



The role of fuzzy logic in the development of Artificial intelligence researc: In the field of language.

Dr / malika medkour

Hassiba Ben Bouali University of Chlef- Algeria

E; Medkour.malika@yahoo.fr

T;0776978383

Abstract:

Artificial intelligence was initially based on digital language and Binary valued logic, which is based on the principle of non-contradiction and the principle of excluded middle, but given the limitations of this intelligence in dealing with vague and loose informations, Artificial intelligence scientists have tended to rely to the fuzzy logic, that showed that fuzziness should not be eliminated, but must be invested dealt with it, and transformed into a manifestation of accuracy and clarity.

Problematic:

How fuzzy Logic contributed to the development of Artificial intelligence, especially with the advent of superintelligence research?.

Keywords : fuzzy logic, Artificial intelligence, Natural language, Digital language.

دور المنطق المرن في تطوير أبحاث الذكاء الاصطناعي في مجال اللغة.

د/ مليكة مذكور

جامعة حسيبة بن بو علي بالشلف

قسم الفلسفة/ الجزائر

الملخص:

اعتمد الذكاء الاصطناعي في البداية على اللغة الرقمية والمنطق ثنائي القيم الذي يقوم على مبدأ عدم التناقض والثالث المرفوع، لكن نظرا لمحدودية هذا الذكاء في التعامل مع المعلومات الغامضة والفضفاضة، اتجه علماء

الذكاء الاصطناعي إلى الاعتماد على المنطق المرن الذي يبين أن الغموض لا ينبغي التخلص منه بل لا بد من استثماره والتعامل معه، وتحويله إلى مظهر من مظاهر الدقة و الوضوح .
الإشكالية: كيف ساهم المنطق المرن في تطوير أبحاث الذكاء الاصطناعي خاصة مع ظهور أبحاث الذكاء الاصطناعي الفائق؟.

الكلمات المفتاحية: المنطق المرن، الذكاء الاصطناعي، اللغة الرقمية، اللغة الطبيعية

مقدمة :

في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين ستكون الكمبيوترات قادرة على القراءة بنفسها، وفهم وتوصيف ما تقرؤه، وسيكون لدينا عددٌ كمبيوتراتنا التي تقرأ كل المواد المطبوعة في العالم، مثل الكتب والمجلات والدوريات العلمية وغيرها من المواد المتاحة.

وأخيرا ستجمع الآلات المعلومات بنفسها عن طريق التفاعل مع العالم المادي، والتعامل مع وسائل الإعلام وخدمات المعلومات بجميع أشكالها، وتبادل المعلومات فيما بينها، وبمجرد أن يصل الكمبيوتر إلى مستوى الذكاء البشري، فسوف يصبح باستطاعته تجاوز الذكاء الإنساني (كيرزويل، ٢٠٠٩، صفحة ١٨).

ولهذا يمكن القول إن المنطق بأنساقه المتعددة قد ساهم في الدفع ببرامج الذكاء الاصطناعي، سواء من خلال حوسبة اللغة الطبيعية وتحويلها إلى لغة رمزية. وقد لعب حساب القضايا وحساب المحمولات دورا كبيرا في ذلك- أو من خلال جبر المنطق الذي ساهم في التأسيس للبوابات المنطقية التي تقوم عليها الحواسيب، ومن ثم المساهمة في الخوارزميات الحاسوبية وكذا في تمثيل المعرفة والنظم الخبيرة التي تعتمد على تحويل الخبرة الإنسانية إلى لغة رمزية تبرمج بها الحواسيب، ذلك لأن الحواسيب بنيت منذ البداية على فكرة العمل جعل إعطاء الأوامر إلى الآلة أمرا ممكنا، وحل المسائل واتخاذ القرارات بعد تزويد الآلة بجملة من القواعد الاستدلالية والخطوات الضرورية لحلها (الخوارزميات)، فكان ظهور المنطق الرمزي فتحا جديدا ساهم في ظهور الحواسيب وتطور برامج الذكاء الاصطناعي من خلال تزويدها باللغة الرمزية والآليات الاستنتاجية والاستدلالية المنطقية.

من المعروف أن الخطوات الأولى لفكرة الحاسوب قد بدأت بفضل تضافر جهود علماء الرياضيات والمنطق التي اتجهت إلى صورة اللغة الطبيعية من أجل تجاوز مختلف نقائصها ونقائصها، والعمل على تحويلها إلى حساب رياضي دقيق، ولهذا كان لا بد لبحث أية علاقة بين المنطق والذكاء الاصطناعي أن تمر بهذه الفكرة الأولى التي مهدت لبناء الآلية الاستدلالية التي كانت قاعدة إنشاء الحواسيب.

