

المتحكمات العصبونية و العائمة

محاضرة 4

FUZZY LOGIC

د. فادي متوج

لمحة تاريخية

- ولادة مصطلح المنطق الضبابي بواسطة العالم لطفي زاده
Lotfy Zadeh. "Fuzzy Sets", Information and Control, 1965
- في البداية، بقي المنطق الضبابي إلى حد كبير مفهوماً نظرياً مع تطبيقات عملية قليلة.
- في 1970، بنى البروفسور Mamdani أستاذ كلية الملكة ماري في لندن، أول نظام غامض، و كان عبارة عن متحكم للمحرك البخاري
- هذا أدى إلى تطوير واسع في تطبيقات التحكم الغامض والمنتجات الموجودة اليوم.

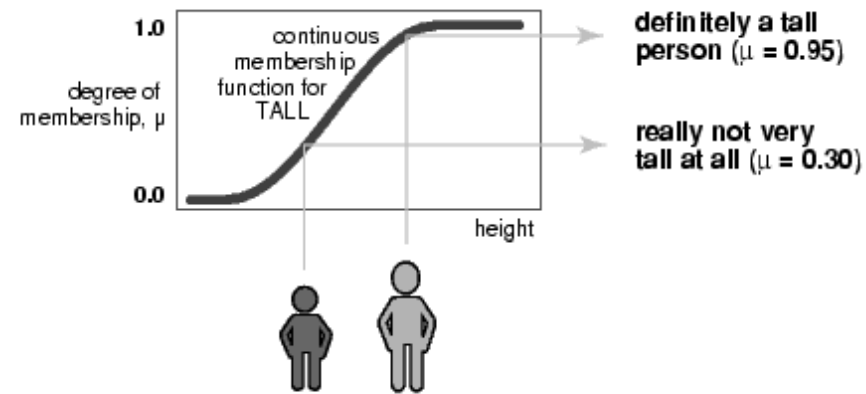
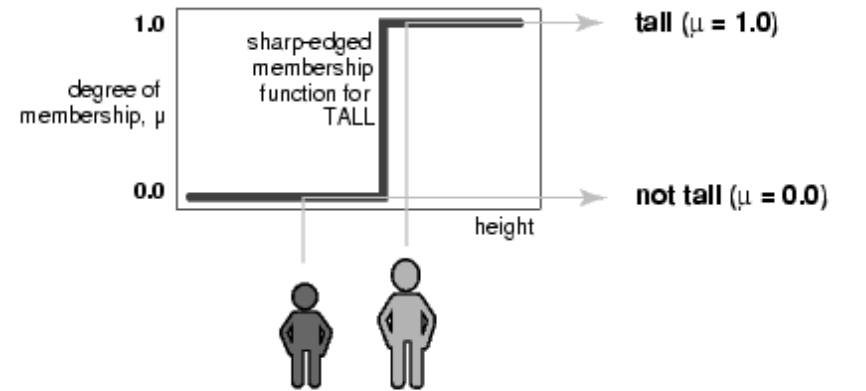
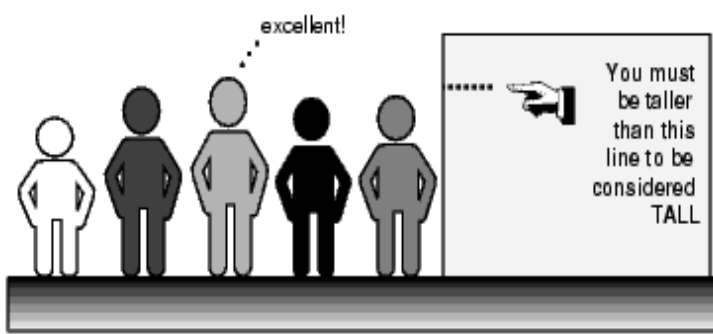


تطبيقات التحكم الضبابي

- مكيفات الهواء Air conditioners
- الغسالات / أجهزة تجفيف الغسيل washing machines /dryers
- المكانس الكهربائية Vacuum cleaners
- الكاميرات cameras
- أفران الميكروويف Microwave ovens
- ثلاجات Refrigerators
- تلفزيون Television
- آلات تصوير Photocopiers
- نظام منع انغلاق المكابح ABS
-

المنطق الضبابي؟

- فرع من فروع الذكاء الصناعي يهدف إلى تقليد عملية **اتخاذ القرار عند الإنسان**
- منطق يتعامل مع **معلومات غير دقيقة** والتي عادة يستخدمها البشر.
- منطق **متعدد القيم** يوسع مفهوم المنطق الكلاسيكي المستخدم عادة في الكمبيوتر.





الغموض



الدقة

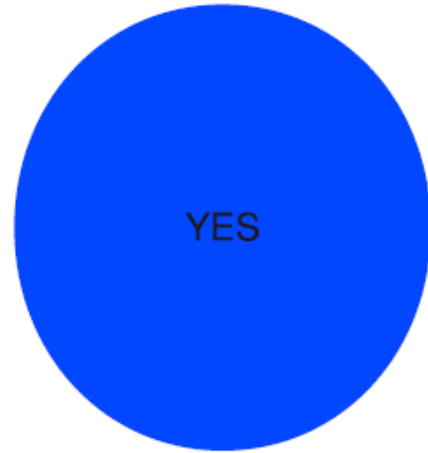
عندما تكون الدقة قاتلة و الغموض رحمة

المجموعات الكلاسيكية / المجموعات الضبابية

- في **المجموعات الكلاسيكية** تحدد عضوية العناصر بشكل واضح و دقيق. إن العنصر x إما أن ينتهي للمجموعة A أو لا ينتهي إليها و بالتالي فان التعبير عن عضوية عنصر ما و انتمائه إلى المجموعة سوف يحتمل أحد الأمرين (نعم، لا)، (صح ، خطأ) ، (0 , 1) مما يجعل هذا المنطق **ثنائي القيمة** (Two-Valued) ولا يسمح بوجود حلول وسطى

في العالم الحقيقي يبدو الأمر مختلفاً، فالإنسان يعبر عن الأشياء باستخدام كلمات غامضة تحمل قدراً كبيراً من الاحتمالات، فمثلاً للتعبير عن **طول شخص** ما فإن الإنسان يستخدم ألفاظ مثل : **(طويل، قصير، طويل جداً، قصير جداً، متوسط الطول)** و لكن المنطق الثنائي القيمة يعجز عن تمثيل كل هذه الأطياف. و من هنا دعت الحاجة إلى إيجاد بديل لهذا المنطق فكانت **نظرية المجموعة الضبابية** Fuzzy Set Theory

