

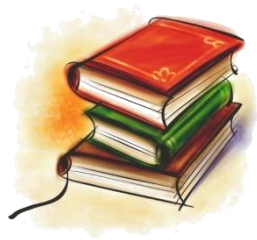
# مبانی رایانش نرم

فازی+محاسبات تکاملی+شبکه‌های عصبی

هادی ویسی

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

دانشگاه تهران - دانشکده علوم و فنون نوین



## ○ فازی و شبکه عصبی

- استنتاج در کنترل‌گر فازی با شبکه عصبی
- سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS)

## ○ محاسبات تکاملی و شبکه عصبی

- آموزش شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک
- تعیین ساختار شبکه عصبی
- شبکه عصبی و برنامه‌نویسی ژنتیک

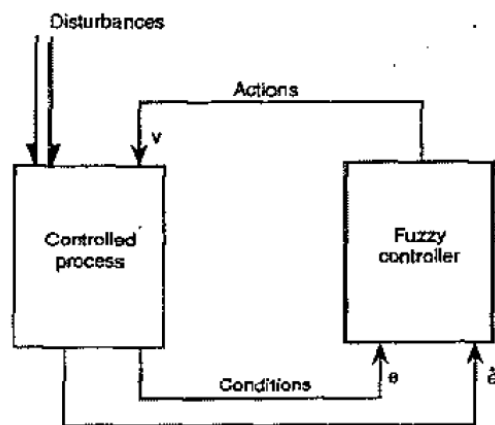
## فازی + شبکه عصبی: استنتاج در کنترل‌گر فازی با شبکه عصبی ...

○ استفاده از شبکه عصبی برای تقریب موتور استنتاج

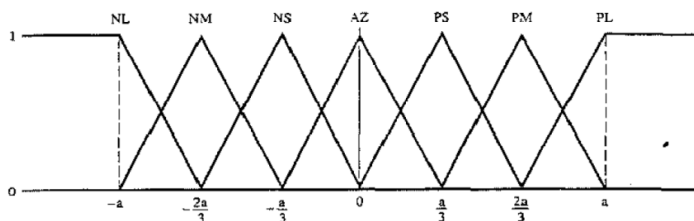
• تولید خروجی (استنتاج) بر اساس ورودی‌ها

○ مثال: کنترل‌گر با دو ورودی و یک خروجی

• ساختار شبکه؟



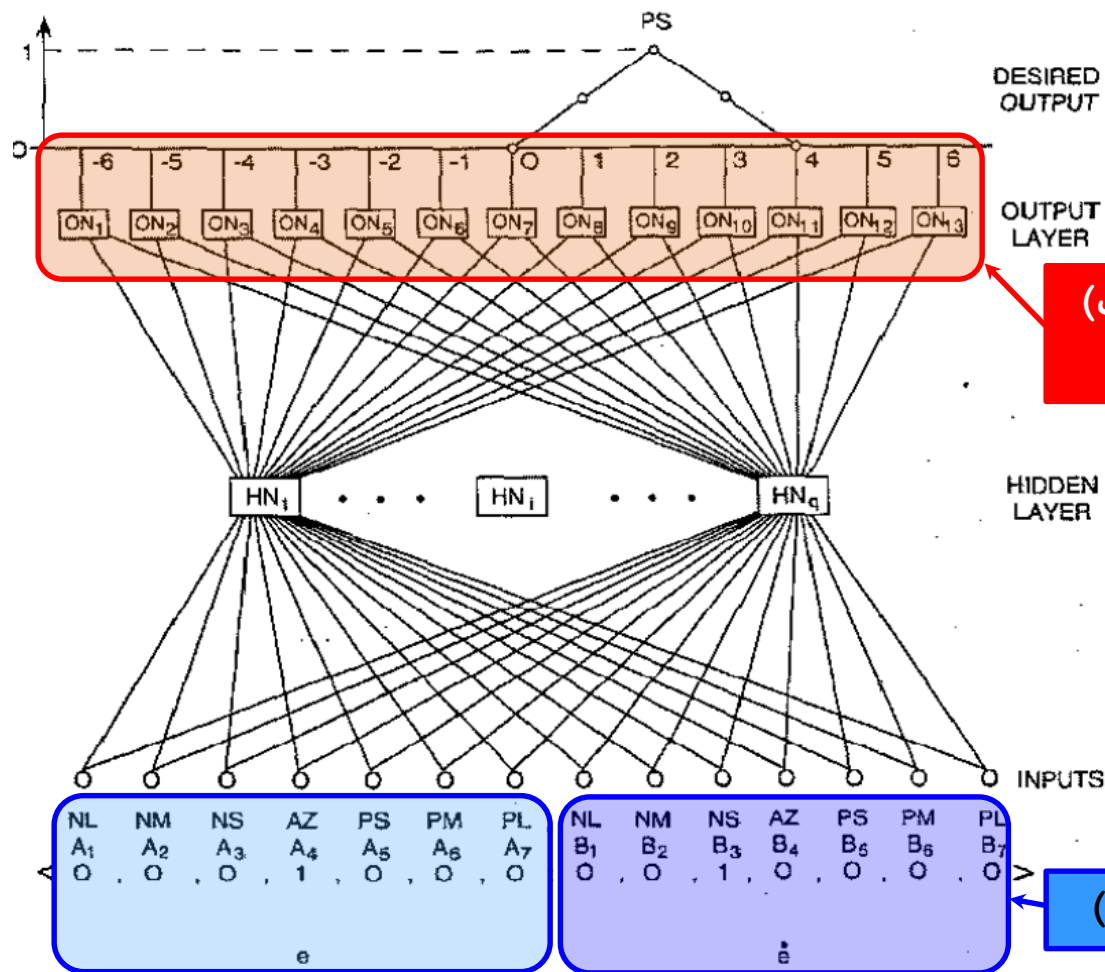
		e						
v		NL	NM	NS	AZ	PS	PM	PL
e	NL	PL				PM	AZ	
	NM							
	NS	PM		PM	PS	AZ	NM	
	AZ			PS	AZ	NS		
	PS			AZ	NS	NM		
	PM			AZ		NM		NL
	PL							



