

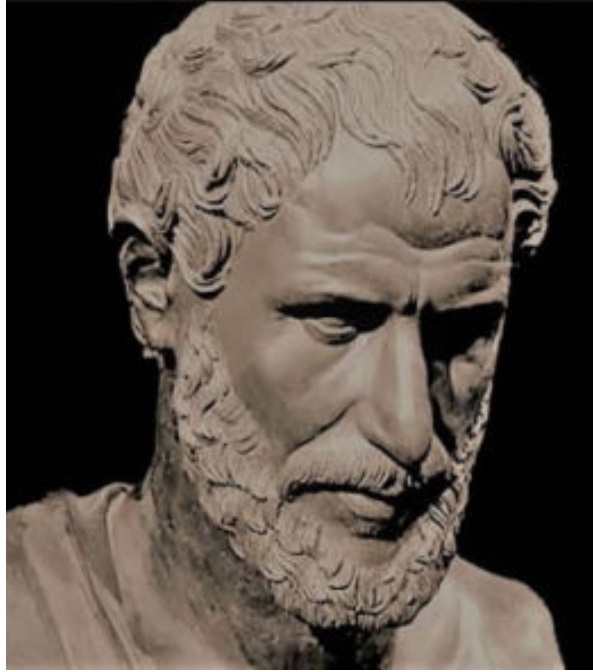
المنطق الضبابي: رحلة في عالم الأفكار المتموجة

صادق بوروبي

أستاذ بكلية الرياضيات، جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، الجزائر

bouroubis@gmail.com

"المنطق الضبابي" مفهوم من مفاهيم علم المنطق يعترف بوجود حالات من الغموض وعدم اليقين في العلاقات المنطقية. يعود تاريخه إلى أحد أهم الشخصيات الفكرية من القرن الخامس قبل الميلاد [زينون الإيلي](#) (Zenon of Elea)، المعروف بطرحه لعدد من المفارقات الاستفزازية التي قدّم من خلالها العديد من الأفكار المبكرة حول الغموض والتعامل مع مشكلة اليقين في المنطق.



زينون الإيلي

ولكن نظريته لم تلقَ اهتمامًا من طرف العلماء والمفكرين حتى عام 1965، حيث قام العالم الرياضي والمنطقي الأذربيجاني [لطفّي زاده](#) (Lotfi Zadeh) من جامعة كاليفورنيا بتطويره بشكل أدق، حيث قام بتقديم نظرية المجموعات الضبابية (Fuzzy Sets) ونظرية المنطق الضبابي (Fuzzy Logic)، التي تعترف بوجود درجات متعددة من الصحة أو الكمال، وتسمح بالتعبير عن عدم اليقين بشكل أكثر دقة، كما في حالة درجة الحرارة الساخنة أو الباردة، حيث لا يوجد حد دقيق بينهما. فالتعامل بالمنطق الضبابي يكون غالبًا مرتبطًا بالتعابير اللغوية غير الدقيقة أو غير الواضحة، والتي لا يمكن للمنطق التقليدي أن يعالجها.



لطفي زاده

ولذلك يمكن القول إن المنطق الضبابي لا يتعارض مع المنطق التقليدي، بل يوسع إطاره للتعامل مع حالات أكثر تعقيداً وتفصيلاً، فهو بالمعنى الواسع يمثّل منظومة منطقية تقوم على تعميم للمنطق التقليدي ثنائي القيم، وذلك بهدف إمكانية الاستدلال في ظروف ضبابية غير مؤكدة. وبالمعنى الضيق فهو نظريات وتقنيات تستخدم المجموعات الضبابية التي هي مجموعات بلا حدود قاطعة.

أصبحت تطبيقات المنطق الضبابي جد متقدمة في العصر الحديث وذلك في مجالات متعددة، مثل الذكاء الاصطناعي، وأنظمة التحكم، ومعالجة اللغة الطبيعية، حيث يمكن أن تكون هذه الأنظمة أكثر قدرة على التعامل مع الغموض وعدم اليقين في البيانات. فبكلمة موجزة يمثّل المنطق الضبابي طريقة موضوعية لتوصيف وتمثيل الخبرة البشرية، كما أنه يقدم الحلول العملية للمشاكل الواقعية المتموّجة بشكل فعال ومعقول، بالمقارنة مع الحلول التقليدية الأخرى. فتطبيقات المنطق الضبابي بدأت بوادرها مع المحركات البخارية، لتتطور بعدها إلى تصنيع شرائح تم استعمالها في العديد من المنتجات كآلات التصوير وغيرها.