NO



YES



In

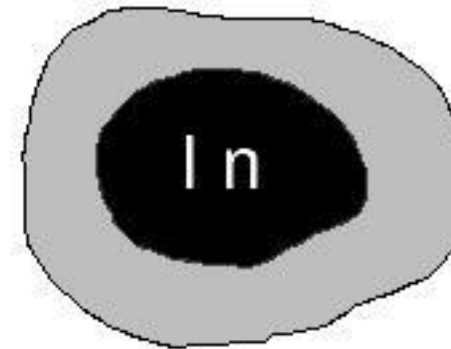
Out

مجموعة كلاسيكية

NO



YES



In

Out

مجموعة غامضة

كيف نصنف؟

في أحيان كثيرة، تكون الأشياء التي نتعامل معها في مجالات الحياة المختلفة غير قابلة لهذا التصنيف الدقيق.
فكيف نصنف مثلاً :

- الناس السعداء
- الغرف الصغيرة
- درجات الحرارة المرتفعة
- السيارات الأسرع
- معدلات الضريبة العالية
- الأرقام التي تكبر الصفر بكثير

- لتمثيل المتغيرات اللغوية والمجموعات غير الدقيقة، طرح د. لطفي زاده مفهوم **المجموعة الغامضة**
Fuzzy Set

- تختلف المجموعة الغامضة عن المجموعة الكلاسيكية في أنها **تسمح لعنصر ما بالانتماء الجزئي** و يرمز

لدرجة انتماء عنصر x للمجموعة الغامضة A بـ: $\mu_A(x)$

- في حالة المجموعات الكلاسيكية تكون $\mu_A(x)$ **ثنائية القيمة** (1 في حالة الانتماء و 0 في غير ذلك). أما في حالة المجموعات الغامضة فبإمكانها أن **تأخذ قيماً بين 0 و 1**

فالتعبير عن **عضوية عنصر** ما في نظرية المجموعة الضبابية يمكن أن يأخذ احتمالات متعددة و هي:

- إن العنصر **ينتمي** إلى المجموعة بصورة أكيدة.
- العنصر **لا ينتمي** إلى المجموعة مطلقاً.
- العنصر **ينتمي** إلى المجموعة بصورة جزئية أو بعبارة أخرى **بدرجة معينة**.

- يمكن أن نعرف رياضياً مجموعة غامضة A كما يلي :

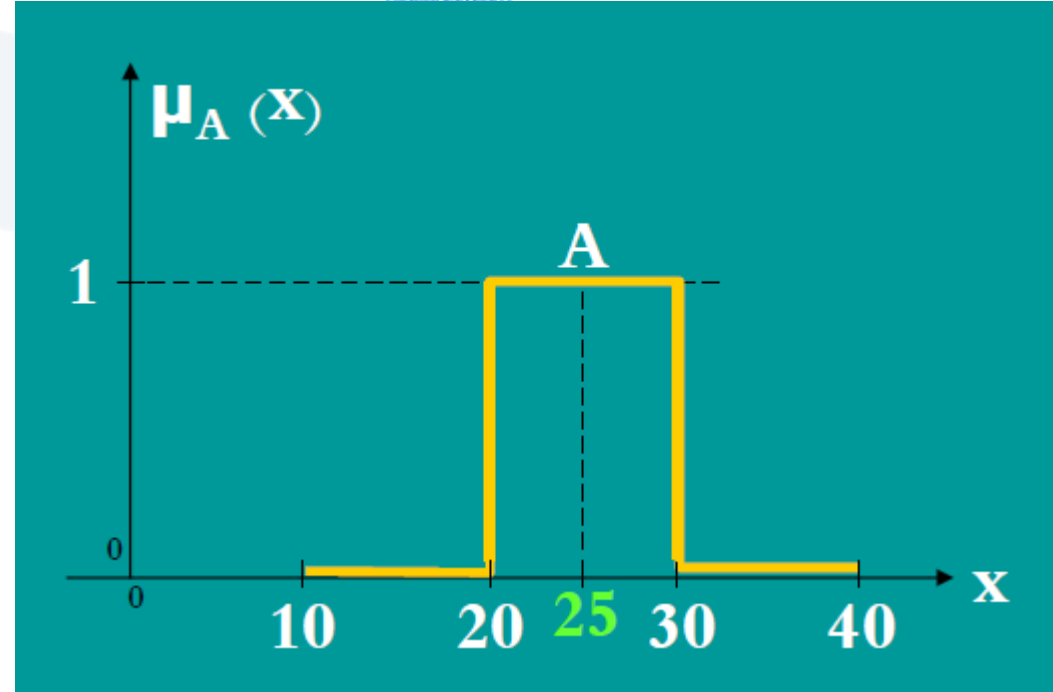
$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

$$\mu_A(x) \in [0, 1]$$

- و يطلق على X المجموعة الشاملة (Universe of Discourse) وهي تمثل كل القيم المحتملة للمتغير x