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

# فازی+شبکه عصبی: استنتاج در کنترل‌گر فازی با شبکه عصبی...

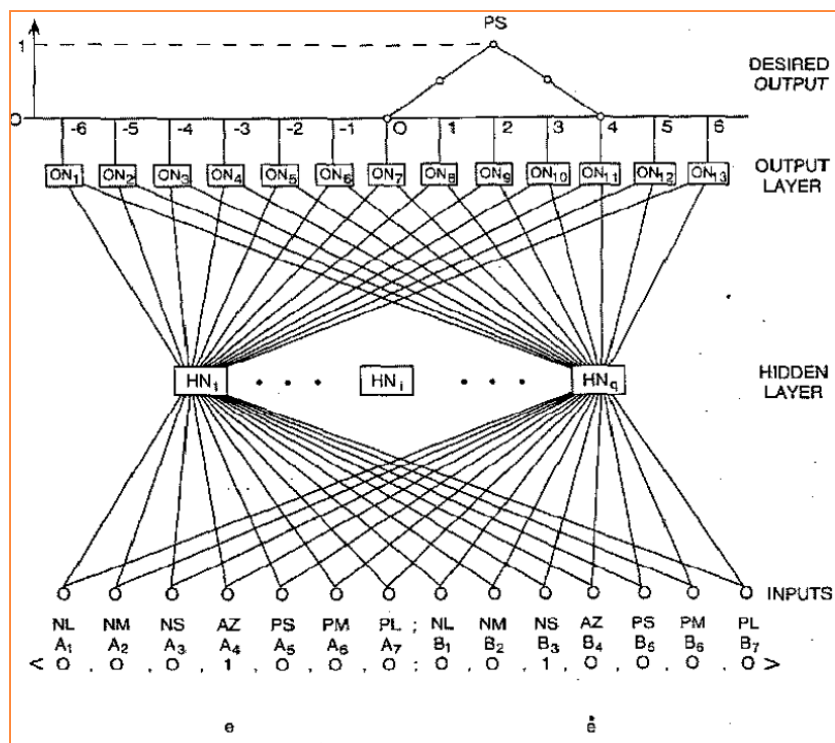
## ○ ساختار شبکه



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

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

## فازی+شبکه عصبی: استنتاج در کنترل‌گر فازی با شبکه عصبی



### ○ ساختار شبکه (مثال)

• **قانون** If  $e$  is  $AZ$  and  $\bar{e}$  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

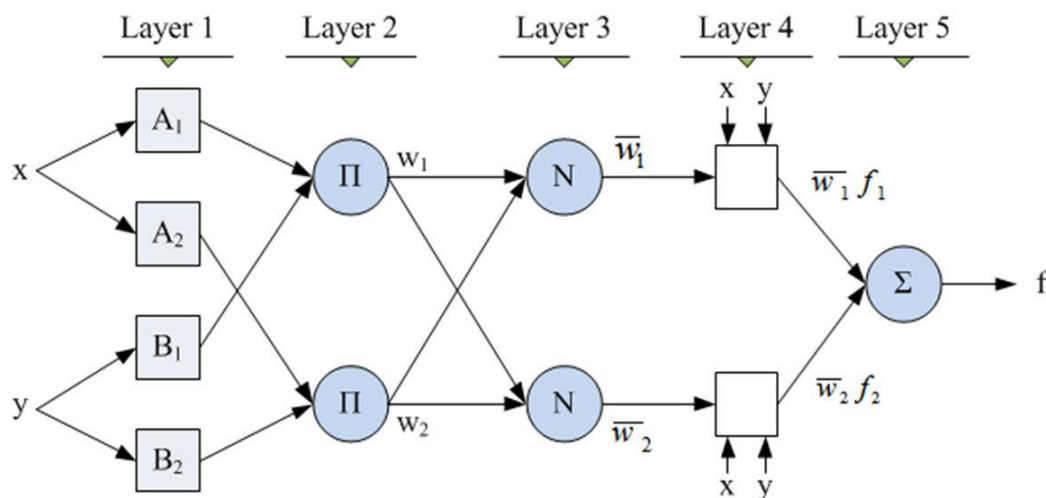
- نیاز به فازی کننده: تبدیل ورودی به متغیرهای زبانی مرتبط
- نیاز به غیرفازی کننده: تبدیل خروجی تمام نرون‌های خروجی (۱۳ مورد) به یک عدد

