

شبکه‌های عصبی مصنوعی

۰۱-۷۱۳-۱۱-۱۳

بخش ششم

ART1



دانشگاه شهید بهشتی

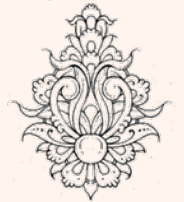
دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر

بهار ۱۳۹۴

احمد محمودی ازناوه

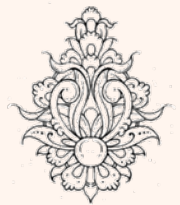
# فهرست مطالب

- نظریه تشدید انطباقی، نوسان وفقی (ART1)
  - پایداری در برابر انعطاف‌پذیری
  - ساختار شبکه
  - شیوهی آموزش
  - چند مثال



# پیش‌گفتار

- این نظریه بر اساس نمونه‌ی پردازش اطلاعات در مغز توسط Stephen Grossberg و Gail Carpenter مطرح شد.
- این نظریه مدلی از شبکه‌های عصبی را توصیف می‌کند که به هر دو شیوه‌ی بی‌نظارت و با نظارت آموزش می‌بیند و برای بازشناخت الگو و پیش‌بینی کاربرد دارد.

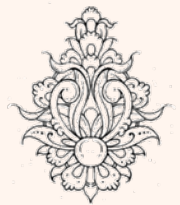


# Adaptive Resonance Theory

- این سیستم پایداری و انعطاف‌پذیری را همزمان در نظر می‌گیرد.

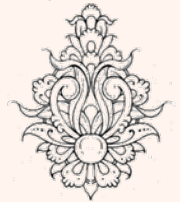
## Stability-Plasticity Dilemma

- Stability:
  - رفتار سیستم در برابر رویدادهای غیرمرتبط **پایدار** است.
- Plasticity:
  - سیستم در برابر رویدادهای بزرگ خود را **تطبیق** می‌دهد.
- در این صورت همانند رفتار بیولوژیکی انسان سیستم همواره در حال آموزش است و از دانش قبلی خود استفاده می‌کند.



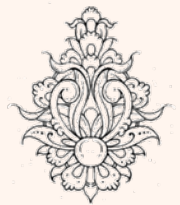
# انحطاف پذیری Adaptive Resonance Theory

- ART1 یک شبکه‌ی **بی‌ناظر** است، البته به صورت **باناظر** هم تعمیم یافته است.
- برای ورودی‌های جدید اگر خوشه‌ی (Cluster) مناسب یافت نشود، که این ورودی را در خود جای دهد، گروه جدیدی ایجاد می‌گردد.
- این کار با استفاده از پارامتری به نام امتیاط (هوشیاری) (**vigilance**) انجام می‌شود. در واقع با این پارامتر تعادلی بین پایداری و انحطاف‌پذیری ایجاد می‌شود.
- در این شبکه به جای استفاده از اختلاف نمونه‌ها (absolute difference)، شباهت نسبی (relative similarity) مورد استفاده قرار می‌گیرد.



# پارامتر امتیاط (هوشیاری)

- پارامتر امتیاط که با  $\rho$  نشان داده می‌شود، وظیفه‌ی مراقبت از شبکه را بر عهده دارد.
- هر چه قدر  $\rho$  بیشتر باشد، گروه‌ها کوچک‌تر و تعداد آن‌ها بیشتر خواهد بود.
- شبکه‌ی ART به گونه‌ای برای ورودی‌های جدید که امکان طبقه‌بندی شدن در گروه‌های جاری را ندارند، گروه جدید ایجاد می‌کند.
- ART1 تنها از بردارهای ورودی **دودویی** استفاده می‌کند.



- $N$  الگو داریم که هر یک اندازه‌ی  $m$  دارند.

$$X_n \quad (m \times 1) \quad n = 1, 2, 3, \dots, N$$

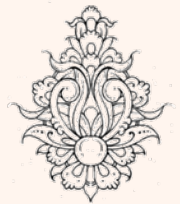
- هدف:

– خوشه‌بندی نمودن بردارهای  $X$  به گونه‌ای که هر دسته دارای یک مرکز باشد.

– به این مرکز Prototype (P) یا همان شاخص دسته گویند.

- فرضیات

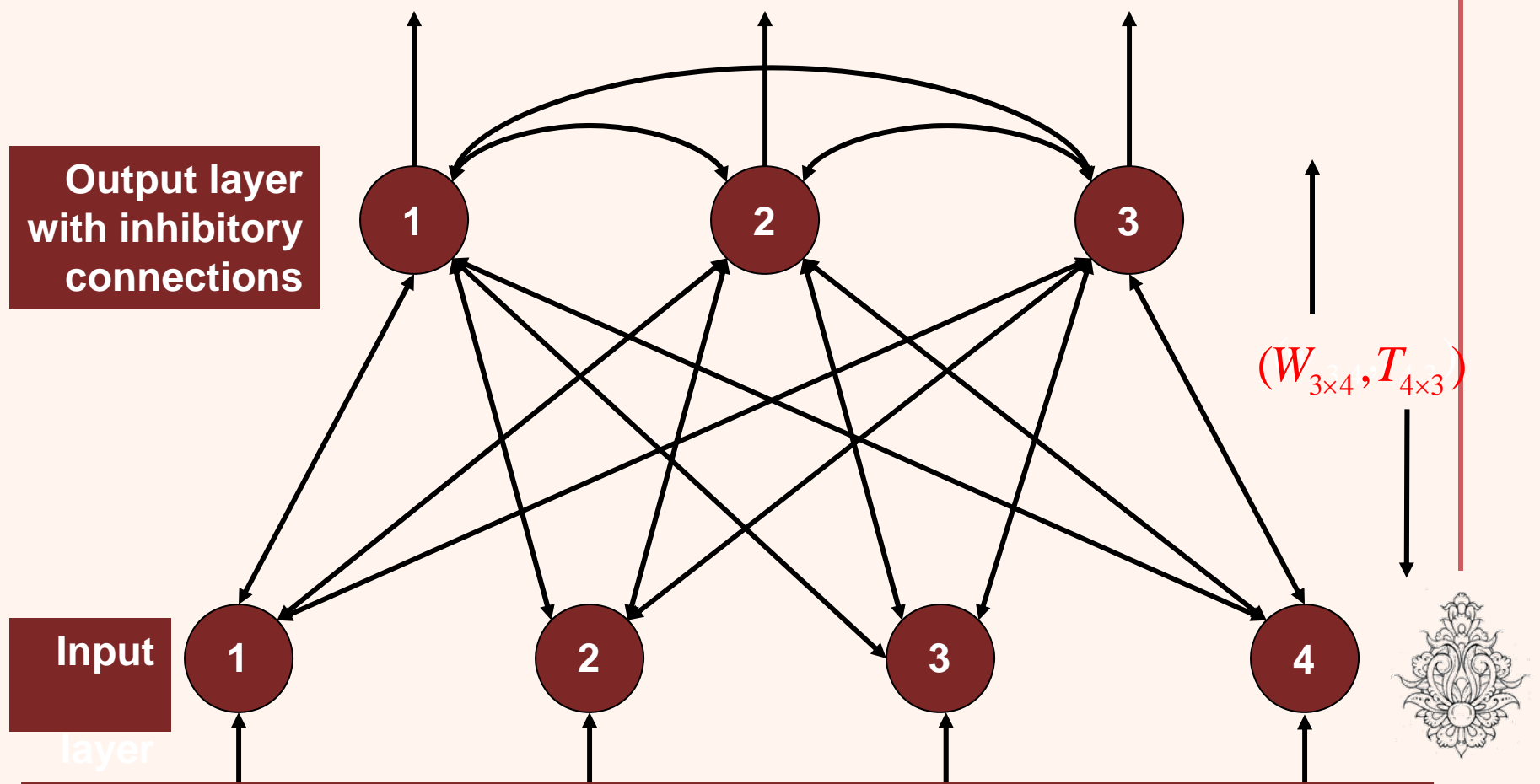
– بردارهای  $X_n$  دارای اعضای صفر و یک هستند.