1. عملية تشغيل نظام غامض

يمر النظام الغامض على ثلاثة مراحل. المرحلة الأولى يتم من خلالها تحويل بيانات كمية إلى متغير لغوي كتحويل مسافة 10.56 متر مثلاً إلى مسافة تساوي 30% قريبة، 50% متوسطة و20% بعيدة.

المرحلة الثانية تتمثل في تمرير المتغيرات اللغوية إلى محرك الاستدلال (نموذج رياضي) بإدراج جميع القواعد على شكل: إذا "الشرط" فإن "النتيجة". على سبيل المثال:

- إذا كان الضوء أحمر، وكانت سرعة السيارة عالية، وكان الضوء قريباً فعلى السائق أن يضغط على المكابح بقوة.
- إذا كان الضوء أحمر، وكانت سرعة السيارة بطيئة، وكان الضوء بعيداً، فعلى السائق أن يحافظ على سرعة السيارة.
- إذا كان الضوء برتقالياً، وكانت سرعة السيارة متوسطة، وكان الضوء بعيداً، فعلى السائق أن يضغط على المكابح بهدوء.
- إذا كان الضوء أخضر، وكانت سرعة السيارة ضعيفة، وكان الضوء قريباً، فعلى السائق أن يضاعف من السرعة.



ففي مثل هذه الحالات الطبيعية يشتغل دماغنا بمنطق غامض، فالسرعة إذا كانت مرتفعة فما مدى ارتفاعها؟ وإذا كان الضوء قريبًا فعلى أية مسافة هو؟ وإذا توجب على السائق أن يضغط على المكابح بقوة فما مقدار هذه القوة؟ بسبب هذه الضبابية في العبارة يتطلب من المحلل الرياضي أن يحوّل اللغة الطبيعية إلى نموذج عددي يمكنه من اتخاذ القرار بعقلانية نسبية كأن يقرر مثلاً بأن الضوء إذا كان أحمر، وتجاوزت سرعة السيارة 85 كلم في الساعة، وكان الضوء على مسافة أقل من 62 متراً، فعلى السائق أن يضغط على المكابح بقوة لا تقل عن 33 نيوتن. أما المرحلة الثالثة فتتمثل في استخلاص القيم النقيّة غير الغامضة التي بدورها تفضي إلى النتيجة النهائية.

2. مجالات تطبيق المنطق الضبابي

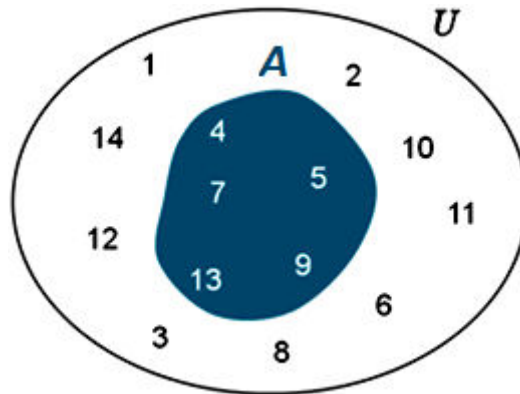
يُستخدم المنطق الضبابي في مجموعة واسعة من المجالات بسبب قدرته على التعامل مع التموّجات في المفاهيم،

نذكر منها:

- دعم القرار التشخيصي في المجال الطبي والتوجيه المهني؛
- قواعد البيانات في حالة وجود كائنات أو استعلامات غامضة؛
- التعرف على الأنماط والأصوات وعلم الروبوتات؛
- الأمثلة متعددة المعايير؛
- السيطرة على الأنظمة الصناعية؛
- معالجة صور الأقمار الصناعية؛

3. المجموعة التقليدية والمجموعة الضبابية

من المعلوم أنه في المجموعة التقليدية يحدد انتماء العنصر إما بنعم أو لا. على سبيل المثال إذا اعتبرنا المجموعة الجزئية A من U المعرفة بواسطة الشكل التالي.