## فازی + شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...

### ○ سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)

- یک شبکه عصبی تطبیقی با عملکرد مشابه استنتاج فازی
- بر اساس مدل فازی تاکاگی-سوگنو (TSK)
- استفاده از یادگیری ترکیبی

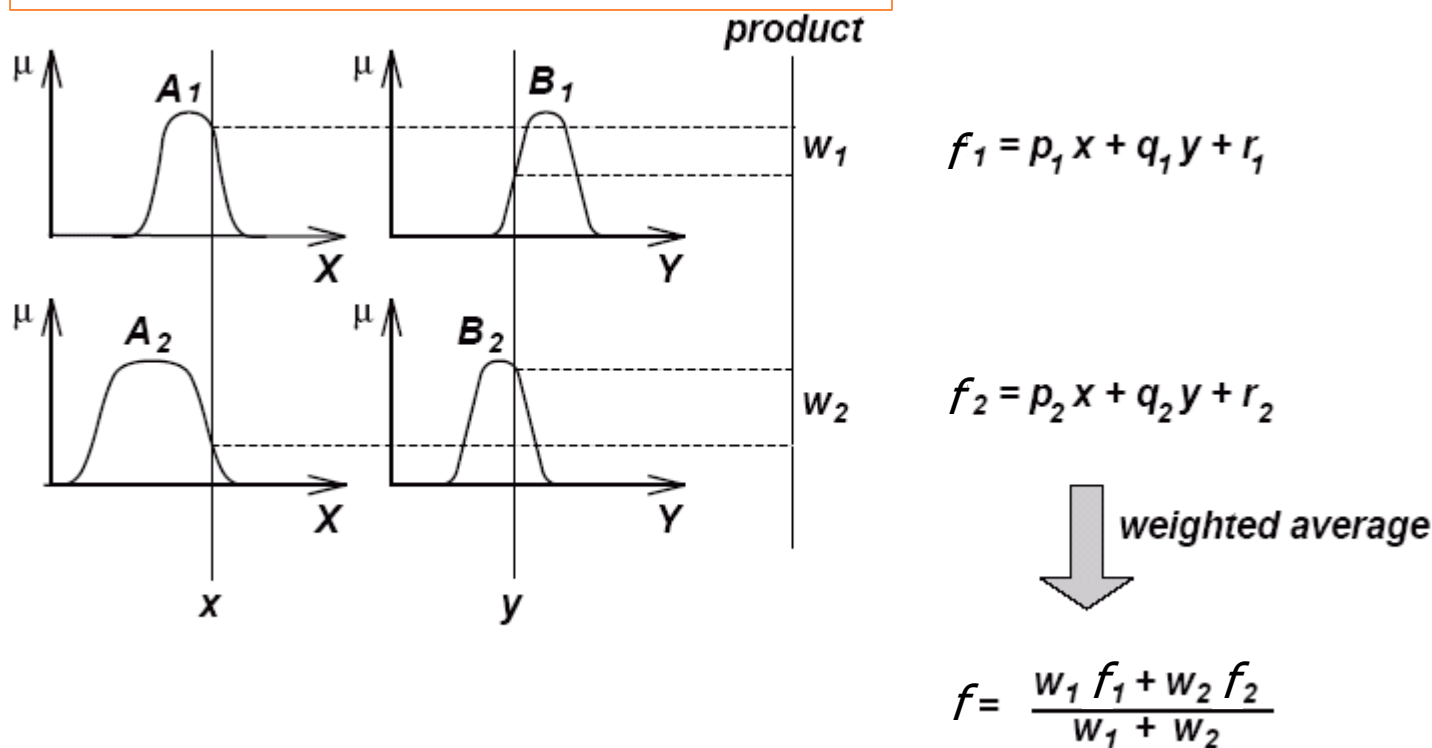
- یادگیری پارامترهای مدل TSK
- یادگیری پارامترهای توابع عضویت