وإذا كان الذكاء الاصطناعي في البداية يهدف إلى محاكاة الذكاء البشري وفهم قدرته على الإدراك ومعالجة المعلومات واتخاذ القرارات من خلال أنظمة الحاسوب، وهو ما يعرف بالذكاء الاصطناعي الضعيف، فإن طموحات علمائه اليوم تجاوزت فكرة المحاكاة إلى العمل على إنتاج ذكاء يضاهي أو يتفوق على الذكاء البشري في كل المجالات: من معالجة المعلومات إلى التفكير، إلى التعلم الذاتي إلى التعامل مع اللغة بكل مستوياتها المكتوبة والمنطوقة، بل وحتى القدرة على توليد اللغة الطبيعية وامتلاك خاصية التدفق اللامتناهي للكلام، ولهذا فقد ذهب راي كيرزويل (Raymond kuzweil) (١٩٤٨) وهو واحد من أنصار الذكاء الاصطناعي الفائق إلى أننا في المرحلة القادمة سنكون قادرين على الوصول إلى الذكاء البشري للآلات، وذلك عندما يكون بوسعنا إنشاء وتدريب نظام يجمع بين الشبكات العصبية المتوازية وغيرها من النماذج الأخرى المساعدة على فهم اللغة وتوصيف المعرفة، بما في ذلك القدرة على قراءة وفهم الوثائق المكتوبة، ومع أن قدرة الكمبيوترات الحالية على استخراج وتعلم المعرفة من وثائق اللغة البشرية محدودة تماما، فإن قدراتها في هذا المجال تتطور بسرعة.

١- المنطق وحوسبة اللغة: التحويل من اللغة الطبيعية إلى اللغة الرمزية ودوره في ظهور الحواسيب :

تعاني اللغات الطبيعية من عدة نقائص منها ما يتعلق بالمعنى ومنها ما يتعلق بالدلالة، فاللفظ الواحد في اللغة العربية مثلا قد يشترك في المعنى مع لفظ آخر، مثل الليث والغضنفر، والقلم واليراع، وقد يكون للفظ الواحد معاني مختلفة باختلاف السياق، مثل كلمة العين، المغرب، وغيرها، هذا بالإضافة إلى الألفاظ المتواطئة التي تطلق على أشياء تتفق في المفهوم وتختلف في الماصدق، مثل الجسم الذي يقال على الإنسان والحيوان والحجر...إلخ، وكل هذا يؤدي إلى غموض العبارة في اللغة الطبيعية.

وبما أن وظيفة اللغة تواصلية، ولغة الإنسان الطبيعية معرضة للبس والاختلاف والظاهر والباطن، وتحتل فيها الجمل عدة معان وفقا للسياق والاستعمال وقصد المتكلم، فكر المناطق في وضع لغة دقيقة توخيا لمزيد من الوضوح والدقة أثناء العملية التواصلية، وهو ما دفعهم إلى التفكير في إنشاء لغة رمزية دقيقة وواضحة، للتخلص من الغموض والالتباس، الذي من شأنه أن يترك إنبطاعات مختلفة لدى الأفراد.

وترجع الجذور الأولى للتفكير في وضع لغة منطقية انطلاقا من اللغة الطبيعية إلى أرسطو، فبحثه في المقولات أي في مختلف الألفاظ أو المقولات الدالة على الموجودات، وبحثه في الكليات التي تنحل إليها الموجودات (الجنس، النوع، الفصل، الخاصة، والعرض العام)، كان بمثابة البدايات الأولى للحديث عن الفئة وعضوية الفئة، هذان المفهومان اللذان يشكلان حجر الزاوية في نظرية العلاقات، وفي المنطق الرياضي.

وقد سعى أرسطو رغم اعتماده على اللغة الطبيعية في المنطق وفي معالجة القضايا والأقيسة إلى البحث عن أصول اللغة المنطقية القائمة على الرموز دون الكلمات، غير أن استخدامه للرموز كان استخداما محدودا- اقتصر على وضع رموز للتعبير عن المتغيرات كالموضوع والمحمول في القضية المنطقية مثل قولنا: "كل أ هي ب" بدل قولنا "كل إنسان فان" - وبقيت دراسته للقضايا دراسة لغوية أكثر