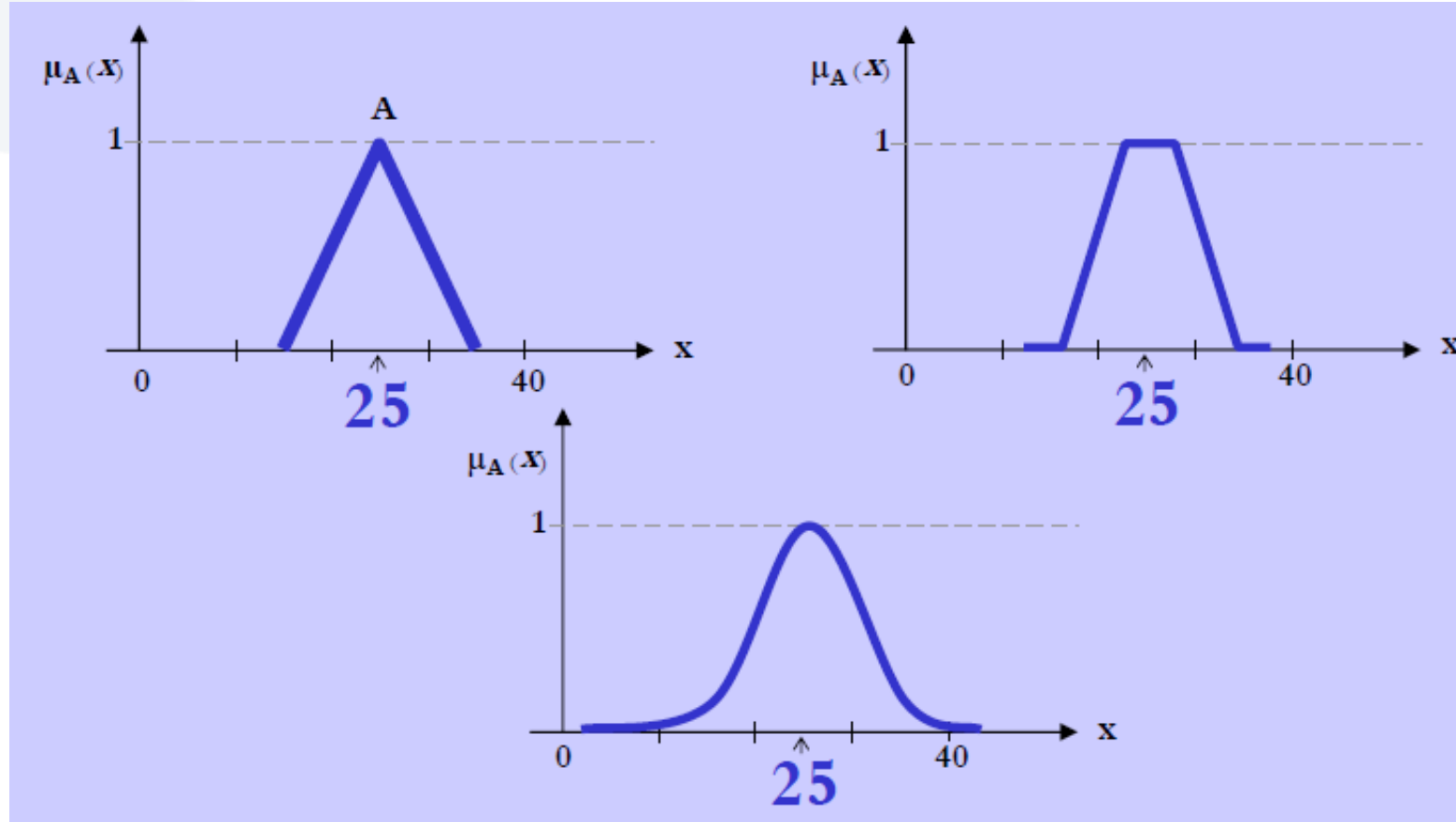
- لنأخذ مثلاً درجة الطقس المعتدلة، و لنفترض أن الدرجة المثالية هي 25 مع قبول كل القيم التي تكون بين 20 و 30 درجة على أنها تمثل قيمةً لدرجة حرارة طقس معتدلة
- في هذه الحالة تكون المجموعة A بالمفهوم الكلاسيكي ممثلة رياضياً كالتالي :
 $A = \{\text{كل درجات الحرارة ما بين 20 و 30 درجة}\}$

المجموعة الكلاسيكية



- تنتمي كل الدرجات ما بين 20 و 30 لهذه المجموعة كلياً و تستثنى كل القيم الأخرى بما فيها 19.9 و 30.1 و التي تعتبر حسب هذا المفهوم الكلاسيكي غير معتدلة (وهنا يكون هذا المنطق غير منطقي)

- بمفهوم **المنطق الغامض** يمكن تمثيل المجموعة A كما يلي:
 $A = \{\text{درجات حرارة الطقس المعتدلة}\}$
- نختار المجموعة الشاملة للقيم المحتملة X لتضم درجات الحرارة من صفر إلى 40
- و بالتالي تكون درجة انتماء القيمة 25 للمجموعة A هي 1 و تقل هذه الدرجة كلما ابتعدنا عن هذه القيمة
- يمكن تمثيل هذه المجموعة الغامضة بأكثر من طريقة



بعض المجموعات الغامضة لتمثيل درجة حرارة الطقس المعتدلة

المتغيرات اللغوية (Linguistic Variables)

- في الرياضيات أو حتى في المنطق الكلاسيكي يكون المتغير عددياً وبالتالي تكون قيمه **كمية** أما في المنطق الغامض فإن المتغيرات تحمل قيمة على شكل **كلمات** أو **جمل من اللغة** مثل "حار"، "بارد"، "سريع"، "طويل"....
- و مع إن الكلمات اقل دقة من الأرقام إلا أن هناك العديد من الدوافع التي تبرر استخدامها كبديل للأرقام منها :
 - استخدام الكلمات أقرب للحس البشري يستطيع دماغ الإنسان أن يُفسّر معلومات غير دقيقة و غير مكتملة تزوده بها الحواس التي يمتلكها، و سعياً وراء محاكاة الإنسان في سلوكه وتصرفاته جاء المنطق الضبابي ليكون طريقة للحساب باستخدام الكلمات بدلاً من الأرقام
 - الحساب باستخدام الكلمات بدلاً من الأرقام يمكن من التعامل بكفاءة مع مستويات من عدم الدقة و بهذا يقلل كلفة الحل.

- لتوضيح هذا المفهوم لنأخذ مثلاً الحرارة **T** كمتغير لغوي. بإمكاننا عرض هذا المتغير على الشكل التالي :

$T = \{\text{بارد جداً، بارد، معتدل، دافئ، حار، حار جداً،}\}$

- و يتم تمثيل كل قيمة لغوية من هذه القيم اللغوية عن طريق مجموعة ضبابية
- في هذا المثال يمكن أن نختار المجموعة الشاملة **X** لتضم درجات حرارة من صفر إلى 60 درجة مئوية، **$X = [0 \ 60]$**
- و بذلك يمكن أن نستعمل المتغير اللغوي "**بارد**" ليمثل درجات الحرارة أقل من 10 درجات و "**معتدل**" لدرجات الحرارة القريبة من 25 و هكذا

