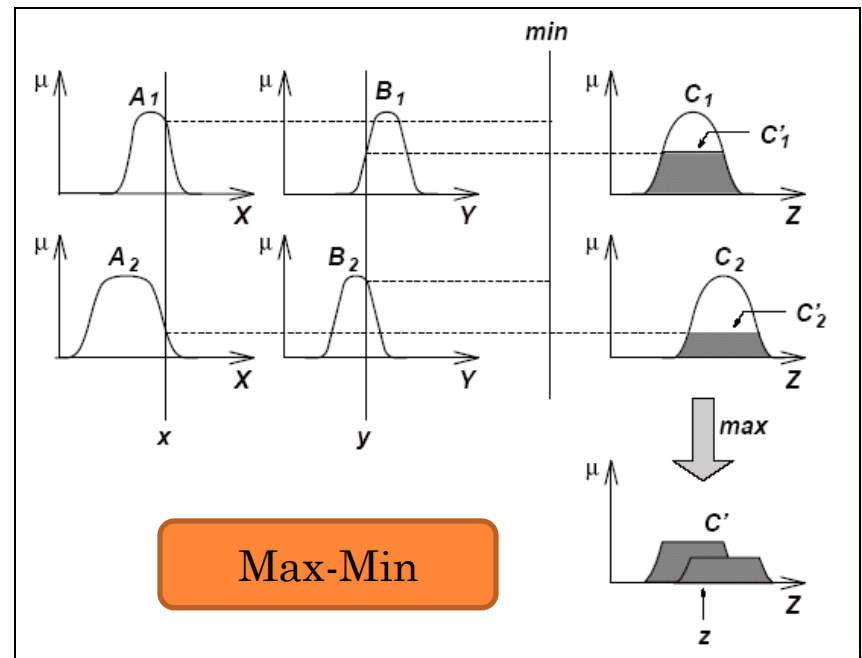
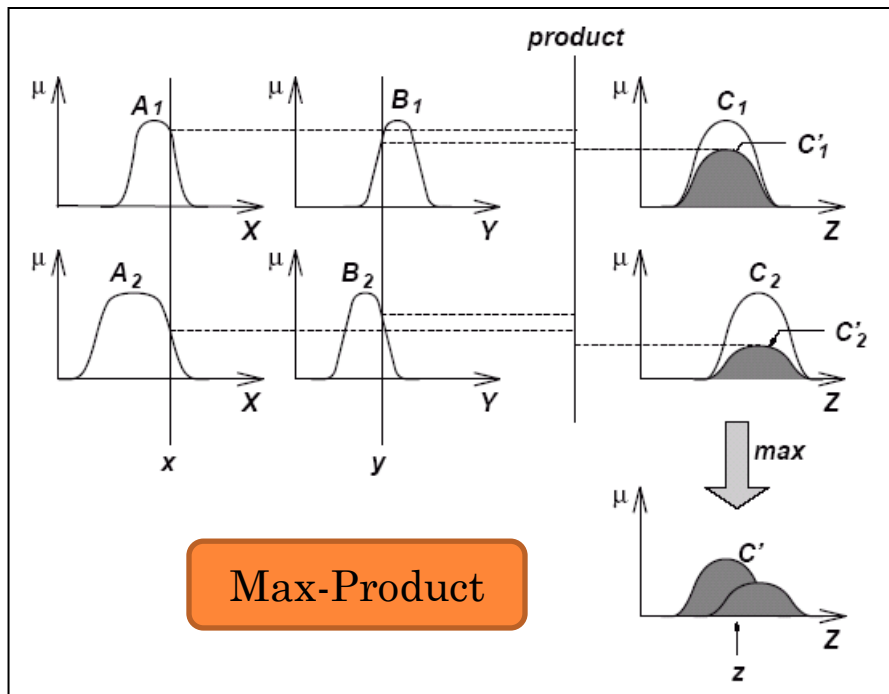
معمولاً با مرکز ناحیه (CA)

# کنترل گر فازی: انواع ...

## کنترل گرهای لارسن (Larsen)

### • مشابه ممدانی اما با استفاده از روش ترکیب Max-Product (scaling)

- ضرب مقدار درستی مقدم در تابع عضویت تالی
- از دست دادن اطلاعات کمتر و حفظ شکل توابع عضویت
- پر کاربرد در سیستمهای خبره فازی