منها رمزية، وهو ما تظن له المناطقة فيما بعد مع بور رويال (Port-Royal)، ثم توضحت هذه الفكرة أكثر مع ليبنتز (Leibniz Gottfried Wilhelm) (١٦٤٦ - ١٧١٦) الذي حاول وضع البذور الأولى للغة الرمزية العالمية، والإتجاه نحو الترميز (Symbolizing) بإدخال رموز وعلاقات الرياضيات إلى المنطق، والاستعانة بها في التعبير عن الأفكار والتصورات بدل الكلمات، وذلك بتحويل اللغة إلى حساب، بوضع أجدية للأفكار الإنسانية سعيا منه للصورية وبناء لغة رمزية تتجاوز عيوب اللغة الطبيعية، وتخلصها من الغموض واختلافات الفلاسفة التي اعتقد أنها بإمكانها أن تزول إذا استطعنا وضع لغة رمزية دقيقة شبيهة بلغة الرياضيات، تعتمد على الرموز والأرقام في التعبير عن القضايا والحقائق، وذلك لأننا والحال هذه بدل لجوتنا إلى الجدل والخلاف نلجأ إلى الحساب، وهو ما من شأنه أن يحل العديد من القضايا ويحدد المسائل تحديدا دقيقا.

ولهذا سعى ليبنتز إلى " أن يضع لكل من الحدود البسيطة عددا معينا، ثم يرمز للحدود المركبة بحاصل ضرب هذه الحدود البسيطة، فلو رمزنا مثلا لكلمة حيوان بالعدد (٢) ولكلمة عاقل بالعدد (٣)، فإن التعبير عن كلمة (إنسان) هو $2 \times 3 = 6$ ، وقد سيطرت هذه الفكرة على عقل ليبنتز حتى سنة ١٦٧٩ حيث عدل الرموز ولجأ إلى رموز أخرى ذات طابع جبري نشرها في بحثه " Spécimen de calcul universel" (ليبنتز، ١٩٨٣، صفحة ٧٣)، على شريطة أن لا يكون للرمز الواحد أكثر من فكرة واحدة، بحيث تصبح هذه اللغة حسابا عقليا مثل الجبر، إعتقادا منه أن الرياضيات تستطيع أن تحدد بدقة كاملة العلاقات بين الأشياء والعبارات، ولهذا إذا استطعنا أن نجعل لكل كلمة في اللغة " رمزا يشير إلى فئة أو مجموعة من الأفراد، وقد تكون الفئة شاملة، أو ذات عضو واحد -أو فارغة، ولو قد نظرنا إلى ألفاظ اللغة هذه النظرة التي تجعل من كل كلمة فيها (تقريبا) رمزا يدل على فئة معينة، كان الكلام في حقيقة الأمر تصويرا لاتصال الفئات وانفصالها، اتصالا وانفصالا يأتیان على صور عدة، ولما كانت القضية هي الحد الأدنى للكلام ترتب على ذلك أن

تمنع خلوها من المعنى، كما أن لها رموزا مفردة ذات معنى محدد فريد دائما، والمطلب الأول الذي يجب أن يتحقق في اللغة المثالية هو أن يكون هناك اسم واحد لكل شيء بسيط، بحيث لا يشير نفس الاسم لشيئين بسيطين مختلفين، فالاسم رمز بسيط بمعنى أنه لا يتكون من أجزاء تكون هي نفسها رموزا، وفي اللغة الكاملة منطقيا لا يمكن أن يكون لشيء غير بسيط رمز بسيط، إذ الرمز الخاص بالكل سيكون رمزا مركبا ومحتويا لرموز أجزائه (رسل، ١٩٦٨، الصفحات ٣٢-٣٣).

يتم التحويل من اللغة الطبيعية إلى اللغة المنطقية باتباع جملة من الخطوات يتم فيها:

١- التعبير الرمزي عن القضايا اللغوية وذلك بوضع صورة منطقية رمزية للعبارات والقضايا اللغوية والإشارة إليها بمتغيرات رمزية، كأن نشير إليها بأحرف أبجدية لغة طبيعة معينة مثلا مثل ق، ك، x، y

وهنا لابد من الإشارة إلى أن استخراج الصورة المنطقية معناه " أن نرفع من الجملة كل أجزاء الكلام التي تشير إلى الأشياء أو الصفات أو الأفعال ونضع مكانها متغيرات" (النور، المنطق الطبيعي، دراسة في نظرية الاستنباط الأساسية، ١٩٩٣، صفحة ٨٦)، ولهذا فالمتغيرات في حساب القضايا لا تشير إلى معنى محدد كأن نعبر عن القضية "أرسطو فيلسوف" ونرمز لها مثلا بالحرف (ق)، "أرسطو فيلسوف ومنطقي" نرمز لها بالرمز (ق ٨ ك).