# The ART-1 Network

# ساختار شبکه

نزدیکترین فاصله میان ورودی و شاخص مشخص می‌دارد ورودی به کدام گروه تعلق دارد



Output layer with inhibitory connections

Input layer

دو گروه وزن وجود دارد :

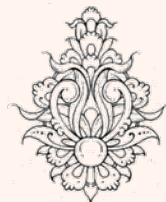
Bottom-up weight : مشخص می‌کند بهترین کاندید برای فروجی ورودی جاری کدام است.

Top Down Weight : شاخص یا همان prototype بهینه گروه انتخاب شده را معین می‌کند.





- یک الگو ممکن است چندین بار به شبکه اعمال شود.
- برخی شبکه‌ها با کاهش نرخ آموزش به پایداری می‌رسند، در این صورت به شبکه اجازه یادگیری داده‌های جدید داده نمی‌شود.
- توانایی شبکه در یادگیری داده‌های جدید در هر مرحله **Plasticity** نامیده می‌شود.

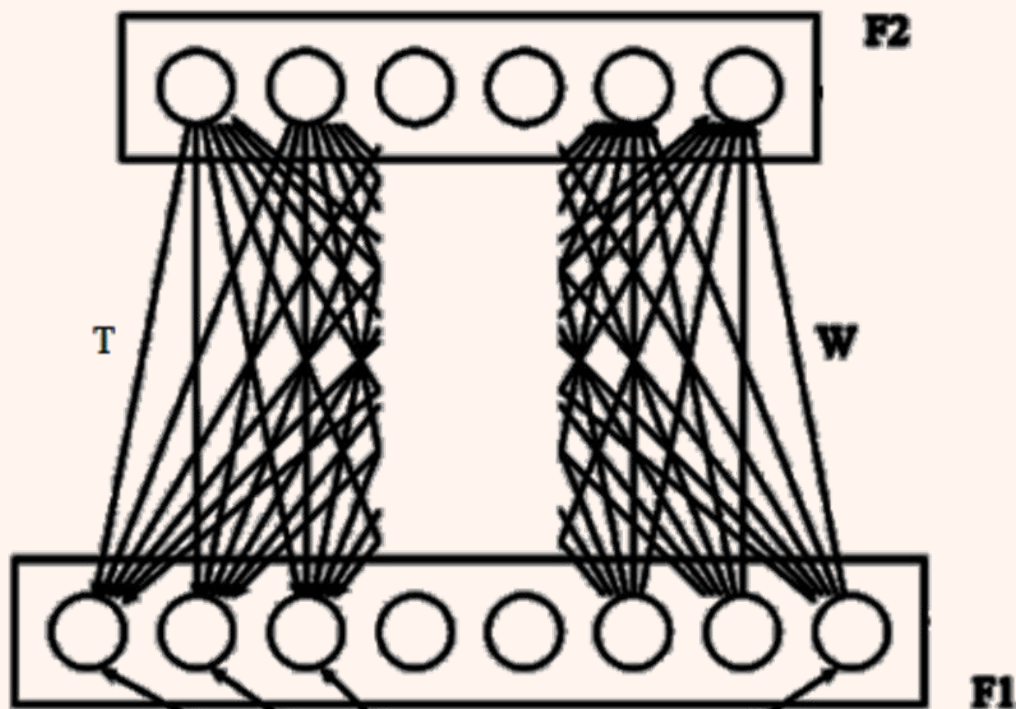


$$\|X_n\|$$

• تعداد یک‌های موجود در بردار  $X_n$

$$X \cdot Y = X \cap Y$$

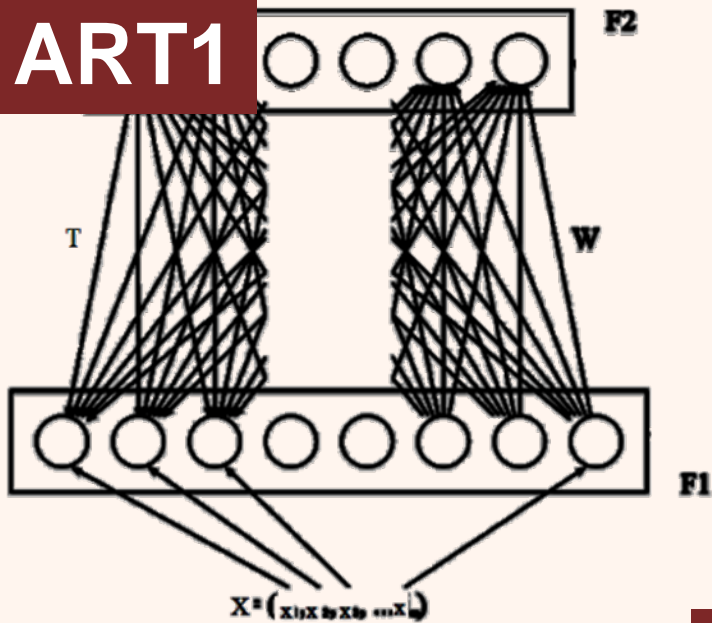
• تعداد یک‌های مشترک در دو بردار



$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

**Basic ART Structure**



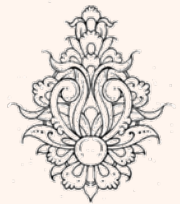


- اگر وزن‌های اتصالی از واحدهای ورودی به واحد ناخروجی را مانند زیر تعریف کنیم:

### Weight Matrix Feed Forward

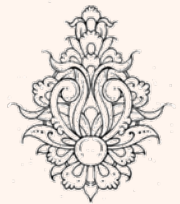
- پس از اینکه وزن‌ها اعمال شد، در خروجی واحد برنده انتخاب شده، یکی برنده و بقیه صفر می‌شوند.
- اگر چند واحد مساوی بود چپ‌ترین (طبق ساختار شکل) برنده است.

$$W_i = \begin{bmatrix} w_{i1} \\ \cdot \\ \cdot \\ w_{iN} \end{bmatrix}$$



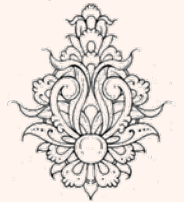
## T: Weight Matrix Feed Backward

- پس از انتخاب برنده، یک ماتریس وزن دهی  $W$  به عقب وجود دارد.
- اعضای  $T$  با توجه به ورودی که باعث برنده شدن شده است تنظیم می‌شوند.
- در انتها مقادیر وزن‌های ماتریس  $T$  به عنوان شاخص گروه مشخص می‌گردد.
- تمامی این فرآیند یک Iteration محسوب می‌شود.



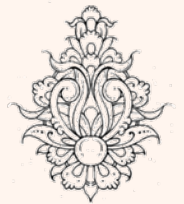
# Initialize phase

- ماتریس  $T$ : تمامی اعضایش برابر با یک قرار داده می‌شوند.
- ماتریس  $W$ : تمامی اعضایش  $1/(m+1)$  قرار داده می‌شوند.
- $m$  (اندازه‌ی بردار  $X$ )
- $N$  (تعداد بردار  $X$ )



## Recognition phase

- بردار ورودی  $X$  به شبکه اعمال می‌شود و از طریق ماتریس  $W$  به لایه‌ی خروجی هدایت می‌شود. (ماتریس  $T$  غیرفعال)  