تابع الانتماء

Membership Function

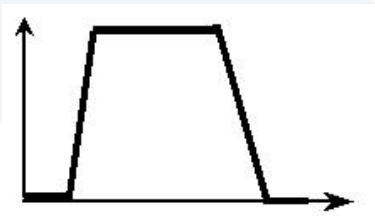
- يستعمل **تابع الانتماء (تابع العضوية)** للتعبير عن **درجة انتماء** أي عنصر من العناصر إلى المجموعات الضبابية
- ولأن المنطق الضبابي يسمح بكون العنصر ينتمي للمجموعة الضبابية **بصورة جزئية** فهو يعبر عن درجة عضوية العنصر بقيمة تتراوح بين 0 و 1
- و عليه إذا كانت **X** مجموعة من العناصر، فإن المجموعة الضبابية A يمكن أن تعرّف على أنها مجموعة من الأزواج المرتبة كالآتي :

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

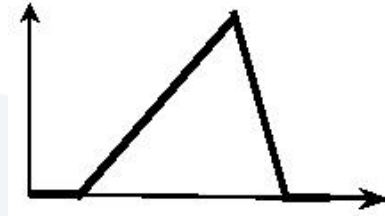
$$\mu_A(x) \in [0, 1]$$

أشكال توابع الانتماء

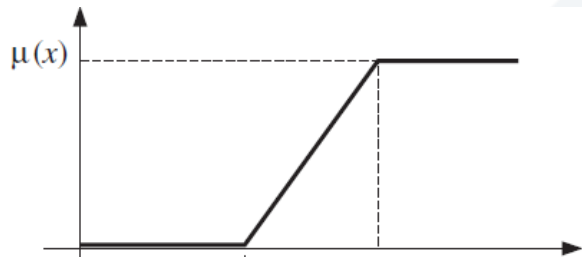
أكثر الأشكال شيوعاً هي :



شبه المنحرفة (Trapezoidal)



المثلثية (Triangular)

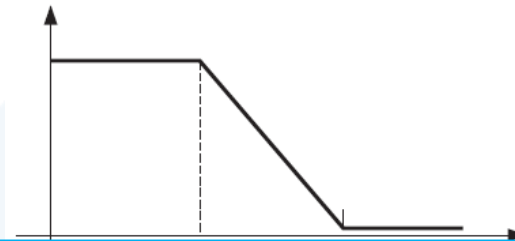


Γ -function



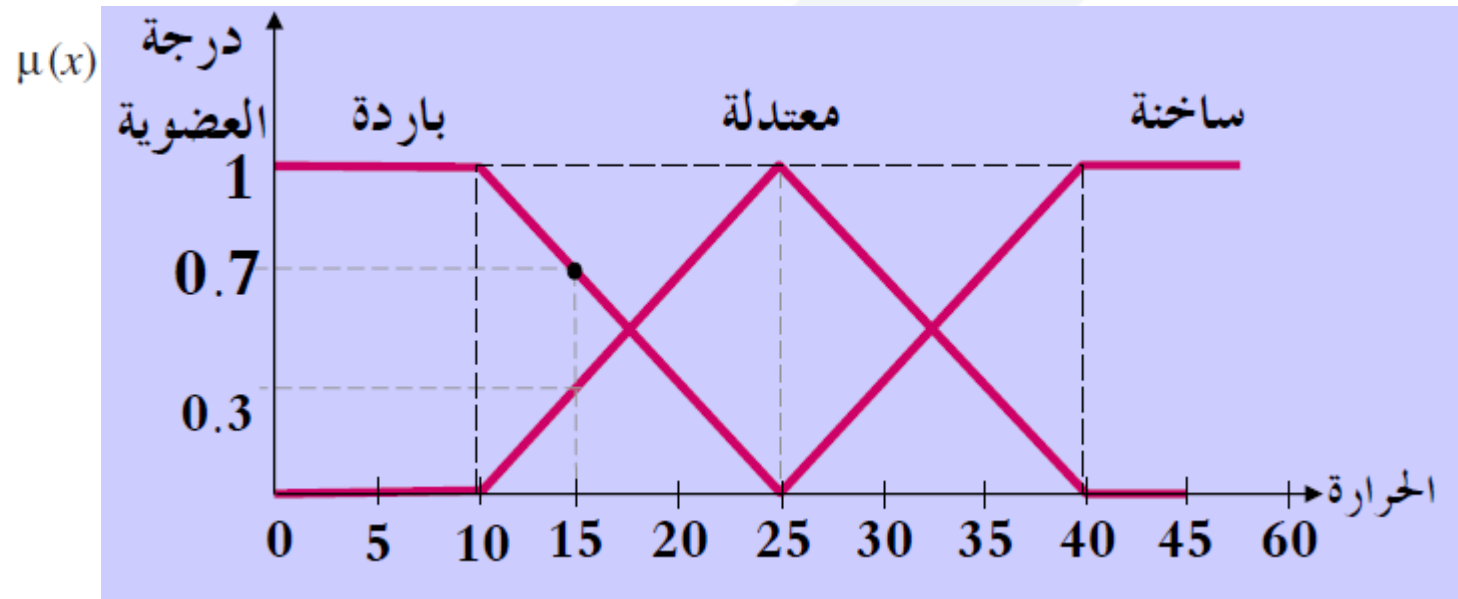
الجرسية/الغاوصية (Gaussian)

L-function



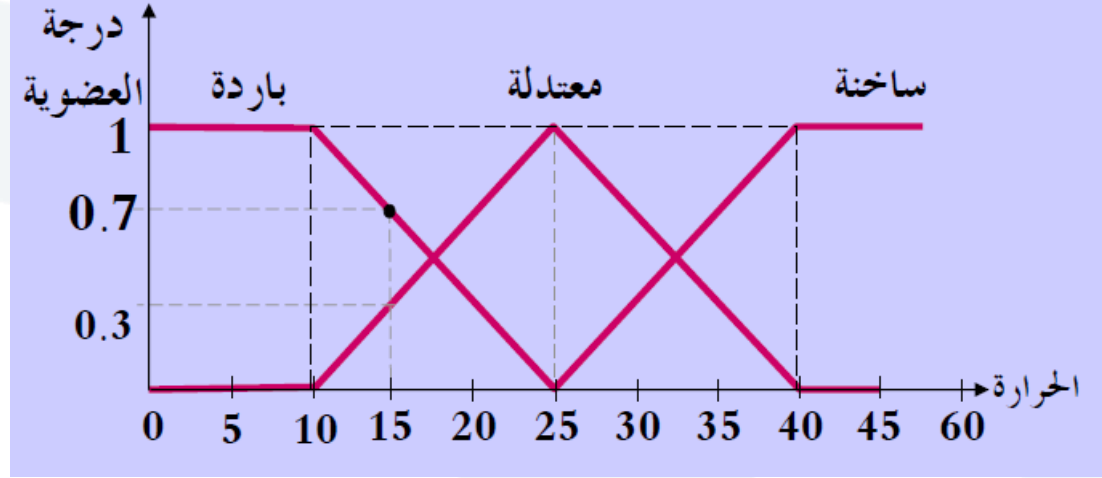
بالعودة إلى مثال درجات الحرارة :