ولهذا فالمتغيرات قد تشير إلى قضايا أو جمل مفردة منظورا إليها دون أدنى اعتبار لتركيبتها الداخلي، وقد تكون نفسها قضية مركبة، ولكننا نتعامل معها باعتبارها قضية ذرية بتعبير برتراند رسل، أي أننا نستغني عن استخدام تركيب القضية الداخلي في استنباط علاقات منطقية من أي نوع، ولهذا لا يلتصق رمز ما بقضية محددة بصورة مطلقة، وإنما القيد الوحيد هنا أنه حين نرمز لقضية برمز معين نلتزم به في كل مرة ترد فيها القضية، سواء في ثانيا الصيغة أو في خطوات البرهان المتتابعة ونستطيع أن نختار رمزا آخر منذ البداية بشرط تغييره في كل المواضع التي يرد فيها (النور،

تكون كل قضية - إذا كانت مركبة من حدود كلية - عبارة عن تصوير العلاقات بين الحدود من حيث اتصال فئاتها أو انفصال بعضها عن بعض، وبالتالي تكون القضية عبارة عن معادلة رياضية تبيّن تساوي فئتين أو عدم تساويهما" (محمود، ١٩٦٥، صفحة ١٧٧)

كما يرجع الفضل في التأسيس للرمزية إلى الفيلسوف البريطاني جورج بول (George Boole) (١٨١٥-١٨٦٤) الذي وضع أسس الجبر المنطقي، وحاول من خلاله تريبض المنطق وتحويل العمليات المنطقية إلى عمليات جبرية (Boole, 1847, pp. 5-6)، معتمدا على ثلاثة عمليات أساسية الفصل (OR) الوصل (AND)، والنفي (NOT)، وذلك من خلال بحثه في الصيغ المختلفة للألفاظ والرموز، كيف تتصل وكيف تنفصل في تفكير الإنسان، ومختلف العلاقات التي تربط بينها، ولهذا خلص إلى أن اللغة ليست مجرد مجموعة من الرموز بل هي نسق من العبارات، تجري بين عناصرها اتصالا وانفصالا وفق قوانين هي ذاتها قوانين الفكر، ولهذا حوّل جورج بول الجمع والضرب والطرح في الجبر إلى جمع منطقي وضرب منطقي، كما وظّف العلاقات الرياضية في التعبير عن هذه العلاقات كالخاصية التبديلية والتجميعية والتوزيعية وغيرها من الخصائص التي ساهمت في الإستنتاج والإستدلال الرمزي، وهو ما رفع فكرة إمكانية تحويل اللغة الطبيعية إلى لغة رمزية إلى السطح، ومن ثمة تحويل القضايا المنطقية إلى معادلات جبرية، كما يمكن تشفير المعرفة والخبرة الإنسانية وتحويلها إلى قوانين رمزية، ثم تطورت هذه الأبحاث مع مشروع اللغة المثالية أو الكاملة منطقيا مع برتراند رسل (Bertrand Russell) (١٨٧٢-١٩٧٠) في كتابه "الفلسفة الذرية المنطقية"، وفتجنشتين (Wittgenstein) (١٩٥١-١٨٨٩) في كتابه "رسالة فلسفية منطقية" حيث يشترك كل منهما في القول بأن خلافاً للفلسفات التقليدية سببها "الجهل بمبادئ الرمزية وسوء استعمال اللغة" (فتجنشتين، ١٩٦٨، صفحة ٣١) وبامكاننا مواجهة غموض اللغة بقدر اقترابنا من اللغة المثالية أو الكاملة منطقيا وهي لغة لها "قواعد من حيث بنائها اللفظي،

وإنسجامها أو تناقضها داخل النص اللغوي، وذلك بوضع قضايا النص- بعد كتابتها بطريقة رمزية- في شجرة صدق واحدة، فإذا انتهى التحليل إلى وجود فرع واحد مفتوح على الأقل فهذا معناه أن النص متجانس، أي جملة متسقة فيما بينها، أما إذا كانت كل أغصان فروعها مغلقة فهذا معناه أن النص يحتوي على جمل متناقضة، وبالتالي فعبارة غير متسقة.