- در خروجی واحد برنده انتخاب می‌شود.



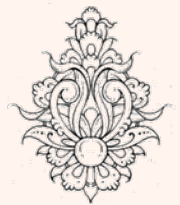
# Comparison phase

- مقدار  $S$  را برای واحد برنده‌ی  $z$  محاسبه می‌شود.  
$$S = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ij} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^m X_i}$$
- پارامتر  $\rho$  مشخص می‌کند آیا ورودی متعلق به گروهی موجود در نظر گرفته خواهد شد باید گروهی جدید برایش ایجاد گردد.
- آیا  $S > \rho$

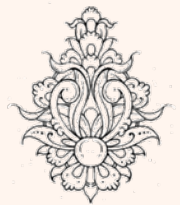
- بله، ورودی به گروه  $z$  تعلق دارد (بردار شاخص  $t_j$  اصلاح می‌شود)

$$t_{i,j}(k+1) = t_{i,j}(k) X_i \quad W_{i,j^*}(K+1) = \frac{t_{i,j^*}(k) X_i}{0.5 + \|T^T_{j^*} X\|}$$

- خیر، ورودی به گروه جدیدی تعلق دارد، گروه جدیدی اضافه خواهد شد.



- ورودی‌ها به صورت مرتب اعمال می‌شوند.
- برای مجموعه‌ای محدود از الگوهای آموزشی الگوریتم به پایداری می‌رسد.
- پس از رسیدن به پایداری هر الگوی ورودی مستقیماً به بردار شاخص خود دسترسی دارد.





- A. Initialize each top-down weight  $t_{l,j}(0) = 1$ ;
- B. Initialize bottom-up weight  $w_{j,l}(0) = 1/m+1$ ;
- C. **While** the network has not stabilized, **do**
  - 1. Present a randomly chosen pattern  $x = (x_1, \dots, x_n)$  for learning
  - 2. Let the active set  $A$  contain all nodes; calculate  

$$y_j = w_{j,1} x_1 + \dots + w_{j,n} x_n$$
 for each node  $j \in A$ ;
  - 3. **Repeat**
    - a) Let  $j^*$  be a node in  $A$  with largest  $y_j$ , with ties being broken arbitrarily;
    - b) Compute  $s^* = (s_1^*, \dots, s_n^*)$  where  $s_l^* = t_{l,j^*} x_l$ ;
    - c) Compare similarity between  $s^*$  and  $x$  with the given vigilance parameter  $\rho$ :

**if**  $\frac{\sum_{l=1}^n s_l^*}{\sum_{l=1}^n x_l} \leq \rho$  **then** remove  $j^*$  from set  $A$

**else** associate  $x$  with node  $j^*$  and update weights:

$$b_{j^*l}(\text{new}) = \frac{t_{l,j^*}(\text{old})x_l}{0.5 + \sum_{l=1}^n t_{l,j^*}(\text{old})x_l} \quad t_{l,j^*}(\text{new}) = t_{l,j^*}(\text{old})x_l$$

**Until**  $A$  is empty or  $x$  has been associated with some node  $j$

- 4. If  $A$  is empty, then create new node whose weight vector coincides with current input pattern  $x$ ;