## فازی+شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...

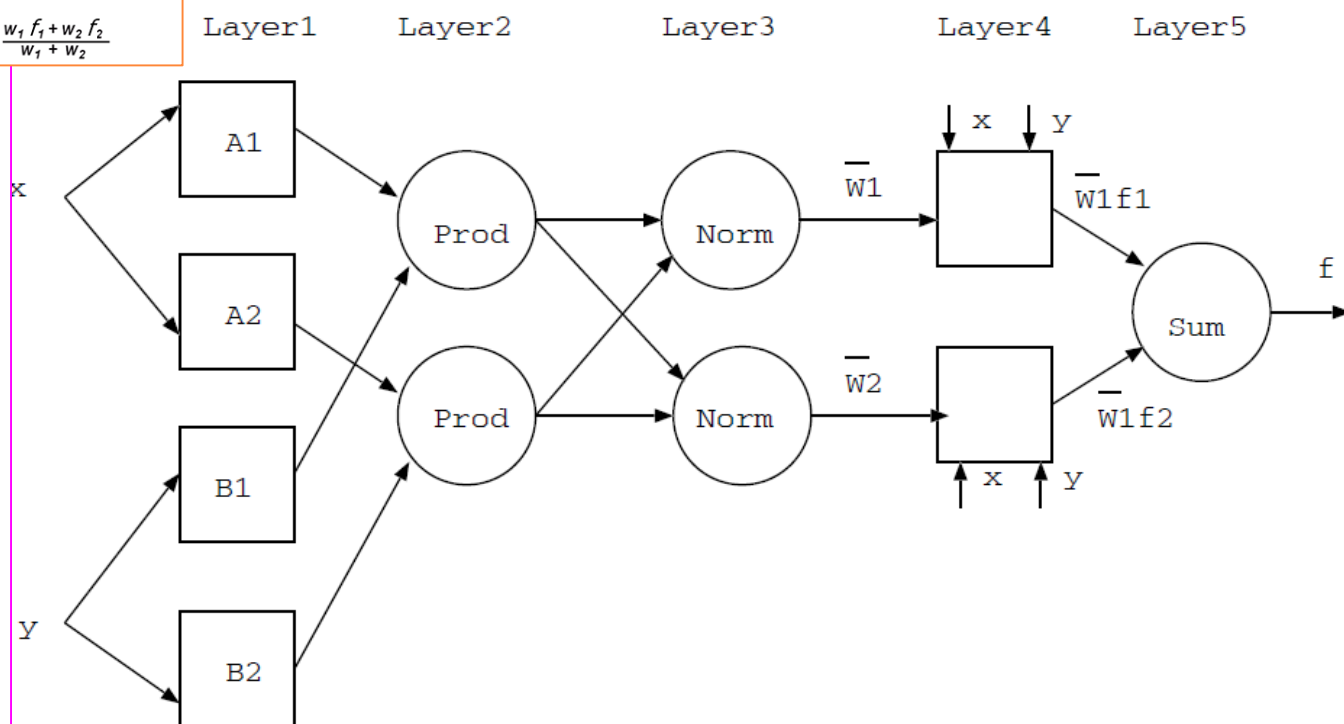
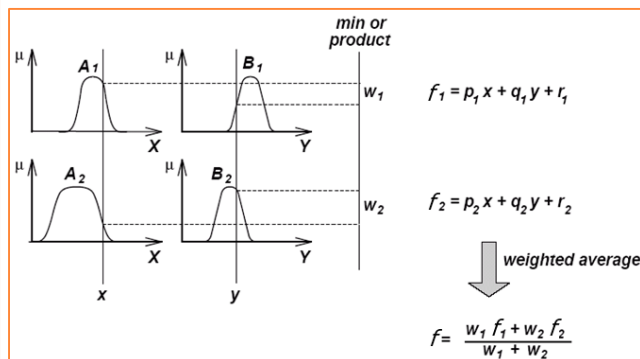
### ○ مدل فازی تاکاگی-سوگنو (TSK)

- Rule1:  
If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$ , then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$
- Rule2:  
If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$ , then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$



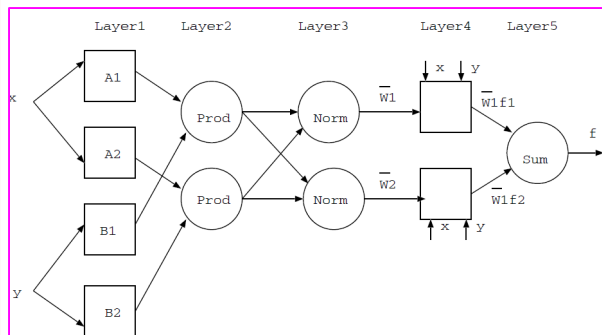
# فازی+شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...