## کنترل گر فازی: انواع ...

### ○ کنترل گرهای سوگنو یا TSK (Takagi Sugeno Kang)

- در سال ۱۹۸۵
- هدف: تولید مجموعه‌ای از قوانین فازی از روی داده‌های ورودی-خروجی
- تغییر بخش تالی (consequent) قوانین از یک مجموعه فازی به یک تابع کریسپ
  - گذاشتن یک فازی یگانه (Fuzzy singleton) در بخش تالی قوانین
  - مجموعه‌ای فازی که فقط در یک نقطه یک و در سایر نقاط صفر است (یک عدد کریسپ)
  - علت: جلوگیری از محاسبات غیر فازی کردن (انتگرال گیری در روش مرکز ناحیه)

فرم کلی قوانین

IF x is A and(or) y is B, THEN  $z=f(x,y)$

استنتاج

مشابه ممدانی: روش ترکیب Max-Min



## کنترل گر فازی: انواع ...

○ کنترل گرهای سوگنو (TSK) ...

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

مجموعه فازی

تابع کریسپ

معمولاً چند جمله ای  
مرتبه صفر:  $z=k$  (عدد ثابت)

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

• مثال

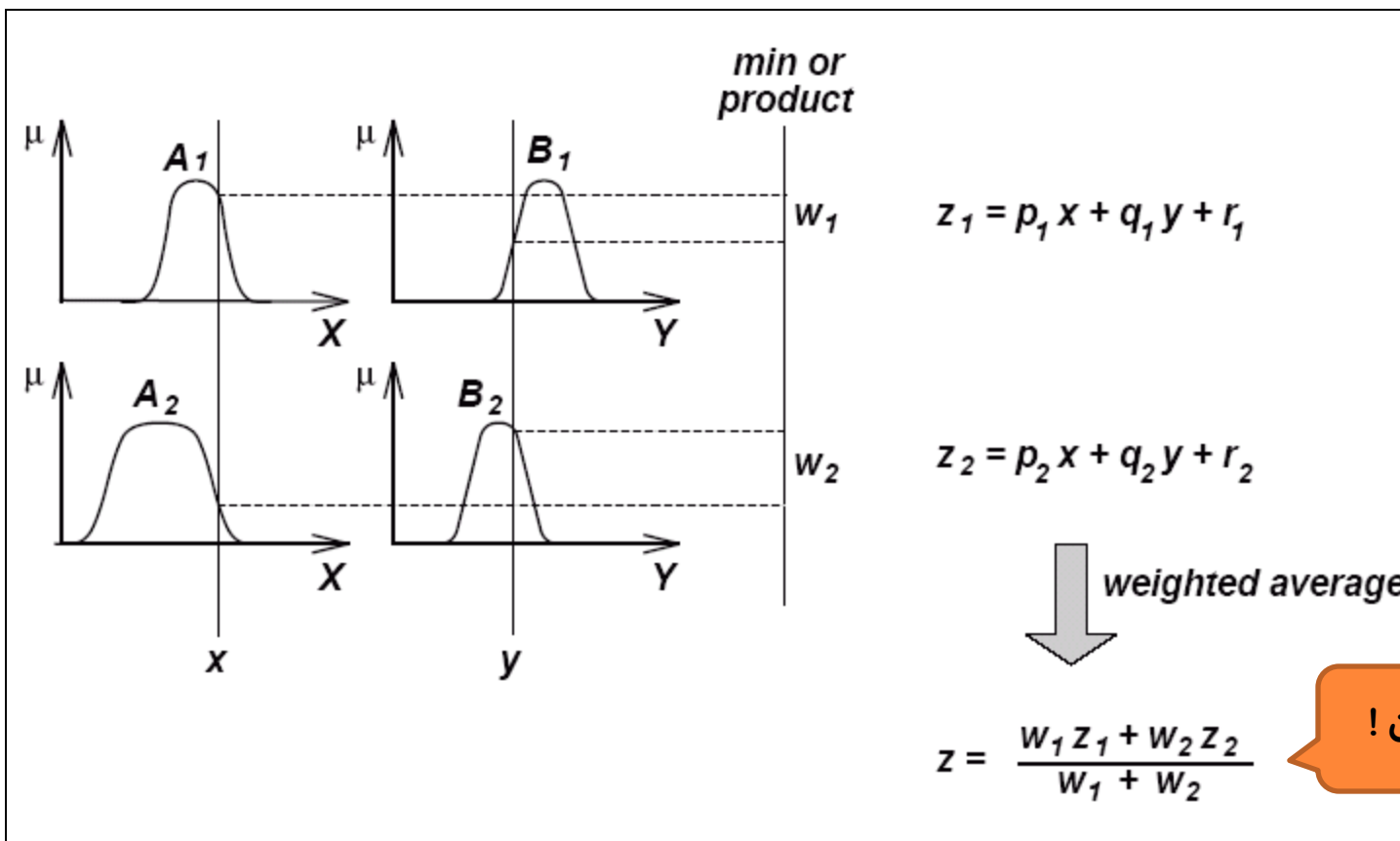
R2: if  $X$  is small and  $Y$  is large then  $z = -y + 3$

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

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

## کنترل گر فازی: انواع ...

### ○ کنترل گرهای سوگنو (TSK)



غیر فازی کردن !