**end-while**

# مثال

- فرض کنیم چهار بردار ورودی همانند زیر داریم که می‌خواهیم در سه گروه قرار بگیرند:

$$X_1 = [1, 0, 1, 0]^T$$

$$X_2 = [1, 1, 0, 0]^T$$

$$X_3 = [0, 1, 1, 0]^T$$

$$X_4 = [1, 1, 1, 0]^T$$

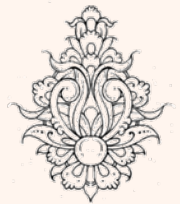
$$m=4$$

$$N=4$$

- برای وزن‌های اولیه خواهیم داشت:

$$t_{ij(0)} = 1$$

$$w_{ij(0)} = \frac{1}{1+m} = \frac{1}{5} = 0.2$$



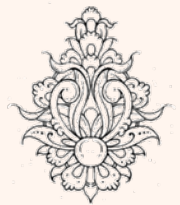
**vigilance parameter  $\rho = 0.6$**

# ادامه‌ی مثال

- فرض می‌کنیم هر گروه یک شاخص دارد برای ابتدای کار شاخص را برابر با ۱ قرار می‌دهیم:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 3} \quad W = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$

- پس از مرحله‌ی مقداردهی اولیه، ورودی‌ها را به سیستم اعمال می‌کنیم:



# ادامه‌ی مثال

$$X_1 \rightarrow W^T X_1 = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.4 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$



همه با هم برابر پس  
اولی انتخاب می‌شود

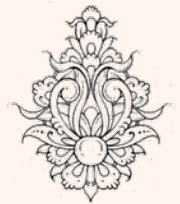
$$j^* = 1$$

• تست پارامتر **vigilance**

$$S = \frac{X_1^T \cdot T_1}{\|X_1\|} = \frac{2}{2} = 1 > \rho$$



$$\begin{aligned} T_{j^*}(1) &= T_1(1) = T_1(0) \cdot X_1 \\ &= [1 \ 0 \ 1 \ 0]^T \end{aligned}$$

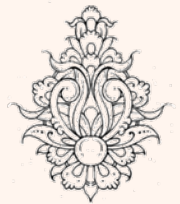


# ادامہ ہی مثال

$$W_{ij^*}(1) = \frac{t_{ij^*}(0) X_{1i}}{0.5 + X_1^T \cdot T_{j^*}(0)} = \frac{[1 \ 0 \ 1 \ 0]}{2.5} = [0.4 \ 0 \ 0.4 \ 0]$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$



اتمام یک iteration

# ادامه‌ی مثال

$$X_2 \rightarrow W^T X_2 = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.4 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

•  $X_2$  اعمال می‌گردد.

$$j^* = 1$$

• تست  $\rho$

$$S = \frac{X_2^T T_1}{\|X_2\|} = \frac{1}{2} = 0.5 < \rho$$



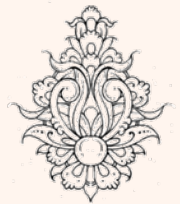
• از ۲ به عنوان برنده استفاده می‌کنیم:

$$S = \frac{X_2^T T_2}{\|X_2\|} = \frac{2}{2} = 1 > \rho$$



$$T_2(2) = T_2(1) \cdot X_2$$

$$= [1 \ 1 \ 0 \ 0]^T$$



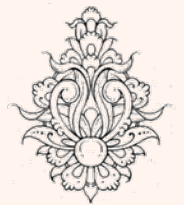
# ادامہی مثال

$$T_2(2) = T_2(1) \wedge X_2 \\ = [1 \ 1 \ 0 \ 0]^T$$

$$W_2 = \frac{T_2(1) \cdot X_2}{0.5 + X_2^T \cdot T_2(1)} = \frac{[1 \ 1 \ 0 \ 0]}{2.5} = [0.4 \ 0.4 \ 0 \ 0]$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0.4 & 0.2 \\ 0.4 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.2 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$



iteration **اتمام دومین**

# ادامه‌ی مثال

$$X_3 \rightarrow W^T X_3 = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.4 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

• اعمال  $X_3$

$$j^* = 1$$

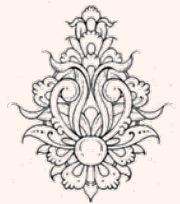
$$S = \frac{X_3^T \cdot T_1(2)}{\|X_3\|} = \frac{1}{2} = 0.5 < \rho$$

• تست  $\rho$



• از ۲ به عنوان برنده استفاده می‌کنیم:

$$S = \frac{X_3^T \cdot T_2(2)}{\|X_3\|} = \frac{1}{2} = 0.5 < \rho$$





# ادامه‌ی مثال

- از ۳ به عنوان برنده استفاده می‌کنیم:

$$S = \frac{X_3^T T_{3(2)}}{\|X_3\|} = \frac{2}{2} = 1 > \rho$$

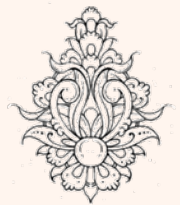


$$T_3(3) = T_3(2) \cdot X_3 \quad W_3 = [0 \quad 0.4 \quad 0.4 \quad 0]$$

$$= [0 \quad 1 \quad 1 \quad 0]^T$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$



# ادامه‌ی مثال

•  $X_4$  اعمال می‌گردد:

$$j^* = 1$$

• تست  $\rho$

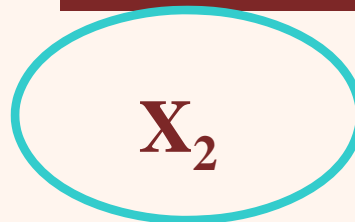
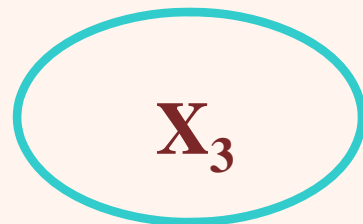
$$X_4 \rightarrow W^T X_4 = \begin{bmatrix} 0.8 \\ 0.8 \\ 0.8 \end{bmatrix}$$