فإنه يمكن التعبير عنها بواسطة دالة الانتماء كما يلي.

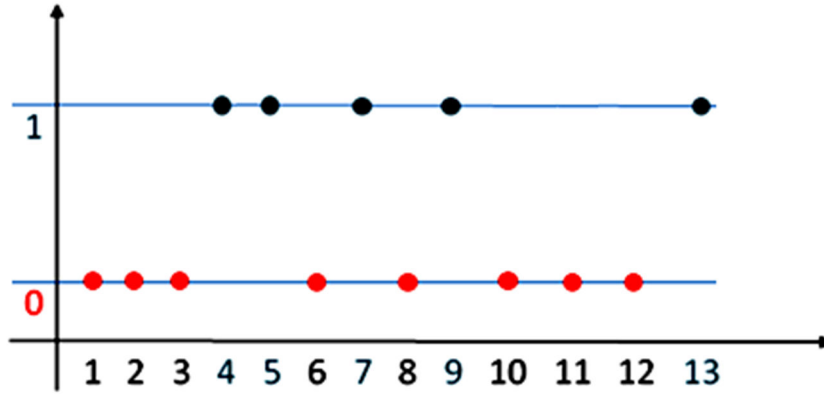
$$\mu_A : U \longrightarrow \{0, 1\}$$

$$x \longmapsto \mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

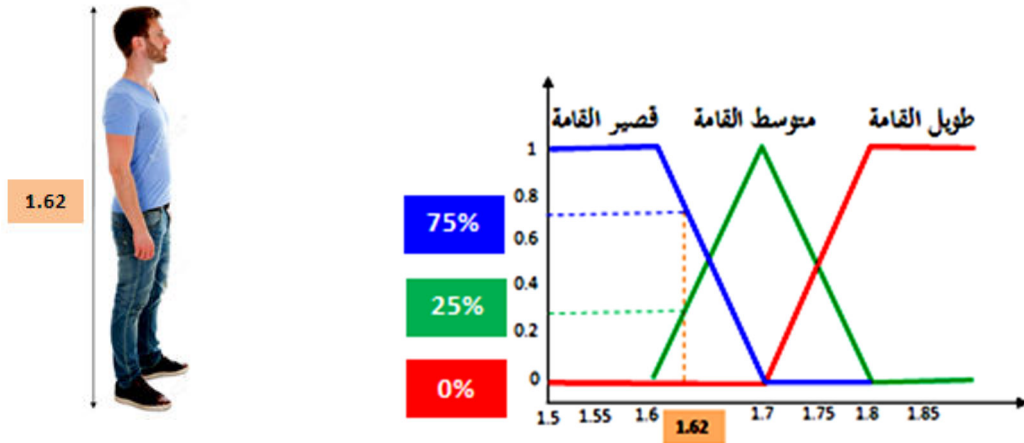
أو بواسطة الجدول التالي.

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	U
1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	A