## کنترل گر فازی: انواع

### ○ ممدانی

- شهودی است
- رایج و عمومی است
- سازگاری بالا با دانش انسان

### ○ سوگنو

- از نظر محاسباتی بهینه
- با سایر روشها (بهینه سازی و PID) به خوبی کار می کند
- مناسب برای تحلیل ریاضی



## کنترل گر فازی: نکات

- بازنگری متغیرهای ورودی و خروجی و بازبینی بازه مقادیر آنها
- بازنگری مجموعه‌های فازی و تعریف مجموعه‌های بیشتر در صورت لزوم
- همپوشانی کافی بین مجموعه‌های همسایه (از ۲۵٪ تا ۵۰٪)
- بازنگری قوانین و بهبود آنها
- وزن دادن به قانون‌ها

# کنترل گر فازی: استنتاج با شبکه های عصبی ...

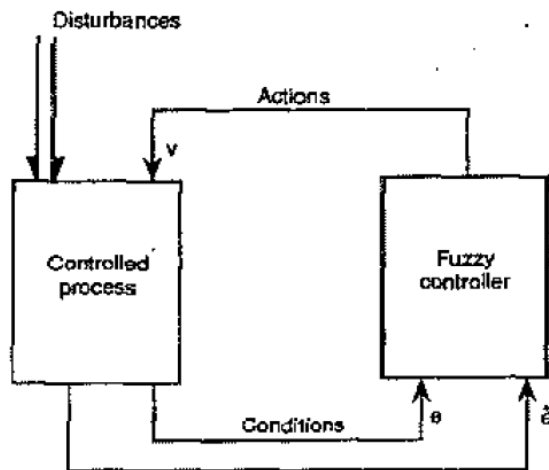
○ استفاده از شبکه عصبی برای تقریب موتور استنتاج