$$S = \frac{X_4^T \cdot T_1}{\|X_4\|} = \frac{2}{3} > \rho$$

$$T_1(4) = T_1(3) \cdot X_4 \\ = [1 \ 0 \ 1 \ 0]^T$$

$$W_1 = [0.4 \ 0 \ 0.4 \ 0]$$

ثابت ماندن P پس به حالت پایدار رسیده‌است



# مثال

$$X_1 = [1, 1, 0, 0, 0, 0, 1]^T$$

$$X_2 = [0, 0, 1, 1, 1, 1, 0]^T$$

$$X_3 = [1, 0, 1, 1, 1, 1, 0]^T$$

$$X_4 = [0, 0, 0, 1, 1, 1, 0]^T$$

$$X_5 = [1, 1, 0, 1, 1, 1, 0]^T$$

- بردارهای ورودی را در نظر بگیرید:
- با داشتن اندازه ورودی هفت و یک خروجی

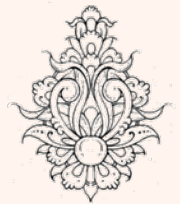
vigilance parameter  $\rho = 0.7$

برای اولین بردار ورودی داریم:

$$[1, 1, 0, 0, 0, 0, 1]^T$$

$$y_1 = \frac{1}{8} \cdot 1 + \frac{1}{8} \cdot 1 + \frac{1}{8} \cdot 0 + \frac{1}{8} \cdot 0 + \frac{1}{8} \cdot 0 + \frac{1}{8} \cdot 0 + \frac{1}{8} \cdot 1 = \frac{3}{8}$$

Y1 برنده است (رقابتی صورت نگرفته)



$$S = \frac{X_1^T T_1(0)}{\|X_1\|} = \frac{3}{3} = 1 > \rho$$



$$T_{j^*}(1) = T_1(1) = T_1(0) \cdot X_1$$

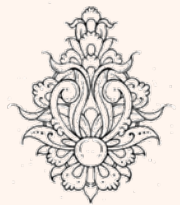
$$W(1) = \left[ \begin{array}{ccccccc} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 3.5 & 3.5 & & & & & 3.5 \end{array} \right]^T$$

$$T(1) = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]^T$$

• اعمال ورودی دوم:  $[0, 0, 1, 1, 1, 1, 0]^T$

$$y_1 = \frac{1}{3.5} \cdot 0 + \frac{1}{3.5} \cdot 0 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + \frac{1}{3.5} \cdot 0 = 0$$

$$S = \frac{X_2^T T_1(1)}{\|X_2\|} = \frac{0}{4} = 0 < \rho$$



$$W(2) = \begin{bmatrix} 1/3.5 & 1/3.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3.5 \\ 0 & 0 & 1/4.5 & 1/4.5 & 1/4.5 & 1/4.5 & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$T(2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^T$$

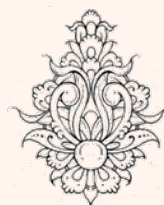
• ورودی سهو اعمال می شود  $[1, 0, 1, 1, 1, 1, 0]^T$

$$y_1 = \frac{1}{3.5}; \quad y_2 = \frac{4}{4.5}$$

Y2 برنده است پس تست برای پارامتر  
vigilance صورت می گیرد

$$S = \frac{X_3^T T_2(2)}{\|X_3\|} = \frac{4}{5} = 0.8 > \rho$$

شبکه عصبی



• به روزسانی وزن‌ها

$$W(3) = \begin{bmatrix} 1/3.5 & 1/3.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3.5 \\ 0 & 0 & 1/4.5 & 1/4.5 & 1/4.5 & 1/4.5 & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$T(3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^T$$

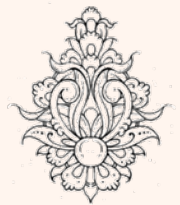
• اعمال چهارمین ورودی  $[0, 0, 0, 1, 1, 1, 0]^T$

$$y_1 = 0; \quad y_2 = \frac{3}{4.5}$$

Y2 برنده است پس تست برای پارامتر  
vigilance صورت می‌گیرد

$$S = \frac{X_4^T \cdot T_2(3)}{\|X_4\|} = \frac{3}{3} = 1 > \rho$$

شبکه عصبی



• به روزسانی وزن‌ها

$$W(4) = \begin{bmatrix} 1/3.5 & 1/3.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1/3.5 & 1/3.5 & 1/3.5 & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$T(4) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^T$$

• اعمال ورودی پنجم  $[1, 1, 0, 1, 1, 1, 0]^T$

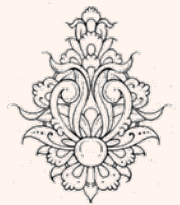
$$y_1 = \frac{2}{3.5}; \quad y_2 = \frac{3}{3.5}$$

Y2 برنده است پس تست برای پارامتر  
vigilance صورت می‌گیرد

$$S = \frac{X_5^T T_2(4)}{\|X_5\|} = 0.6 < \rho$$



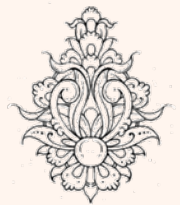
$$S = \frac{X_5^T T_1(4)}{\|X_5\|} = 0.4 < \rho$$



- تست vigilance برای هر دو گروه قابل قبول نیست پس می‌باید گروه جدیدی ایجاد گردد:

$$W(5) = \begin{bmatrix} 1/3.5 & 1/3.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1/3.5 & 1/3.5 & 1/3.5 & 0 \\ 1/5.5 & 1/5.5 & 0 & 1/5.5 & 1/5.5 & 1/5.5 & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$T(5) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^T$$





# دومین epoch

در epoch دوم، اولین بردار مجدداً اعمال می‌شود.

$$[1, 1, 0, 0, 0, 0, 1]^T$$

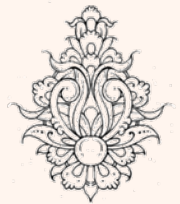
$$y_1 = \frac{3}{3.5}; \quad y_2 = 0; \quad y_3 = \frac{2}{5.5}$$

Y1 برنده است پس تست برای پارامتر  
vigilance صورت می‌گیرد

$$S = \frac{X_1^T T_1(5)}{\|X_1\|} = 1 > \rho$$



چون ورودی همانند بردار وزن است به‌روزرسانی لازم  
نیست.



# دومین epoch

در epoch دوم، دومین بردار مجدداً اعمال می‌شود:  
 $[0, 0, 1, 1, 1, 1, 0]^T$

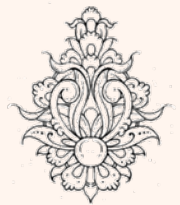
$$y_1 = 0; \quad y_2 = \frac{3}{3.5}; \quad y_3 = \frac{3}{5.5}$$

Y2 برنده است پس تست برای پارامتر  
vigilance صورت می‌گیرد

$$S = \frac{X_2 \cdot T_2(6)}{\|X_2\|} = 1 > \rho$$



چون ورودی همانند بردار وزن است به‌روزرسانی لازم  
نیست.