- لنختار فقط ثلاثة توابع عضوية ونسميها "باردة" و "معتدلة" و "ساخنة". مع ملاحظة أنه بالإمكان اختيار أكثر من ثلاث توابع



ثلاث توابع انتماء للحرارة

$\mu(x)$



- من خلال الشكل نلاحظ أنه إذا كانت درجة الحرارة **15** درجة مئوية فإنها تصنف على أنها **باردة** بدرجة عضوية **0.7**
- وفي نفس الوقت تصنف على أنها **معتدلة** بدرجة عضوية **0.3** و **ساخنة** بدرجة عضوية **0**
- وبذلك يكون الانتقال من مجموعة ضبابية إلى أخرى انتقالاً سلساً ومقبولاً

العمليات المنطقية

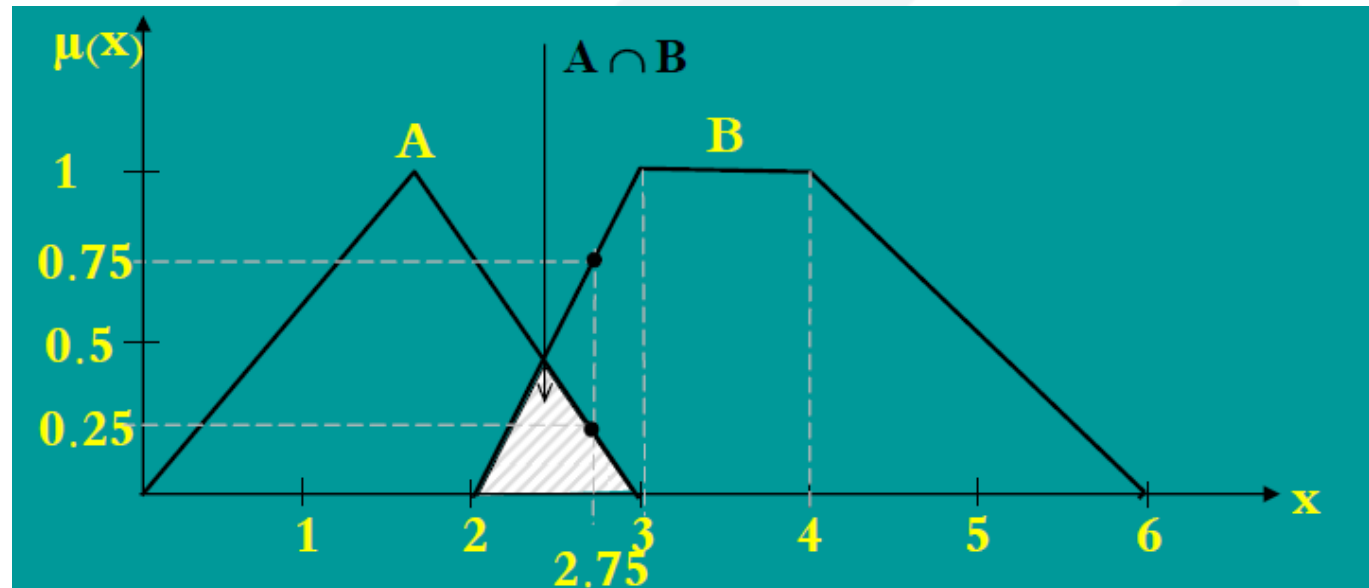
Logical Operations

- لبناء نظام يعتمد على المنطق الغامض (Fuzzy System) نحتاج إلى عدد من العمليات المنطقية
- هناك أربع عمليات أساسية لمعالجة المتغيرات الضبابية وهي :
 - التقاطع Intersection
 - الاجتماع Union
 - التكملة Complement
 - الدلالة Implication

التقاطع Intersection

$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu (A \text{ AND } B) \\ &= \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}\end{aligned}$$

كمثال على ذلك لنأخذ الشكل التالي:



- من خلال الشكل نرى أن

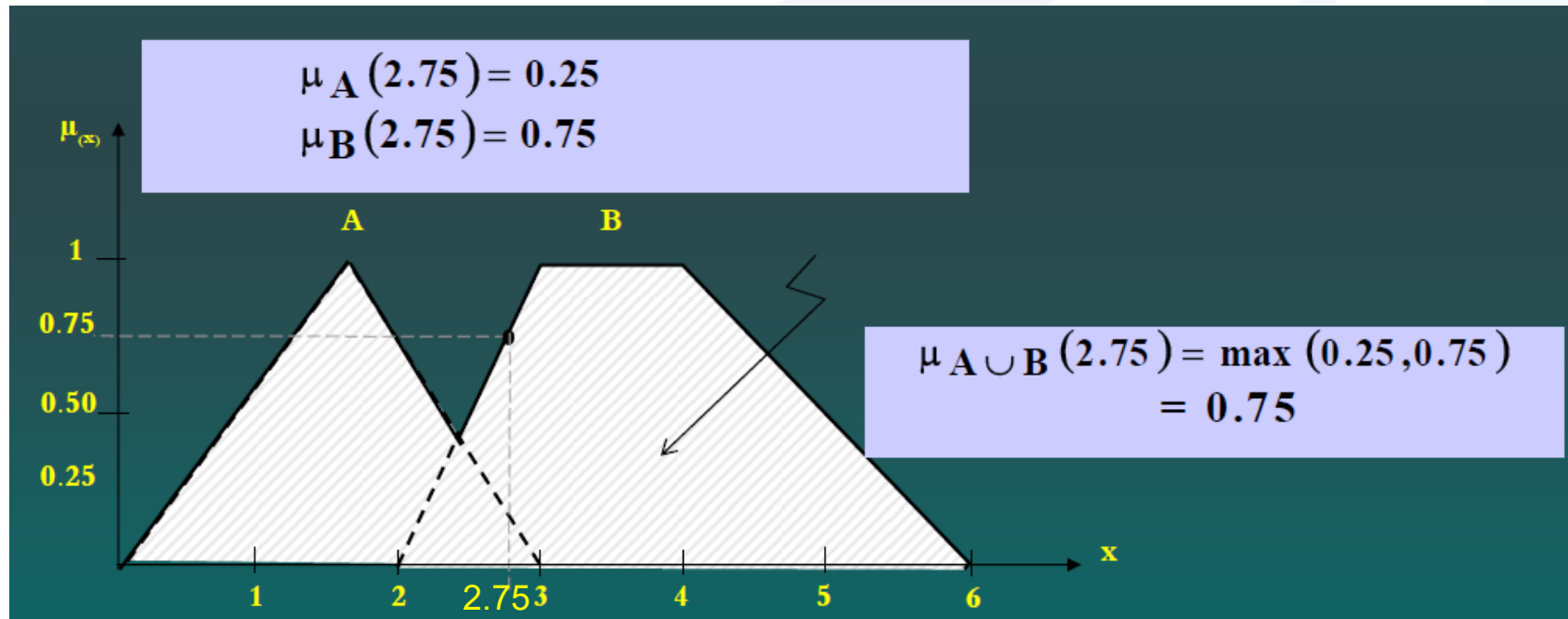
$$\mu_A(2.75) = 0.25$$

$$\mu_B(2.75) = 0.75$$

- وبالتالي

$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(2.75) &= \min(0.25, 0.75) \\ &= 0.25\end{aligned}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu(A \text{ OR } B) \\ = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$



التكملة Complement

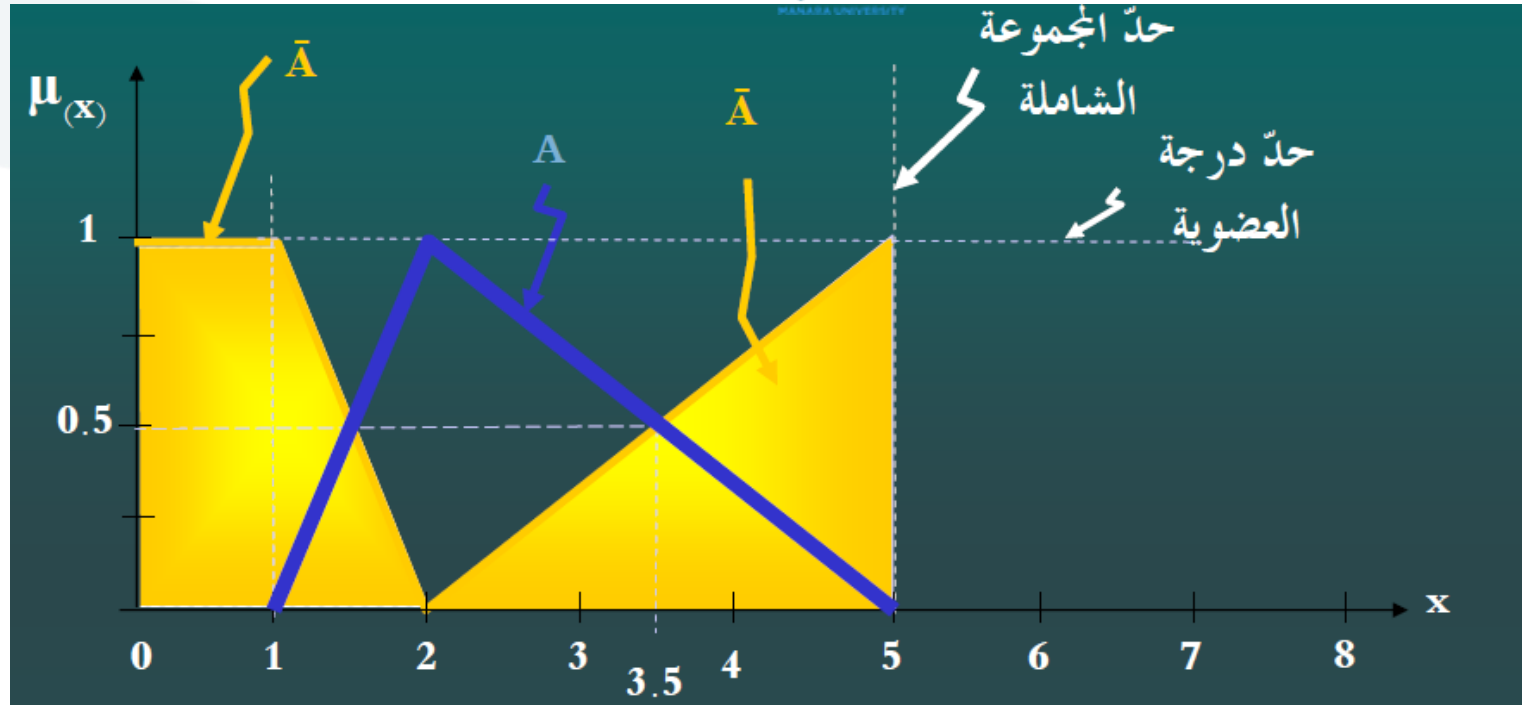


- المراد بالتكملة هنا هو الجزء الذي يبقى خارجاً عن المجموعة الضبابية A رغم انتمائه للمجموعة الشاملة X
- ويرمز لهذا الجزء بـ $\bar{A}$
- فبما أن درجة الانتماء القصوى تساوي 1 فإن درجة انتماء أي عنصر من المجموعة الشاملة للمجموعة $\bar{A}$ يساوي

$$\begin{aligned}\mu_{\bar{A}}(x) &= \mu(\text{NOT } A) \\ &= 1 - \mu_A(x)\end{aligned}$$



جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY



$$\begin{aligned}\mu_{\bar{A}}(3.5) &= 1 - \mu_A(3.5) \\ &= 1 - 0.5 \\ &= 0.5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\bar{A}}(1) &= 1 - \mu_A(1) \\ &= 1 - 0 \\ &= 1\end{aligned}$$

- المجموعة الشاملة هي ما بين 1 و 5

الدلالة Implication



- هي عبارة عن مجموعة من القوانين (القواعد rules) أو العبارات الشرطية المكونة من

If.....Then.....