## ○ ساختار شبکه





# فازی + شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...



## ورودی

- مقادیر  $x$  با توابع عضویت  $A_i$  و  $y$  با توابع عضویت  $B_i$

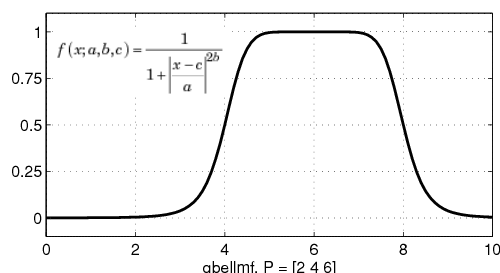
## لایه اول

- توابع عضویت  $A_i$  و  $B_i$

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \text{ for } i = 1, 2,$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x) \text{ for } i = 3, 4$$

خروجی گره  $i$ ام در لایه ۱



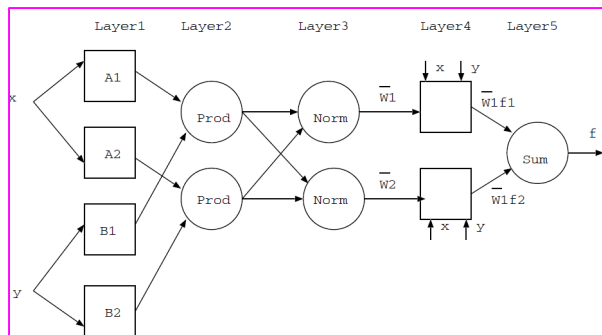
$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c_i}{a_i} \right|^{2b_i}}$$

## نمونه تابع عضویت

- مقادیر پارامترها  $a_i$ ,  $b_i$  و  $c_i$

اسم پارامترها: premise parameters

## فازی + شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...



### ○ لایه دوم (Prod)

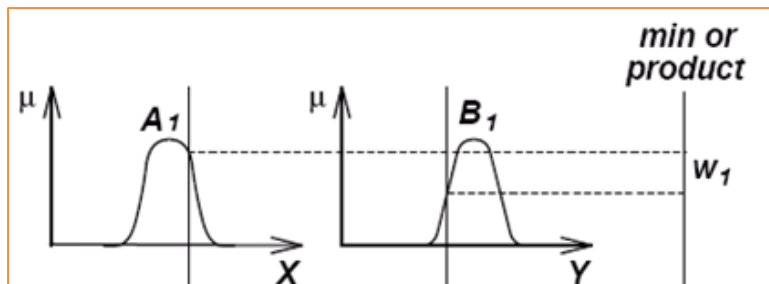
- خروجی هر گره برابر با حاصل ضرب ورودی‌هاست

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2$$

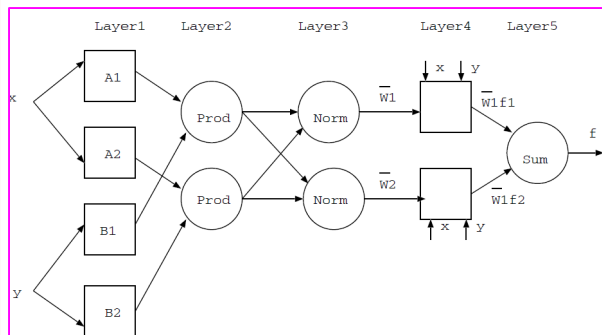
- هر گره بیانگر میزان شدت برانگیختگی هر کدام از قوانین است

○ خروجی گره  $w_i$  = وزن قانون  $w_i$

○ می‌توان به جای ضرب، از هر T-norm دیگری استفاده کرد



# فازی+شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...



## ○ لایه سوم (Norm)

- محاسبه نسبت نسبی شدت هر قانون

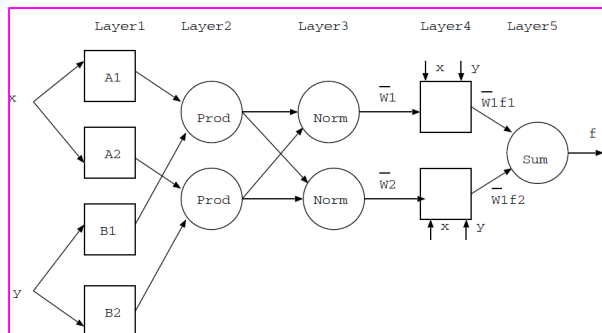
$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2$$

- خروجی هر گره بیانگر میزان شدت نرمال شده هر کدام از قوانین است

○ خروجی گره  $i$ ام = وزن قانون  $i$ ام،  $w_i$  تقسیم بر جمع وزن‌ها

○ اسم خروجی‌های این گره‌ها: normalized firing strengths

# فازی+شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...



○ لایه چهارم

• گره تطبیقی با عملکرد زیر

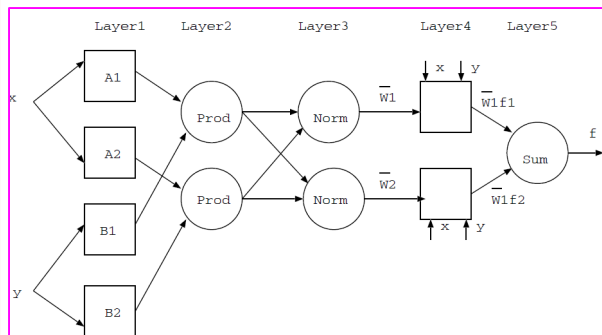
$$O_{4,1} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_x + q_i y + r_i)$$