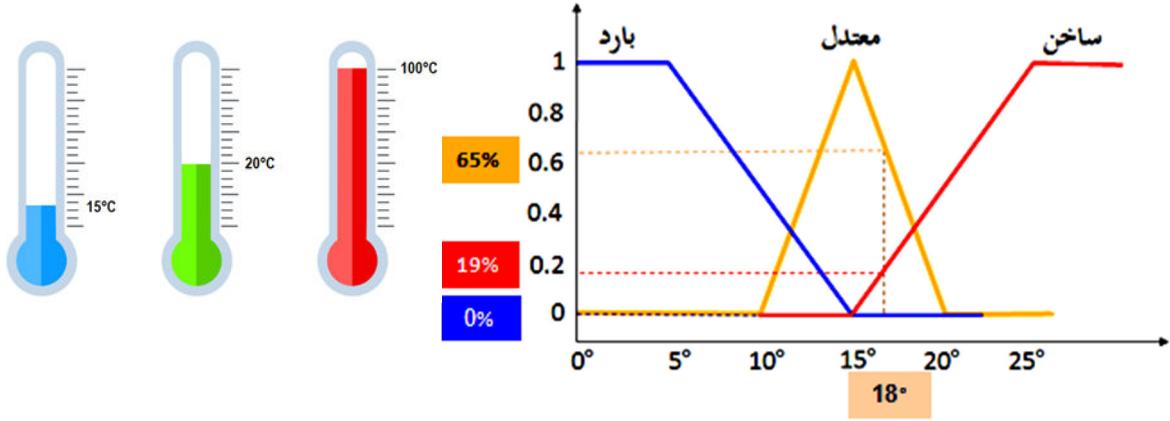
أو بواسطة الشكل البياني التالي



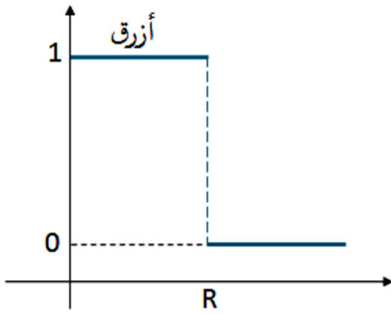
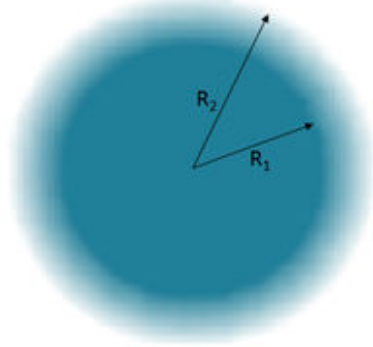
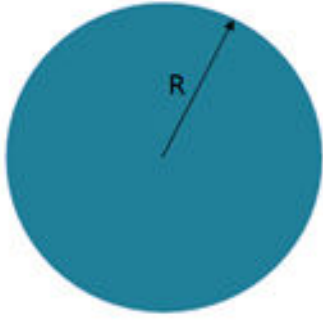
أما في المجموعة المضطبة فيكون الانتماء بدرجة معينة تقع ضمن المجال $[0, 1]$ بسبب عدم قابلية التصنيف بنعم أو لا، كما هو موضح في المثالين التاليين المتعلقين على التوالي بالمتغيرين اللغويين "طويل" و"ساخن". فكيف لنا أن نعرف مجموعة الأشخاص الذين يتميزون بقامة طويلة أو قصيرة أو متوسطة؟ وكيف نميز بين حرارة باردة أو ساخنة أو متوسطة؟



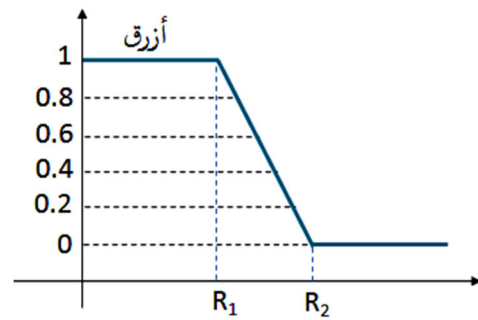
من خلال الشكل أعلاه يتجلى بوضوح أنه لا يمكن أن نحكم على الشخص على يسار الصورة بأنه طويل أو قصير أو متوسط القامة إلا بنسب معينة، فهو في هذا المثال ليس طويلاً وهو قصير بنسبة 75% ومتوسط القامة بنسبة 25%. وقس على ذلك درجة 18° في الشكل أدناه.



وفيما يلي نورد مثالا آخر يبرز بوضوح الفرق بين المجموعة التقليدية والمجموعة المضمببة. فالتأمل في القرصين أدناه يلاحظ أن المتغير اللغوي "أزرق" يتناسب جيدا مع المجموعة المضمببة بالنسبة للقرص الأيمن ومع المجموعة التقليدية بالنسبة للقرص الأيسر.