# دومین epoch

در epoch دوم، سومین بردار مجدداً اعمال می‌شود:

$$[1, 0, 1, 1, 1, 1, 0]^T$$

$$y_1 = \frac{1}{3.5}; \quad y_2 = \frac{3}{3.5}; \quad y_3 = \frac{4}{5.5}$$

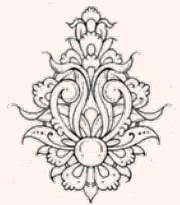
Y2 برنده است پس تست برای پارامتر  
vigilance صورت می‌گیرد

$$S = \frac{X_3^T T_2(7)}{\|X_3\|} = 0.6 < \rho$$



از میان او و ۳، ۳ بزرگ‌تر است پس تست را برای این  
گروه صورت می‌دهیم:

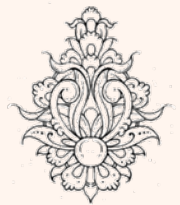
$$S = \frac{X_3^T T_3(7)}{\|X_3\|} = 0.8 > \rho$$



- با انتخاب ورودی جدید در گروه ۳ مجدداً وزن‌ها به‌روزرسانی می‌شود.

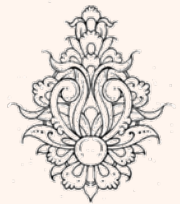
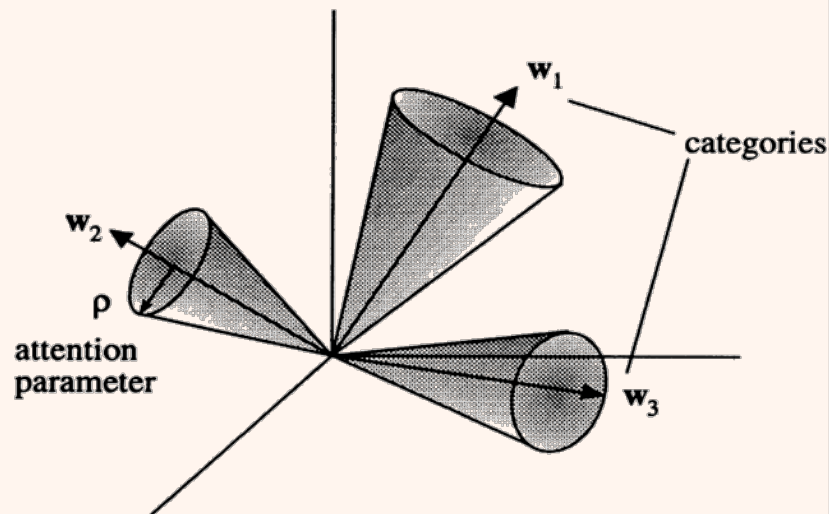
$$V(8) = \begin{bmatrix} 1/3.5 & 1/3.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1/3.5 & 1/3.5 & 1/3.5 & 0 \\ 1/4.5 & 0 & 0 & 1/4.5 & 1/4.5 & 1/4.5 & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$T(8) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^T$$



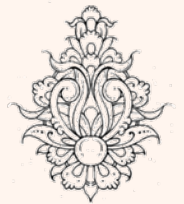
## ادامه...

- به همین ترتیب با اعمال بردار چهارم گروه دوم برنده شده که تست را با موفقیت می‌گذراند، ولی در وزن تخییری ایجاد نمی‌کند.
- بر اثر اعمال بردار پنجم گروه سوم برنده شده که باز در وزن اثری ندارد و پس از آن در شبکه تخییری ایجاد نشده، به تعادل می‌رسد.

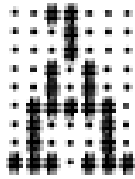


# نکات

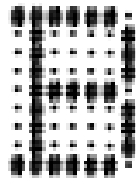
- اگر vigilance parameter کاهش یابد، گروه‌بندی داده‌ها فرمت دیگری خواهد داشت. در این صورت است که گروه‌بندی جدید کم‌تر اتفاق می‌افتد.
- برعکس با افزایش پارامتر مذکور تعداد گروه‌بندی‌ها افزایش خواهد یافت.



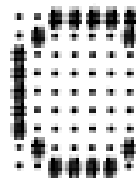
Input from  
Font 1



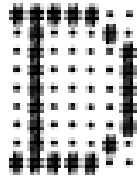
A1



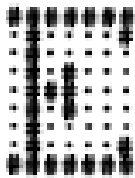
B1



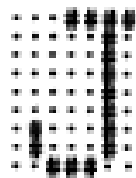
C1



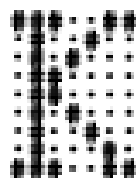
D1



E1

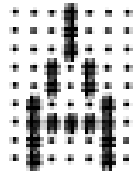


J1

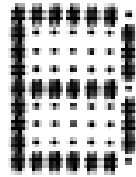


K1

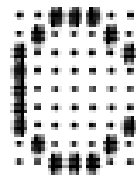
Input from  
Font 2



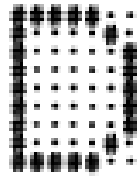
A2



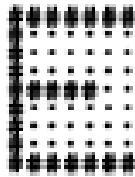
B2



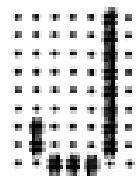
C2



D2



E2

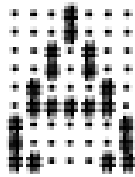


J2

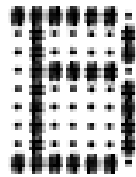


K2

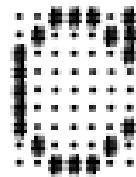
Input from  
Font 3



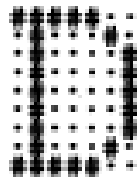
A3



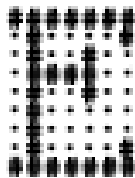
B3



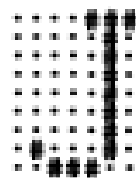
C3



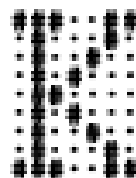
D3



E3



J3



K3

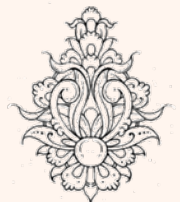
Training input patterns for  
character recognition  
examples