• تولید خروجی (استنتاج) بر اساس ورودی ها

○ مثال: کنترل گر با دو ورودی و یک خروجی

• ساختار شبکه؟

If  $e = A$  and  $\dot{e} = B$ , then  $v \approx C$

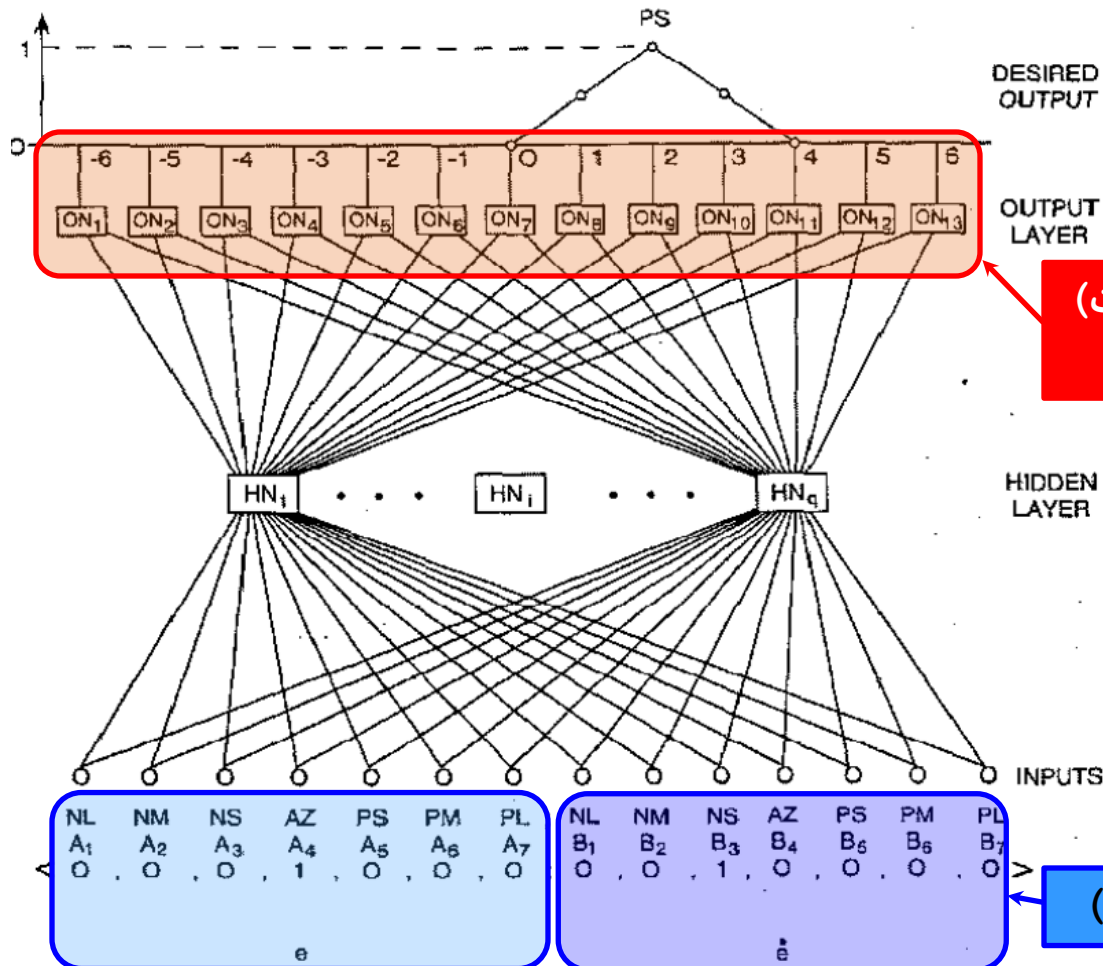


		ė							
		v	NL	NM	NS	AZ	PS	PM	PL
e	NL	PL					PM	AZ	
	NM								
	NS	PM		PM	PS	AZ <td colspan="2" rowspan="3">NM</td>	NM		
	AZ			PS	AZ	NS			
	PS			AZ	NS	NM			
	PM	AZ		NM		NL			
	PL								



# کنترل گر فازی: استنتاج با شبکه های عصبی ...

## ○ ساختار شبکه

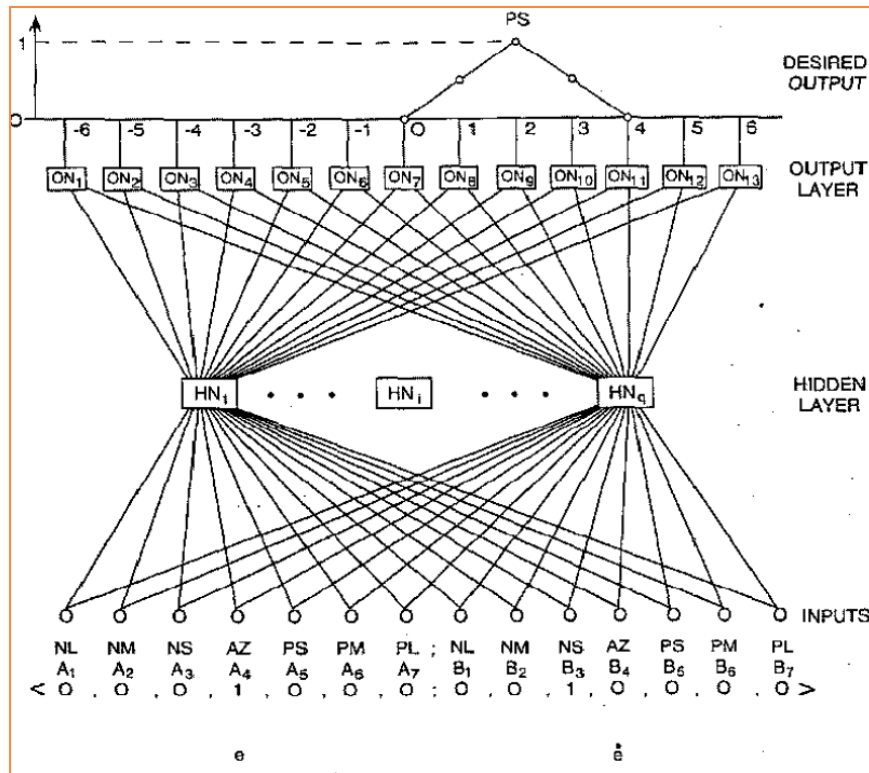


خروجی:  $v$  ("گسسته شده به ۱۳ حالت")  
 $[-6, 6]$

ورودی ها:  $e$  و  $\bar{e}$  (هر کدام ۷ حالت)