وقد ساهمت هذه الرمزية في ظهور اللغة الرقمية التي كانت في البداية اللغة الوحيدة للتعامل مع الحواسيب، ولهذا تحضى البحوث التي تتناول دراسة القدرة اللغوية للإنسان وآليات التحويل من اللغة الطبيعية إلى اللغة الرمزية والعكس بأهمية كبيرة في مجال الذكاء الاصطناعي، ذلك لأن اللغة هي وسيلة الإنسان للتفكير والتعبير عن الأفكار والخواطر والمعلومات ونقل خبراته إلى الغير ووسيلة للتواصل والتعليم ولقضاء احتياجاته الاجتماعية، وتدخل هذه القدرة اللغوية في معظم البرمجيات التي يضعها علماء الذكاء الاصطناعي، كالنظم الخبيرة وتمثيل المعرفة، وبما أن الجزء الأكبر من المعرفة الإنسانية موجود في نصوص لغوية، كان لابد للحاسب من طريقة تمكنه من التعامل مع النصوص اللغوية لاستخلاص هذه المعرفة، خاصة وأن علماء الذكاء الاصطناعي يهدفون إلى جعل الحوار بين الإنسان والآلة ممكناً بدقة أقرب ما تكون إلى اللغات الطبيعية التي يستخدمها في حوارهم مع أقرانه، ومن هنا تأتي أهمية برمجيات معالجة اللغات الطبيعية (فرغلي، ١٩٨٧، صفحة ١٢٤).

٢- جبر المنطق والبوابات المنطقية :

ساهم جورج بول من حيث لا يدري من خلال جبر المنطق في الدفع بأبحاث الحاسوب إلى الأمام، ذلك لأنه إلى وقت تأسيسه لجبر المنطق لم تكن لديه أية فكرة عن تطبيقات فكرته، لكن فيما بعد اعتمد جبر المنطق في التأسيس للبوابات المنطقية التي تعد الأساس في بناء وتصميم نظم الحواسيب" حيث تشغل العمليات المنطقية مكانة جوهرية في عتاد كيانه المادي (hardware) وهذا ما جعله أداة يمكنها حل المسائل المنطقية" (ماكليش، ١٩٩٩، صفحة ٢٥٨)، وهو ما يظهر

المنطق الطبيعي، دراسة في نظرية الاستنباط الأساسية، (١٩٩٣، صفحة ٣٤)

٢- الوقوف على العلاقات الموجودة بين القضايا والتعبير عنها بثوابت رمزية مثل الفصل والوصل، الاستلزام والتكافؤ وغيرها ونرمز لها على التوالي بـ ($\wedge, \vee, \rightarrow, \equiv, \dots$)

٣- تحديد القواعد والقوانين التي تحكمها، مثل قوانين الروابط القسوية والتي على ضوئها تتحدد قيم دالة القضية، كما تتضمن هذه القوانين قواعد للتركيب والإنشاء والتحويل من عبارة رمزية إلى أخرى، مثل تعريف الاستلزام بدلالة الفصل والنفي، أو بدلالة الوصل والنفي، والتي نعبر عنها رمزيًا بـ:

$$(ق \leftarrow ك) \equiv (ق \vee ك) \text{ في حالة الإثبات}$$

$$\sim (ق \leftarrow ك) \equiv (ق \wedge \sim ك) \text{ في حالة النفي}$$

أو كتابة الفصل بدلالة الوصل و الوصل بدلالة الفصل وذلك اعتماد على قانون دي موجان (De Morgan) (١٨٠٦-١٨٧١)

$$\sim (ق \wedge ك) \equiv (\sim ق \vee \sim ك)$$

$$\sim (ق \vee ك) \equiv (\sim ق \wedge \sim ك).$$

أو كتابة التكافؤ بدلالة الاستلزام، أو الفصل والوصل كما يلي:

$$(ق \equiv ك) \equiv (ق \leftarrow ك) \wedge (ك \leftarrow ق)$$

$$(ق \equiv ك) \equiv (ق \wedge ك) \vee (\sim ق \wedge \sim ك) \text{ في حالة الإثبات}$$

$$\sim (ق \equiv ك) \equiv (ق \wedge \sim ك) \vee (\sim ق \wedge ك) \text{ في حالة النفي}$$

٤- أما الخطوة الرابعة فيتم فيها اختبار القضايا بعد تحويلها إلى متغيرات وروابط قسوية، وهذا بالاعتماد على جملة من القوانين المنطقية التي تحكم الروابط بين القضايا، ومختلف خصائصها المنطقية والرياضية، وهو ما يمكننا من معرفة مدى صدقها، ومدى صحة الاستدلالات القائمة في النص اللغوي، وكذا معرفة مدى اتساق عباراته وقضاياها، كما أن لاختبار القضايا المنطقية في حساب القضايا عدة طرق منها جداول الصدق الكلاسيكية والمختصرة، بالإضافة إلى التحليل الشجري الذي يمكننا أيضا من اختبار اتساق القضايا