إذا كان كذا، إذاً كذا

- فالشرط الأول من القانون يمثل **الشرط** و الشرط الثاني يمثل **جواب الشرط** أو الناتج
- كمثال على ذلك لناخذ القانون التالي:

إذا (كانت درجة الحرارة متوسطة) **و** (درجة الرطوبة منخفضة) **إذاً** (يعتبر الطقس معتدلاً)

- في هذا القانون البسيط هناك **ثلاثة** متغيرات ضبابية. إثنان في شرط القانون وهما الحرارة و الرطوبة و الثالث في ناتج القانون و هو الطقس.
- كذلك هناك مجموعات ضبابية لهذه المتغيرات وهي "متوسطة" و يرجع الوصف إلى درجة الحرارة، و "منخفضة" لوصف الرطوبة و "معتدل" للحكم على حالة الطقس
- إذا كانت لدينا قيماً محددة لدرجة الحرارة ودرجة الرطوبة فسيحتاج قانون الدلالة إلى خطوتين لتحديد حالة الطقس

- في الخطوة الأولى يتم تقييم الشرط عن طريق تحديد مدى عضوية القيم المعطاة للمجموعات الضبابية المذكورة واستعمال العمليات المنطقية السابقة (عملية التقاطع في هذه الحالة لوجود العطف "و")
- أما في الخطوة الثانية فيتم تقييم الناتج فإذا كان الشرط متوفراً بنسب معينة، يكون القرار صحيحاً بنفس النسبة

- لنأخذ مثلاً أن درجة الحرارة تساوي 30 درجة مئوية و درجة الرطوبة 40%
- ولنفترض أن درجة انتماء هذه الحرارة للمجموعة الضبابية "متوسطة" هي 0.8 و أن درجة انتماء الرطوبة للمجموعة الضبابية "منخفضة" هي 0.6
- وبما أن الـ "و" تفيد التقاطع، فإن الشرط متوفر بدرجة عضوية 0.6 و بذلك تكون درجة انتماء الطقس للمجموعة الضبابية "معتدل" كذلك 0.6

نظام الاستنتاج (الاستدلال) الغموضي Fuzzy Inference System (FIS)

- نظام الاستنتاج الغموضي **FIS** هو العملية الكاملة لاتخاذ القرارات باستعمال المنطق الغامض و تجمع هذه العملية كل المكونات التي تم طرحها حتى الآن. ولها أربع خطوات أساسية:

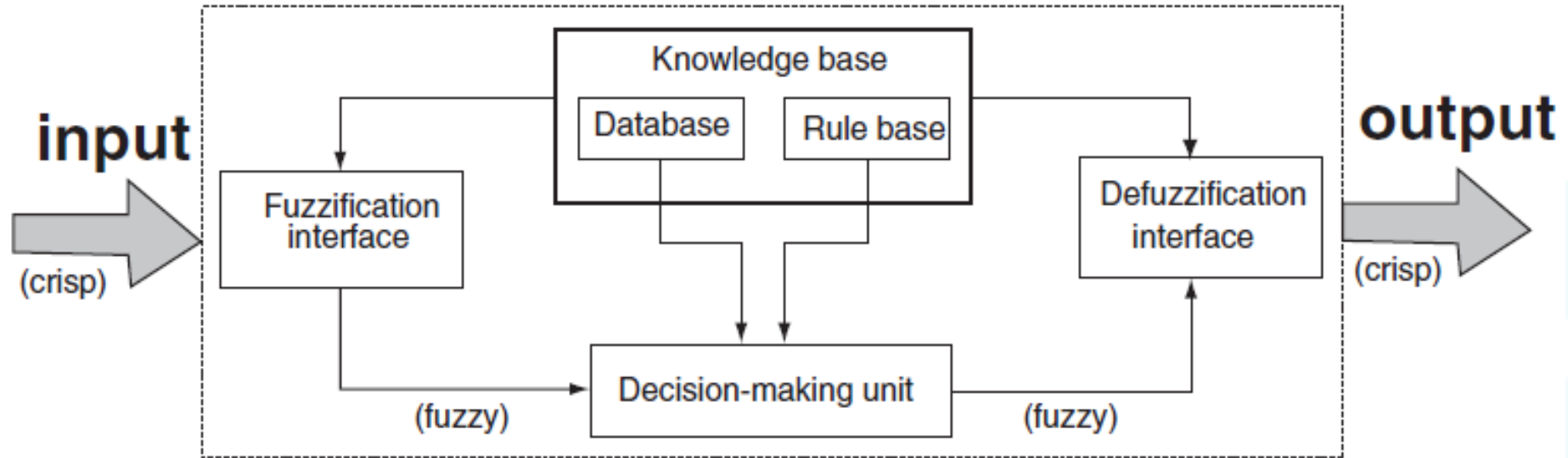
Fuzzification ☐ التغميض

Knowledge Base ☐ قاعدة المعرفة

Decision Making ☐ اتخاذ القرار

Defuzzification ☐ إزالة التغميض

Fuzzy Inference System



rule base : تحتوي على عدد من قواعد IF-THEN الغامضة

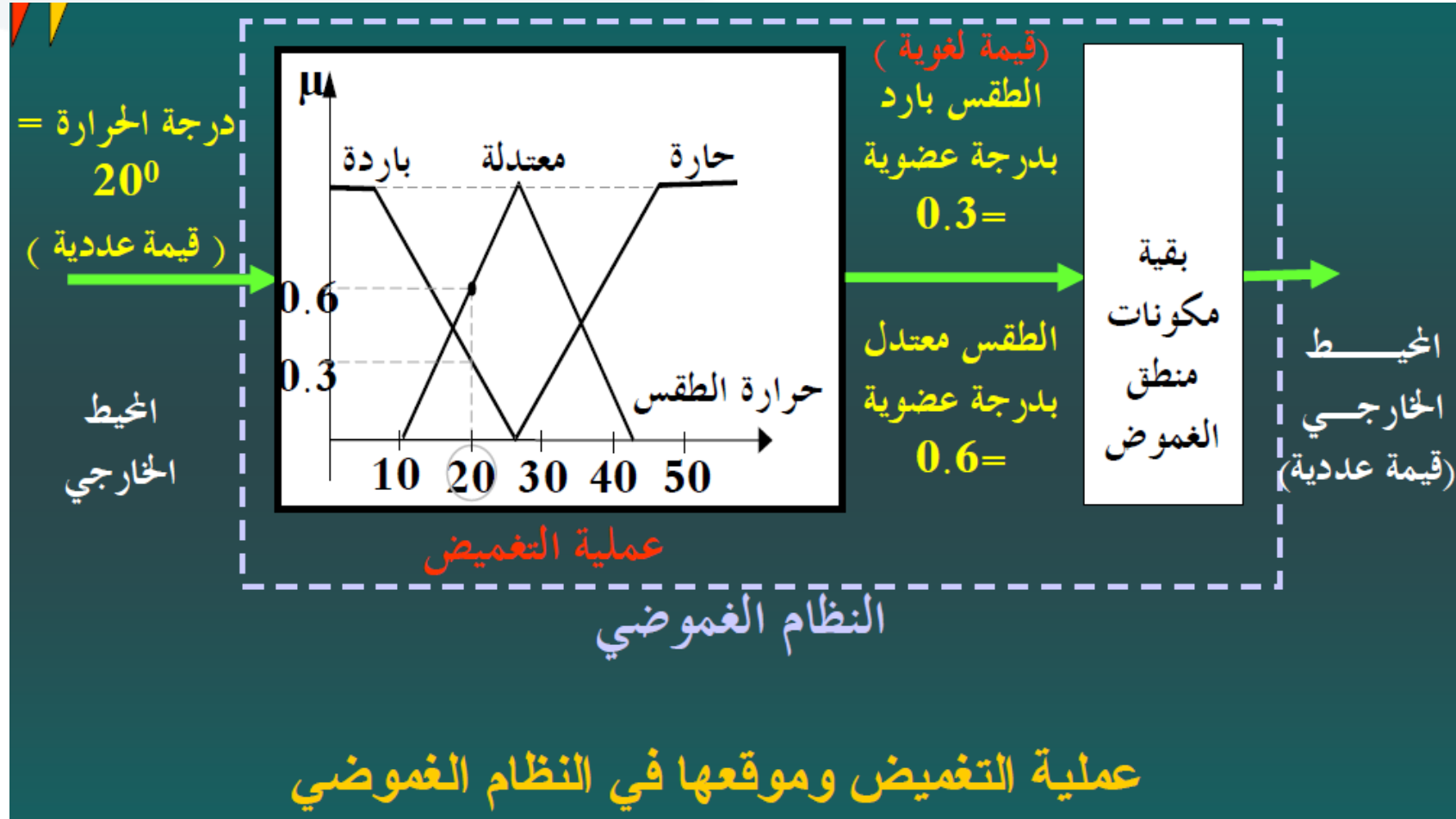
Database : تحدد توابع الانتماء للمجموعات الغامضة المستخدمة في القواعد الغامضة

decision-making unit : تجري عمليات الاستدلال على القواعد

fuzzification interface : تحول المدخلات العددية (crisp) إلى قيم ضبابية (fuzzy)

defuzzification interface : تحول النتائج الضبابية لعملية الاستدلال إلى خرج عددي (crisp)

عملية التغميض Fuzzification



- تحتوي قاعدة المعرفة على القوانين الضبابية من نوع "إذا كان كذا، إذاً كذا"
- وقد يضم الشرط الأول من القانون أكثر من شرط واحد مثل : إذا (كانت درجة الحرارة عالية ودرجة الرطوبة معتدلة) أو (كانت درجة الحرارة معتدلة ودرجة الرطوبة عالية)، إذاً (الطقس غير مريح)
- ولا يقتصر دور قاعدة المعرفة على عملية تخزين القوانين فقط بل يتعداها إلى تحديد مدى توفر الشروط وذلك بتقييم الشطور الأولى من كل القوانين باستعمال عملية الدلالة و التي بدورها تطبق كل العمليات المنطقية من اجتماع و تقاطع و تكملة

Example



- لنأخذ القانون السابق :
- إذا (كانت درجة الحرارة عالية ودرجة الرطوبة معتدلة) أو (كانت درجة الحرارة معتدلة ودرجة الرطوبة عالية)، إذاً (الطقس غير مريح) ولنفترض نتائج عملية التغميض التالية:

الرطوبة	الحرارة	
0	0.7	درجة الانتماء للمجموعة الغموضية "عالية"
0.8	0.4	درجة الانتماء للمجموعة الغموضية "معتدلة"
0.3	0	درجة الانتماء للمجموعة الغموضية "منخفضة"

- ما هي القيمة التي تحدد مدى توفر شروط القانون؟

• لتبسيط القانون سنستعمل الرموز التالية :

(متغير ضبابي)	الحرارة	=x
(متغير ضبابي)	الرطوبة	=y
(مجموعة ضبابية)	حرارة عالية	=A
(مجموعة ضبابية)	حرارة معتدلة	=B
(مجموعة ضبابية)	رطوبة عالية	=C
(مجموعة ضبابية)	رطوبة معتدلة	=D

- من خلال الجدول يصبح لدينا :

$$\begin{array}{ll}\mu_A(x) = 0.7 & \mu_C(y) = 0 \\ \mu_B(x) = 0.4 & \mu_D(y) = 0.8\end{array}$$

- وبما أن الـ "و" تفيد التقاطع و الـ "أو" تفيد الاجتماع، يصبح تقييم شرط القانون:

$$\begin{aligned}& \text{Max} [\min (\mu_A(x), \mu_D(y)), \min (\mu_B(x), \mu_C(y))] \\&= \text{max} [\min (0.7, 0.8), \min (0.4, 0)] \\&= \text{max} [0.7, 0] \\&= 0.7\end{aligned}$$

- وبهذا يصبح شرط القانون متوفراً بنسبة **0.7**

اتخاذ القرار

Decision Making

- تعتبر هذه الخطوة تقليداً للطريقة البشرية في اتخاذ القرارات
- رغم أهميتها تعتبر بسيطة جداً و تعتمد أساساً على القاعدة التالية :
" إذا كان الشرط متوفراً بنسبة معينة
فجواب الشرط نافذ المفعول بنفس النسبة"
- فإذا رجعنا للقانون الضبابي الذي قيمنا مدى توفر شروطه يمكننا أن نستخلص أن الطقس ينتمي للمجموعة الضبابية "غير مريح" بدرجة 0.7
- أي أن الطقس ربما أقرب لغير المريح من أي تصنيف آخر