# کنترل گر فازی: استنتاج با شبکه های عصبی

## ○ ساختار شبکه (مثال)



• **قانون** If  $e$  is  $AZ$  and  $e$  is  $NS$ , then  $v$  is  $PS$

• **ورودی**  $(0, 0, 0, 1, 0, 0, 0; 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0)$

• **خروجی**  $(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .5, 1, .5, 0, 0, 0)$

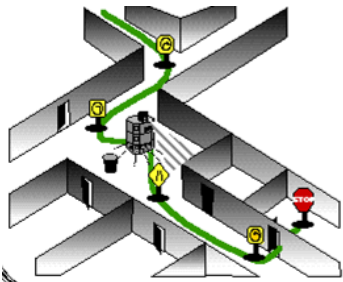
## ○ بعد از آموزش

- نیاز به فازی کننده: تبدیل ورودی به متغیرهای زبانی مرتبط
- نیاز به غیرفازی کننده: تبدیل خروجی تمام نرون های خروجی (۱۳ مورد) به یک عدد

## کنترل گر فازی ...

### ○ تاریخچه (مختصر)

- ۱۹۷۵ (اولین بار) - **ممدانی** و اصیلیان - کنترل یک موتور بخار (کالج کوئین مری لندن)
- ۱۹۷۸ - هولمبلاد و استرگارد - سیستم کنترل کوره سیمان-اولین کاربرد صنعتی (دانمارک)
- ۱۹۸۰ - سوگنو - سیستم تصفیه آب رودخانه فوجی (ژاپن)
- ۱۹۸۳ - سوگنو - کنترل از راه دور یک اتومبیل (ربات) فازی برای پارک خودکار (ژاپن)
- اوایل دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۷ - اسونوبو و میاموتو - سیستم کنترل قطار زیرزمینی سندایی (شرکت هیتاچی ژاپن) - یکی از پیشرفته ترین سیستم های قطار زیرزمینی در جهان
- ۱۹۸۷ - هیروتا - رباتی که پینگ پنگ بازی می کرد (دومین کنفرانس فازی توکیو ژاپن)
- ۱۹۸۷ - یاماکاوا - حفظ تعادل آونگ معکوس (دومین کنفرانس فازی توکیو ژاپن)
- ۱۹۹۰ - شرکت ماتسوشی - ماشین لباس شویی فازی (ژاپن)
- ۱۹۹۴ - ربات Flakey ممانعت از برخورد آن با موانع موجود در مسیر



## کنترل گر فازی: نمونه ها ...



### ○ ربات شرکت هوندا (ASIMO)

- بالا و پایین رفتن از پله، چرخش به دور خود در یک مکان
- تعامل بیشتر با محیط
- راه رفتن طبیعی

### ○ ربات شرکت سونی (QRio)

- راه رفتن
- نشستن
- یادگیری
- ضربه زدن
- ....



## کنترل گر فازی: نمونه ها ...



### ○ شرکت ماتسوشیتا

- تنظیم دورهای ماشین لباسشویی
- سیستم تهویه مطبوع
- ماشین های ظرفشویی
- جارو برقی

### ○ کانن، سونی، پاناسونیک

- دوربین های فیلم برداری و عکاسی

### ○ مزدا، هوندا، نیسان

- کنترل سوخت، جعبه دنده خودکار، سیستم ضد بلوکه شدن ترمزها

## کنترل گر فازی: نمونه ها



- توشیبا
  - کنترلر آسانسور، جاروی برقی،
- میتسوبیشی
  - کنترلر آسانسور، تهویه مطبوع
- گلداستار، هیتاچی، سامسونگ، سونی
  - تلویزیون
- أمرون الکترونیک
  - تراشه های فازی، رایانه فازی
- فوجی فیلم
  - اندازه گیری پودر و مایع



## کنترل گر فازی: پایداری

- ممدانی: پایداری از دل مفهوم کریسپ در آمده است!! اگر شما کنترلر فازی طراحی کنید حتما پایدار است!
- هر مساله کنترلی با کنترل گر فازی قابل حل است در حالی که با کنترل گر کلاسیک قابل حل نیست
  - کنترل گرهای فازی (با استدلال تقریبی و چندقانونی) تقریب زننده های جهانی هستند
- کنترل گرهای فازی پایدارند: اثبات توسط سوگنو