المبرمج والحاسوب، بحيث تنحل في النهاية إلى أشكال متنوعة لسلاسل طويلة أو قصيرة من الأصفار و الوحدات. وقد كان لجورج بول واضع جبر المنطق دور كبير في وضع اللبانات الأولى لهذه اللغة، ولهذا تعد آليات عمل شبكات المفاتيح الكهربائية من أهم مجالات تطبيق الجبر البوليني لأنها تقوم على مبدئين هما توصيل أو فصل التيار الكهربائي: (ON) في حالة التشغيل و(OFF) في حالة قطع التيار الكهربائي، ولهذا فهي تتحكم في سريان التيار الكهربائي (بتات البيانات) وذلك لتمثيل النفي والفصل والوصل (AND، OR، NOT) والمعاملات البولينية الأخرى التي يمكن أن تشتق منها مثل الفصل الاستبعادي والتكافؤ.

ولهذا تعتبر دوال القضايا المنطقية المدخل لظهور البوابات المنطقية في الأنظمة الحاسوبية، وآليات الدخول والخروج، والبوابات المنطقية التي هي " دائرة الكترونية بسيطة تقوم بعملية منطقية على مدخل واحد أو أكثر وتنتج مخرجا منطقيا واحدا، وتستخدم في بناء معالجات الأجهزة الالكترونية والحواسيب، ولأن مخرج البوابة الرقمية هو أيضا قيمة منطقية، فإنه يمكن استخدام مخرج أحد البوابات كمدخل لبوابة أخرى" (Itmazi, 2017, p. 123) .

وكمثال على ذلك نشير إلى أن الدارة الكهربائية التي تقوم على التوصيل على التوالي تقوم على قانون منطقي هو قانون الوصل (ق ٨ ك) أو ما يعرف بالضرب المنطقي (ق x ك)، بمعنى أن التيار الكهربائي لا يمر في الدارة الكهربائية إلا إذا كان المفتاح ق و ك في حالة تشغيل معاً، وهو ذاته قانون الوصل بين القضيتين ق و ك والذي ينص على أن دالة الوصل لا تكون صادقة إلا إذا كانت القضيتين صادقتين معاً. ويمكن توضيح ذلك في الجدول التالي:

ق	ك	ق ٨ ك
١	١	١
١	٠	٠
٠	١	٠
٠	٠	٠

من خلال كتابه " التحليل الرياضي للمنطق The Mathematical Analysis of Logic" الذي صدر عام ١٨٤٧، وكتاب "دراسة في قوانين التفكير An Investigation of the Laws of Thought" الذي صدر سنة ١٨٥٤، حيث بيّن فيه جورج بول أسس الجبر المنطقي و أشار إلى آليات إدخال الرموز و العمليات الرياضية للتعبير عن القضايا المنطقية، منبها إلى أن " الصيغ الجبرية يمكن أن تستخدم في التعبير عن العلاقات المنطقية، ومؤكدا على أن اللغة ليست مجرد مجموعة من العلامات، ولكنها نظام من التعبيرات، ترتبط فيها العناصر وتتفصل وفقا لقوانين، وأن هذه القوانين رياضية تماما مثل القوانين التي تحكم المفاهيم الكمية". (Kneale, 1948, pp. 150-153)

وقد كان كلود شانون (Claude Shanon) (١٩١٦-٢٠٠١) أول من نبّه إلى أهمية ما جاء به جورج بول واستخدمه " لتخفيف عدد العناصر اللازمة لبناء الحاسوب، واستطاع بجرة قلم أن يخفف عدد الدارات اللازمة وكلفة المشروع، والأكثر من هذا استطاع أن يخفض من درجة الحرارة المتولدة داخل الحاسوب والتي يؤدي ارتفاعها إلى حدوث الأعطال" (ماكليش، ١٩٩٩، الصفحات ١٥٧-١٥٨) ولهذا يمكن القول إن التعامل مع الحاسوب بدأ من الاعتماد على لغة الأرقام باعتبارها كانت اللغة الوحيدة التي يفهمها الحاسوب، تتكون هذه اللغة من رمزين فقط، هما الصفر والواحد (تتعامل في جبر المنطق مع رقمين فقط هما الصفر والواحد لأنهما يكافئان القيم الصدقية في منطق الأقوال، لأنه تبعا لمبدأ عدم التناقض لا يمكن الحكم على القضايا إلا بالصدق أو الكذب)، والسبب في أن لغة الآلة تتكون من رمزين فقط هو إمكانية تمثيل هذين الرقمين تمثيلا فيزيائيا، فتمكن الآلة من التعرف عليهما، حيث يتم تمثيل الرقم واحد بدائرة كهربائية مغلقة (أي يمر بها التيار الكهربائي)، ويتم تمثيل الرقم صفر بدائرة كهربائية مفتوحة (أي لا يمر بها التيار الكهربائي)، ويمكن تمثيل كافة حروف وأرقام اللغة البشرية بلغة الآلة، وذلك باستخدام شفرة تعمل كوسيط بين