- با انتخاب ۱۰ گروه و با قرار دادن پارامتر  $\text{vigilance}=0.3$  پس از سه مرحله سیستم به بیداری می‌رسد.
- ترتیب ورود داده‌ها همانند زیر در نظر گرفته شده است:

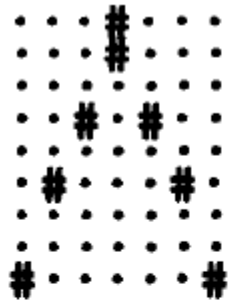
A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, . . . , J1, J2, J3, K1, K2, K3,

CLUSTER	EPOCH 1	EPOCH 2	EPOCH 3
1	A1, A2, A3	A1, A2, A3	A1, A2, A3
2	B1, B2, B3 C1, C2, C3 J1		
3	D1, D2, D3 E1, E2, E3	B1, B2, B3 C1, C2, C3	C1, C2, C3
4	J2, J3	J1, J2, J3	J1, J2, J3
5	K1, K2	K1, K2	K1, K2
6	K3	D1, D2, D3, K3	D1, D2, D3, K3
7		E1, E2, E3	B1, B2, B3 E1, E2, E3

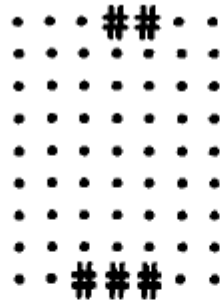




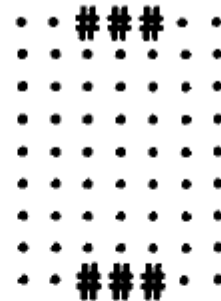
# • وزن‌های نهایی



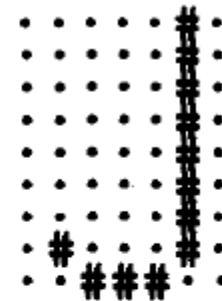
Cluster 1



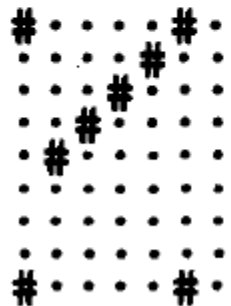
Cluster 2



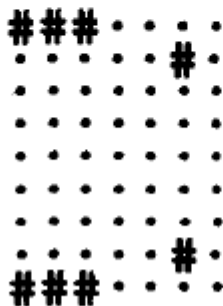
Cluster 3



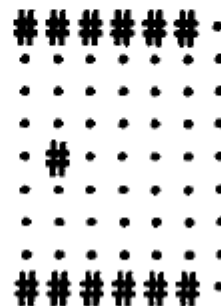
Cluster 4



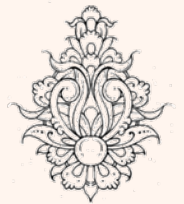
Cluster 5



Cluster 6



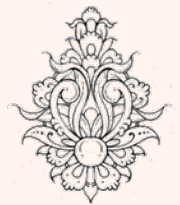
Cluster 7



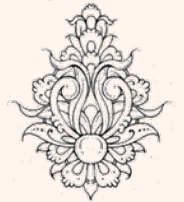
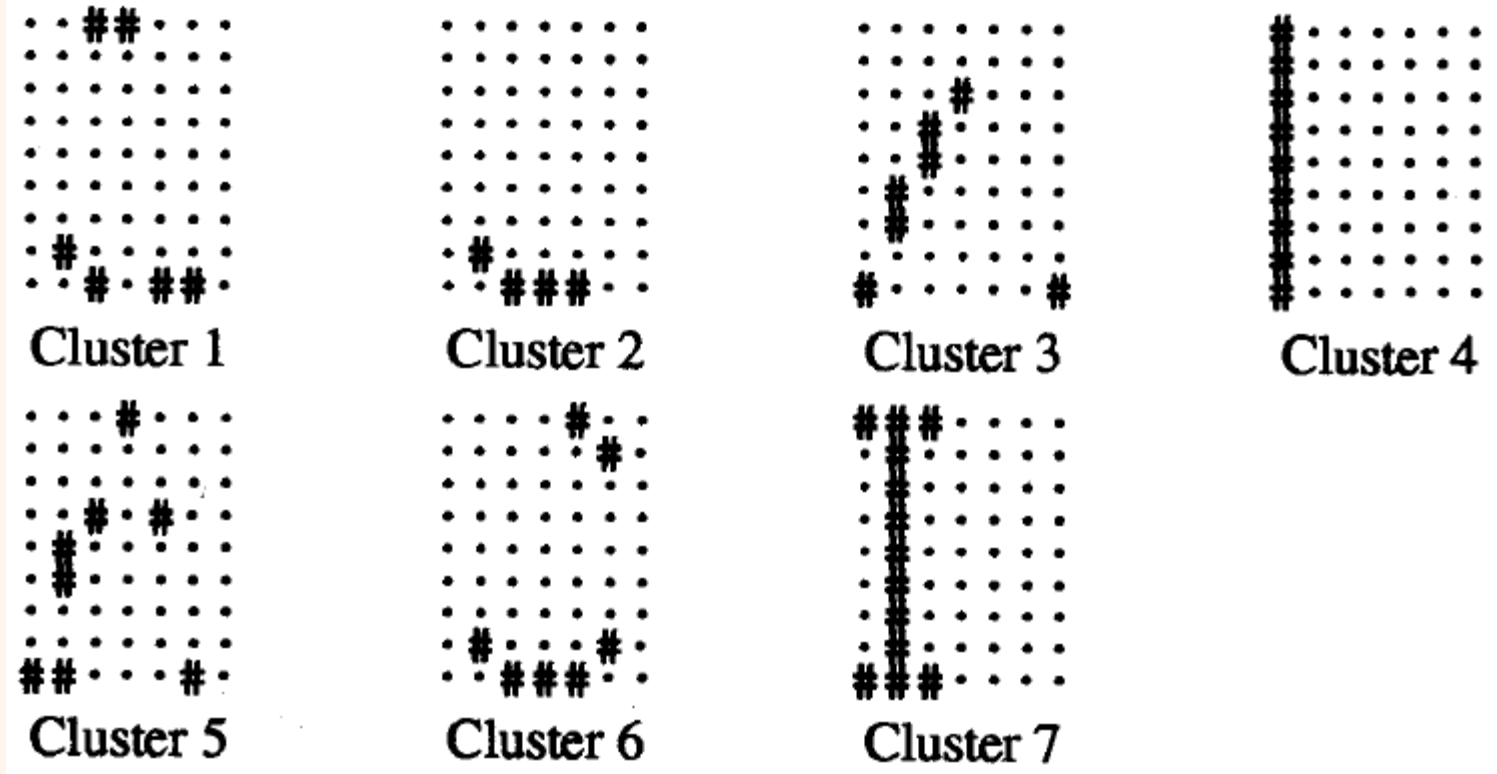
• اگر ترتیب عوض شود با همان پارامترها خواهیم