المنطق الكلاسيكي



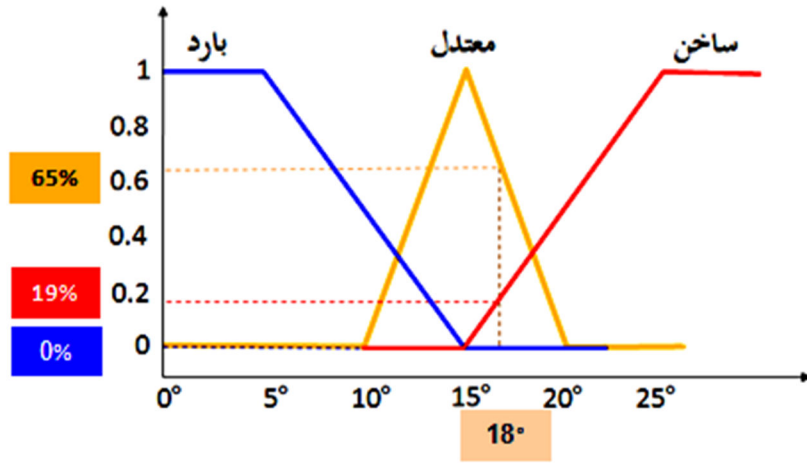
المنطق الضبابي

4. العمليات المنطقية الضبابية

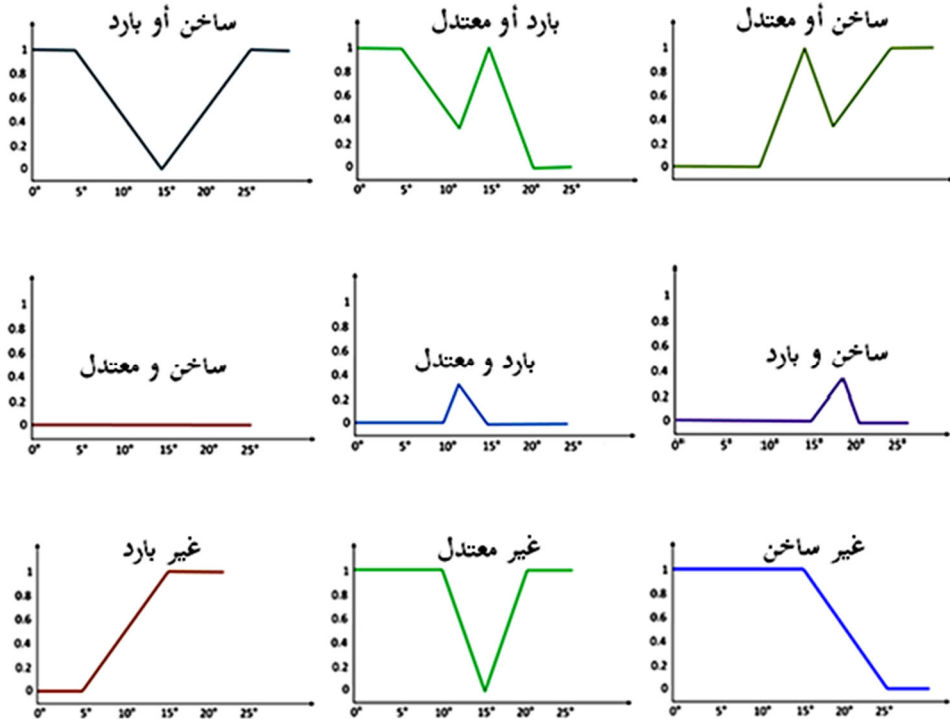
من المعلوم أن المنطق التقليدي يعتمد في جوهره على ثلاث عمليات منطقية ممثلة في التقاطع والاتحاد والتكملة ولا يمكن للمنطق الضبابي أن يخلو منها. لذلك يجب إعطاء تعريف دقيق لهذه العمليات لمعالجة المتغيرات الضبابية بالاعتماد على دوال الانتماء وهي كالتالي:

دالة الانتماء الضبابي	
$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B)$	$A \cup B$
$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B)$	$A \cap B$
$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A$	\bar{A}

بالعودة إلى مثال المتغيرات اللغوية "ساخن" و"بارد" و"معتدل" المتمثلة في الشكل التالي.



نتحصل على دوال الانتماء المضطربة لكل من الاتحاد والتقاطع والتكملة.