خروجی گره iام در لایه ۳ = شدت  
نسبی قانون i

• پارامترها:  $p_i, q_i, r_i$

○ اسم پارامترها: consequent parameters

## فازی+شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...



### ○ لایه پنجم (Sum)

- یک گره ثابت برای محاسبه خروجی نهایی

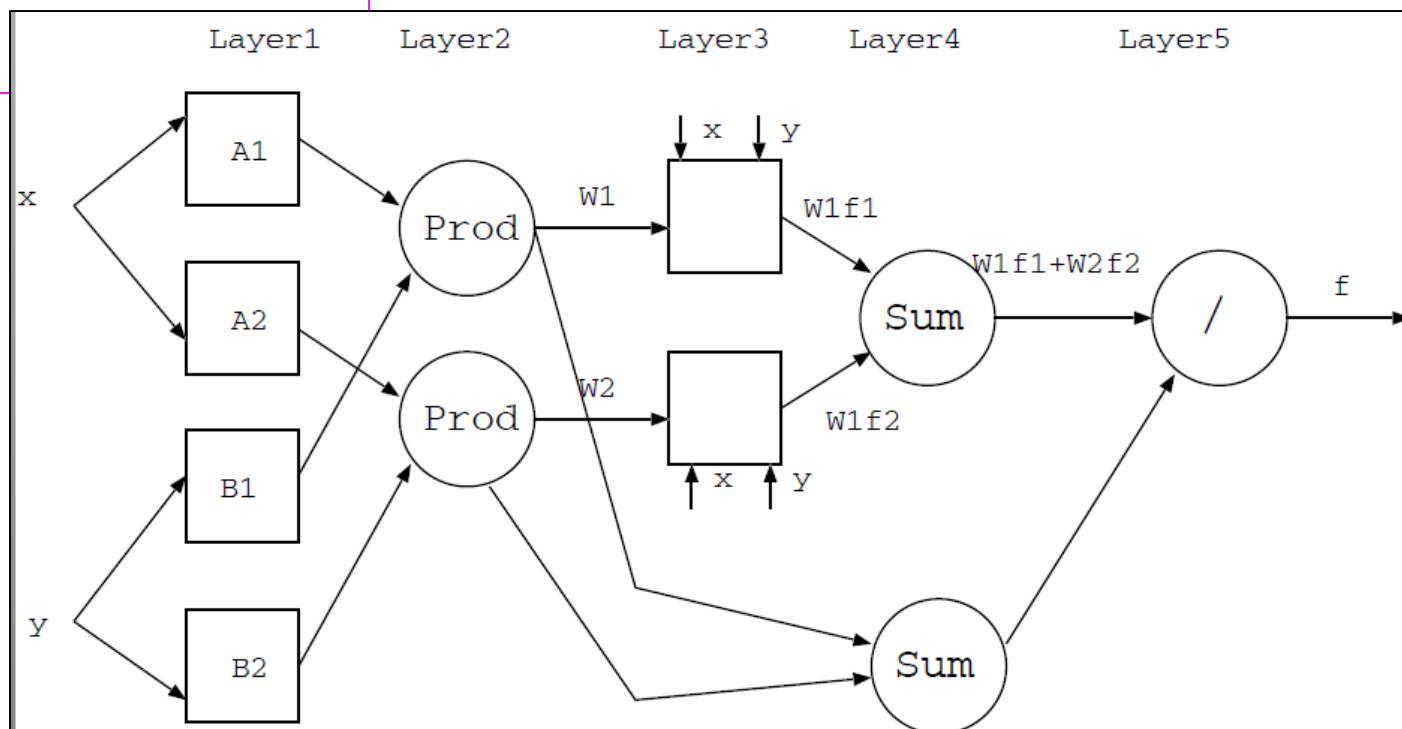
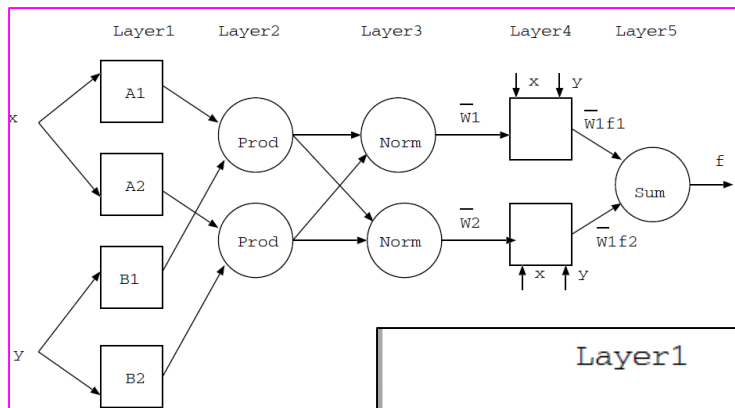
$$overall\ output = O_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