تمثيل المعرفة، والخوارزميات اللازمة لتطبيق تلك المعرفة بما تتضمنه من خلال سلسلة من التعليمات المنطقية المحدودة والمحددة والتي ينبغي اتباعها خطوة بخطوة لحل مشكلة ما.

لكن إذا كان التواصل مع الحاسوب يقوم على مبدأ أساسي هو التحويل من اللغة الطبيعية إلى اللغة الاصطناعية، بمساعدة لغات المنطق الصورية، فالإشكال الذي يفرض نفسه هنا هو: هل بإمكاننا تحويل كل قضايا اللغة الطبيعية إلى لغة رمزية يفهمها الحاسوب؟، خاصة مع محدودية القدرة على التعبير الرمزي عن القضايا الانشائية كالأمر والنهي والتعجب، والنداء وغيرها، وبعض القضايا والعبارات الفضاضة التي لا يمكن التعبير عنها تعبيراً كيمياً، أم لابد من تجاوز هذه الخطوة للتعامل مع الحاسوب مباشرة باللغة الطبيعية دون وسائط؟.

خاصة إذا عرفنا أن طموحات علماء الذكاء الاصطناعي تتجه نحو العمل على إنتاج روبوتات وحواسيب بذكاء فائق، قادرة القيام بكل ما يقوم به الإنسان من عمليات عقلية، وكذا القدرة على التعلم الذاتي والاستغناء عن الإنسان في برمجة نفسها وإصلاح أعطابها والاعتماد على اللغة الطبيعية مباشرة في التواصل معها وإلغاء كل الوسائط كالأزرار ولوحة المفاتيح وغيرها، وقد بدأت جهود علماء الذكاء الاصطناعي في العمل على هذا المشروع بدءاً من الجيل الخامس للحاسوب الذي كان هدفه الأساسي " تخليص الحاسوب من أسر ميكانيكية (آلة الدخل والخرج) آلة فون نيومان (John van Newman) (١٩٠٣-١٩٥٧) ذات المعالجة المركزية المتلاحقة التي فرضت على تصميمه منذ نشأته وعبر أجياله الأربعة السابقة التي كانت تعمل بأسلوب متلاحق أو متتابع، وتتعامل مع ذاكرة مركزية واحدة تتلقى جميع المدخلات، ويصب فيها ناتج جميع العمليات الحسابية والمنطقية، ومعنى ذلك أن الحاسوب يقوم بتنفيذ أوامر البرامج واحداً تلو الآخر، دخولاً وخروجاً، من خلال مورد وحيد للذاكرة، وقد مثل ذلك قيماً حقيقياً على سرعة تنفيذ البرامج، وكيفية تعاون أجزائها المختلفة لتبادل المعطيات والنتائج الجزئية" (علي، اللغة العربية والحاسوب، ١٩٨٨، الصفحات ٩٦-٩٧).

٠	٠	٠
---	---	---

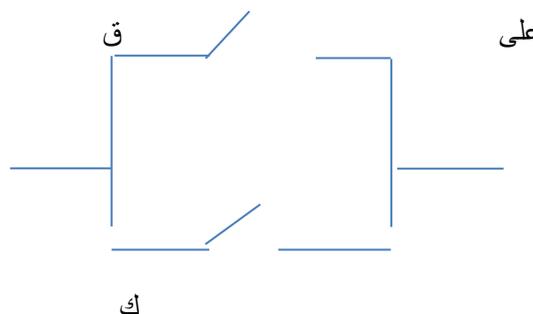
ويمكن تمثيل الدارة الكهربائية التي تقوم على التوصيل على التالي كما يلي:



الشكل ١

بينما يقوم التوصيل على التوازي في الدارة الكهربائية على قانون الفصل (ق+ك) أو ما يعرف أيضاً بالجمع المنطقي (ق + ك) والذي ينص على أن الفصل يكون صادقا إذا صدقت على الأقل إحدى مفصولاته، ويكون كاذبا فقط في حالة كذب كل مفصولاته.