5. إزالة الضبابية

تلعب عملية إزالة الضبابية دورًا حاسمًا في أنظمة المنطق الضبابي، حيث يتم تحويل النتائج الضبابية إلى قيم دقيقة وواضحة يمكن استخدامها في اتخاذ القرارات. في هذه العملية، يتم تجميع القيم الضبابية الناتجة عن نظام المنطق الضبابي واستخدام طرق رياضية معينة لتحويلها إلى قيمة واحدة محددة. تعتبر إزالة الضبابية خطوة أساسية لتحويل البيانات الضبابية إلى معلومات قابلة للاستغلال في التطبيقات العملية، مثل التحكم في الأنظمة الصناعية، وإدارة الموارد، وتطوير الذكاء الاصطناعي. من بين الطرق الشائعة لإزالة الضبابية نجد طريقة مركز الثقل، وطريقة المتوسط الأقصى، وطريقة أكبر عضو. كل هذه الطرق تساهم في تحسين دقة وفعالية الأنظمة المعتمدة على المنطق الضبابي. ولأن الهدف من هذا المقال هو التعريف بهذا العلم وتبسيطه، نكتفي بشرح طريقة مركز الثقل ونترك الطرق المتبقية للقارئ إذا شاء أن يتوسع ويزيد من معارفه في هذا المجال.

6. طريقة مركز الثقل

تُعد "طريقة مركز الثقل" واحدة من أكثر الطرق شيوعًا وفعالية في عملية إزالة الضبابية في أنظمة المنطق الضبابي. تُعرف هذه الطريقة أيضًا باسم "طريقة الوسط المتوازن". تعتمد هذه الطريقة على حساب مركز الثقل للتوزيع الضبابي الناتج عن نظام المنطق الضبابي. يتم ذلك من خلال دمج كل القيم الممكنة مع درجات انتمائها المقابلة، ثم حساب المتوسط الموزون لهذه القيم. الخطوات الرئيسية في طريقة مركز الثقل تشمل:

1- **تحديد التوزيع الضبابي:** يتم تحديد التوزيع الضبابي الناتج عن قواعد المنطق الضبابي.

2- **حساب المركز:** يُحسب مركز الثقل باستخدام الصيغة الرياضية التالية:

$$\frac{\sum_{i=0}^n x_i \mu_{x_i}}{\sum_{i=0}^n \mu_{x_i}}$$

فعلى سبيل المثال، إذا افترضنا أننا نستخدم نظامًا ضبابيًا للتحكم في درجة حرارة غرفة ما وكانت المدخلات إلى النظام هي درجة الحرارة الحالية (Celsius)، والإخراج هو مدى شدة تشغيل المدفأة والتي تتراوح بين 0° (أدنى شدة: المدفأة مطفأة) إلى 10° (أقصى شدة). ناتج النظام الضبابي يُعطى بتوزيع ضبابي على مدى شدة تشغيل المدفأة. لنفترض أن التوزيع الضبابي الناتج هو كالتالي:

- المستوى الذي تعتبر عنده الشدة 2 مناسبة هي 20%.
 - المستوى الذي تعتبر عنده الشدة 4 مناسبة هي 50%.
 - المستوى الذي تعتبر عنده الشدة 6 مناسبة هي 70%.
 - المستوى الذي تعتبر عنده الشدة 8 مناسبة هي 30%.
- لحساب مركز الثقل، نستخدم الصيغة التالية.

$$\frac{\sum_{i=0}^n x_i \mu_{x_i}}{\sum_{i=0}^n \mu_{x_i}}$$

حيث x_i هو شدة تشغيل المدفأة، و μ_{x_i} هو درجة الانتماء.

الخطوات:

1. حساب حاصل ضرب كل شدة بدرجة انتمائها:

$$0.4 = 0.2 \times 2$$

$$2 = 0.5 \times 4$$

$$4.2 = 0.7 \times 6$$

$$2.4 = 0.3 \times 8$$

2. حساب مجموع حاصل العمليات:

$$9 = 2.4 + 4.2 + 2 + 0.4$$

3. حساب مجموع درجات الانتماء:

$$1.7 = 0.3 + 0.7 + 0.5 + 0.2$$

4. حساب مركز الثقل:

$$C = \frac{9}{1.7} = 5.2941.$$

إذن، باستخدام طريقة مركز الثقل، تكون شدة تشغيل المدفأة، التي تمثل القيمة النهائية المضطربة، هي حوالي 5.29. هذا يعني أن المدفأة يجب أن تعمل بشدة تقارب 5.29 على مقياس من 0° إلى 10° لتحقيق درجة الحرارة المطلوبة في الغرفة.

يوضح هذا المثال كيف يمكن استخدام طريقة مركز الثقل لتحويل توزيع ضبابي إلى قيمة دقيقة، يمكن استخدامها في تطبيقات عملية.