خروجی گره نام در لایه ۴

- خروجی این گره، جمع همه ورودیهاست

# فازی + شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...

○ ساختار دیگر





## فازی+شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) ...

### ○ آموزش ترکیبی در دو مرحله

- جلورو (forward): استفاده از مربعات کمینه (least-squares) در تخمین پارامترهای لایه ۴ (consequent parameters)

○  $p_i, q_i, r_i$

- عقب رو (backward): پس انتشار خطا و استفاده از کاهش گرادیان برای تخمین پارامترهای لایه اول (premise parameters)

○ پارامترهای توابع عضویت  $a_i, b_i$  و  $c_i$

پارامترهای لایه اول	پارامترهای لایه چهارم	داده مورد استفاده
جلورو (forward)	ثابت	خروجی گره‌ها
عقب رو (backward)	به روز کردن با کاهش گرادیان	خطای شبکه



## فازی+شبکه عصبی: سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS)

○ سیستم تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) یک تقریب زننده جهانی است

• در مدل مرتبه صفر (تابع  $f$  ثابت باشد) TSK،  $\text{if } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x, y)$

• با افزایش تعداد قوانین، می‌توان هر تابع غیرخطی‌ای را با هر دقتی تخمین زد

• اثبات با قضیه Stone-Weierstrass





## محاسبات تکاملی+شبکه عصبی ...

### ○ کاربردهای الگوریتم‌های در شبکه عصبی

- آموزش شبکه عصبی: تعیین وزن‌ها

- مزیت (نسبت به روش‌هایی مانند پس انتشار خطا): وابسته به ساختار شبکه نیستند و شبکه می‌تواند پیش‌خور (Feedforward) یا بازگشتی (Recurrent) و یا ترکیبی باشد

- تعیین ساختار بهینه شبکه عصبی

- تعیین اینکه تعداد نرون‌ها و اتصال بین نرون‌ها به چه صورت باشد

- تعیین پیکره‌بندی بهینه شبکه

- مقادیر بهینه برای پارامترهای مختلف شبکه مانند تعداد لایه‌ها، تعداد نرون در هر لایه، نرخ یادگیری، مقدار ممان و ...

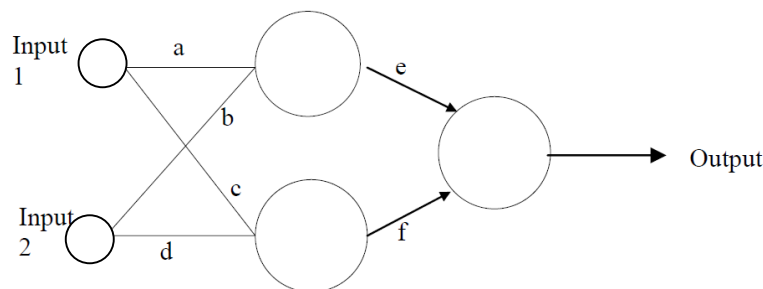
# محاسبات تکاملی + شبکه عصبی: آموزش شبکه عصبی ...

## ○ نمایش کروموزوم (کدینگ)

• کروموزوم = وزن‌ها

○ مقدار حقیقی: هر وزن معادل یک ژن

○ دودویی: هر وزن معادل تعدادی ژن



a	b	c	d	e	f
---	---	---	---	---	---

کروموزوم (حقیقی)

3	1	15	50	16	33
---	---	----	----	----	----

نمونه مقدار



a	b	c	d	e	f
000011	000001	001111	110010	010000	100001

کروموزوم (دودویی)



## محاسبات تکاملی+شبکه عصبی: آموزش شبکه عصبی

### ○ تابع برازش

- استفاده از مقدار خطای شبکه برای ارزیابی کیفیت کروموزم‌ها (وزن‌ها)