داشت: A1, B1, C1, D1, E1, J1, K1, A2, B2, C2, D2, E2, J2, K2, A3, B3, C3, D3, E3, J3, K3,

CLUSTER	EPOCH 1	EPOCH 2
1	A1, B1, C1	C1
2	D1, E1, J1 C2, J2	J2
3	K1, A2	A1, A2
4	B2, D2, E2, K2	B2, D2, E2, K2
5	A3, B3, E3	A3
6	C3, D3, J3	J1, C2, C3, J3
7	K3	B1, D1, E1, K1 B3, D3, E3, K3



# • وزن نهایی



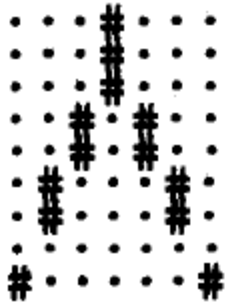
- با انتخاب ۱۰ گروه و با قرار دادن پارامتر  $\text{vigilance}=0.7$  پس از دو مرحله سیستم به پایداری می‌رسد.

A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2, D3, E1, E2, E3,  
J1, J2, J3, K1, K2, K3

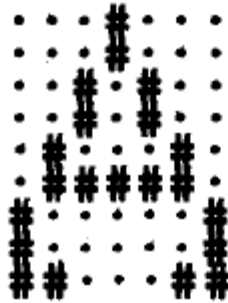
CLUSTER	EPOCH 1	EPOCH 2
1	A1, A2	A2
2	A3	A3
3	B1, B2	B1, B2
4	B3, D1, D3	B3, D1, D3
5	C1, C2, K2	C1, C2
6	C3	C3
7	D2	D2
8	E1, E3, K1, K3	E1, E3
9	E2	E2
10	J1, J2, J3	J1, J2, J3
CNC		A1, K2

Using a higher vigilance parameter of 0.70, but still allowing a maximum of only 10 cluster units, some patterns cannot be placed on clusters. (These are shown as CNC, for "could not cluster,"

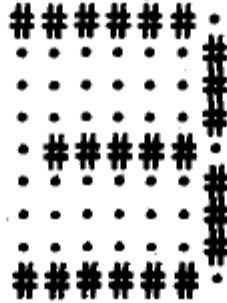




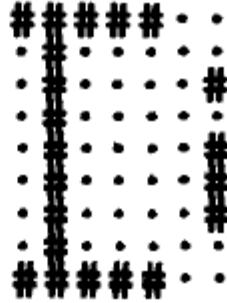
Cluster 1



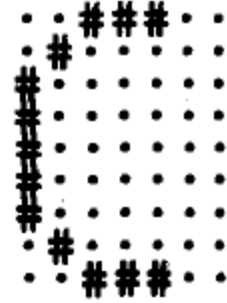
Cluster 2



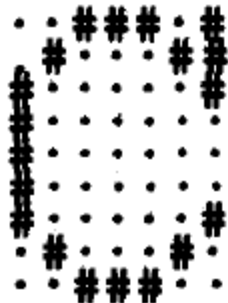
Cluster 3



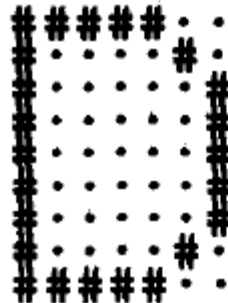
Cluster 4



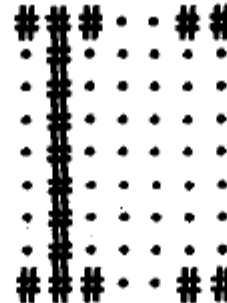
Cluster 5



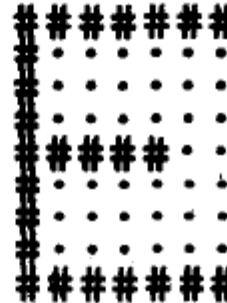
Cluster 6



Cluster 7



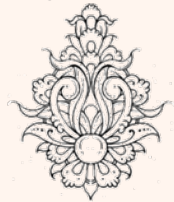
Cluster 8



Cluster 9

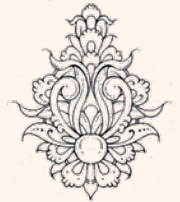


Cluster 10



# الگوریتم ART2

- در این الگوریتم از مقادیر پیوسته استفاده می‌شود.
- وقتی پیوسته است برای اصلاح نمی‌توان از and استفاده کرد.
- معمولاً هنگامی‌که ورودی‌های نویزی داریم از این الگوریتم استفاده می‌شود.
- فرضیه‌ی اولیه به گونه‌ای است که  $p$  اگر اندازه‌ی ورودی باشد، یک پارامتر تعریف می‌شود که در صورتی‌که هر مولفه‌ی بردار ورودی از پارامتر  $\theta$  کمتر باشد را به صفر می‌بریم.
- پس از صفر کردن بردارها را نرمال می‌کنیم.



## ادامه...

- الگوریتم ART2 شبیه به ART1 است با این تفاوت که در لایه‌ی ورودی به سبب داشتن ورودی‌های پیوسته می‌باید فرآیندهایی چون نرمالیزه کردن و کاهش نویز صورت پذیرد.
- در لایه‌ی دوم یا همان لایه‌ی رقابت همانند ART1 عمل می‌کند.