$$E = 0.5 \sum_k [t_k - y_k]^2$$

- برازش (خوب بودن پاسخ) =  $1/E$

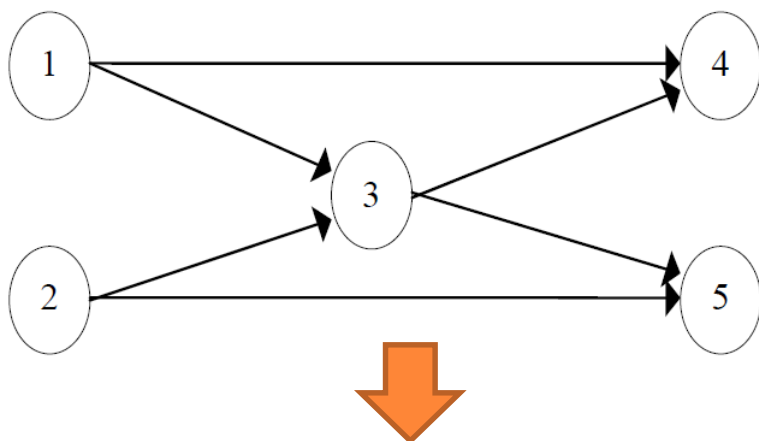
### ○ سایر عملگرهای الگوریتم ژنتیک

- مشابه الگوریتم ژنتیک استاندارد و مطابق با نوع ژن‌ها (حقیقی، دودویی)
- تولید تعدادی جمعیت اولیه (شبکه‌های با وزن‌های مختلف) در شروع
- تکرار تا رسیدن به خطای پایین (یا عدم تغییر زیاد خطا)

## محاسبات تکاملی+شبکه عصبی: تعیین ساختار شبکه عصبی...

### ○ تعیین نحوه اتصال نرون‌ها به هم

- هدف: یافتن ساختار بهینه



- نمایش کروموزوم (کدینگ)

	نرون ۱	نرون ۲	نرون ۳	نرون ۴	نرون ۵
نرون ۱	0	0	1	1	0
نرون ۲	0	0	1	0	1
نرون ۳	0	0	0	1	1
نرون ۴	0	0	0	0	0
نرون ۵	0	0	0	0	0

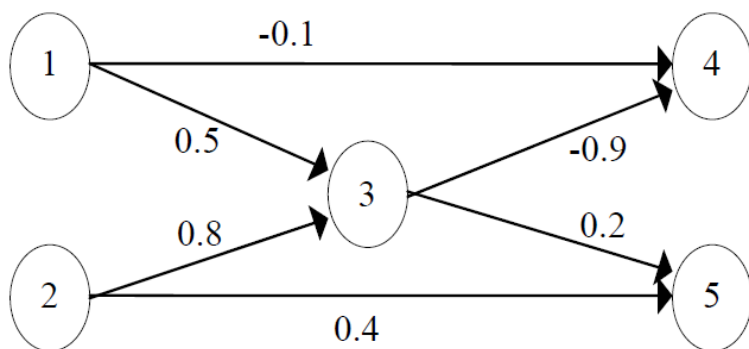
نرون ۱ به نرون ۱ و ۲ و ۵ متصل نیست (مقدار ۰) اما به نرون ۳ و ۴ متصل است (مقدار ۱)



00110,00101,00011,00000,00000



## محاسبات تکاملی + شبکه عصبی: تعیین ساختار شبکه عصبی...



Connections

```

0 0 1 1 0
0 0 1 0 1
0 0 0 1 1
0 0 0 0 0
0 0 0 0 0
    
```



Weights

```

+0.0 +0.0 +0.5 -0.1 +0.0
+0.0 +0.0 +0.8 +0.0 +0.4
+0.0 +0.0 +0.0 -0.9 +0.2
+0.0 +0.0 +0.0 +0.0 +0.0
+0.0 +0.0 +0.0 +0.0 +0.0
    
```

○ تبدیل نمایش کرموزوم به وزن

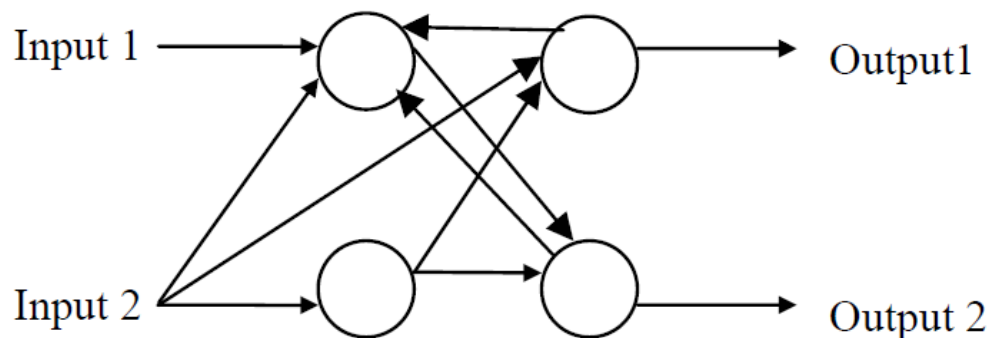
• اگر اتصال وجود نداشت، وزن صفر است



## محاسبات تکاملی + شبکه عصبی: تعیین ساختار شبکه عصبی

### ○ یافتن هر نوع ساختار

- اتصالات می‌تواند دوطرفه باشد (با وزن‌های مختلف)





## محاسبات تکاملی+شبکه عصبی: برنامه‌نویسی ژنتیک

### تبدیل شبکه عصبی به یک ساختار درختی