ويمكن تمثيل الدارة الكهربائية التي تقوم على التوصيل على التوازي كما في الشكل التالي:



الشكل ٢

ويمكن توضيح ذلك من خلال الجدول التالي:

ق	ك	ق ك
١	١	—
١	٠	—
٠	١	—
٠	٠	٠

وهو ما يبين دور جبر المنطق سواء في الانطلاقة الأولى للحاسوب، أو في مختلف تطوراته اللاحقة وبالخصوص في

وهو منطق يسعى إلى "تجاوز ثنائية الخطأ والصواب الصارمة التي قام على أساسها المنطق التقليدي ليقترّب أكثر من واقع الإنسان، هذا الواقع الذي ينتفي فيه المطلق، ولا يخلو أمر من أموره من امتزاج الخطأ بالصواب بدرجة أو بأخرى، وهكذا ولدت الحقيقة الرمادية، الثرية بتعدد الدرجات لتحل محل الحقيقة ذات اللونين الأبيض والأسود (السيد، ١٩٩٧، صفحة ٠٧).

وعلى الرغم من حداثة هذا المنطق الذي وضع أسسه الأولى العالم لطفّي زادة (Lotfi Zadah) (١٩٢١-٢٠١٧) في أوائل ستينيات القرن العشرين، إلا أن جذوره الأولى نجدها ترتد بنا إلى العقيدة الروحية الشرقية القديمة، حيث يمكن أن نجد ملامح الغموض والضبائية مع بوذا الذي كان يرفض مبدأ عدم التناقض القاطع وإقراره بمبدأ التناقض الذي يعبر عنه شعار "الين" "يانغ" والذي يقوم على فكرة اجتماع النقيضين في الشيء الواحد وفي نفس اللحظة، ولهذا يعتبرهما بارت كوسكو (Bart Kosko) (١٩٦٠) بأنهما "شعار المرونة الذي يمثل عالما من المتناقضات" (كوسكو، ٢٠١٤، صفحة ٢٢).

وقد عرّف بارت كوسكو - وهو أحد طلبة لطفّي زادة - المنطق المرن تعريفا موجزا بقوله إن المنطق المرن "هو التفكير بواسطة المجموعات المرنة"، والأشياء المرنة تشبه اللاأشياء المرنة أ يشابه لا أ، الأشياء المرنة لها حدود غامضة مع نقيضها اللاأشياء، كلما شابه الشيء نقيضه كلما أصبح أكثر مرونة، وفي الحالة الأكثر مرونة يكون الشيء مساويا لنقيضه" (كوسكو، ٢٠١٤، صفحة ٢٢).

وقد حدد لطفّي زادة المميزات الأساسية لهذا المنطق، في ثلاثة نقاط أساسية: هي

- ١- استخدام المتغيرات "اللغوية" بدلا من المتغيرات العددية أو بالإضافة إليها.
- ٢- تحديد العلاقات البسيطة بين المتغيرات من خلال عبارات شرطية غامضة إذا كان A هو B فإن Y هي Z .
- ٣- وصف العلاقات المعقدة بواسطة الخوارزميات الغامضة (Zadeh, The birth and evolution of Fuzzy

ومع التطورات المعاصرة التي عرفها المنطق وانتقاله من منطق ثنائي القيم إلى منطق ثلاثي ورباعي ومتعدد القيم، ثم مع ظهور المنطق المرن (أثارنا الاعتماد على ترجمة fuzzy Logic بالمنطق المرن لأننا نجده أكثر دقة في التعبير عن طموحات وأهداف هذا المنطق الناشيء من مصطلح المنطق الغائم والضبائي) وما حمله من تغيرات أدت إلى حدوث تحولات كبيرة في مجال الحواسيب، حيث عمد مصمموها إلى تغيير آلية تعامل الحواسيب من العمل وفق ثنائية (١،٠) - بعد أن تبين أن الاعتماد على المنطق البوليني ثنائي القيم غير كاف في التعبير عن كل العمليات العقلية- إلى التعامل مع عدة قيم في نفس الوقت، ذلك لأنه كان يعتقد في البداية أن تفكير الإنسان يخضع لمنطق ثنائي القيم والذي بموجبه نحكم على الأشياء إما بالصدق أو الكذب، وقد استمرت هذه الفكرة بل وقد تم الاعتماد عليها في بناء الأفكار الأولى عن الحواسيب مثل ما جاء به فون نيومان، في الحواسيب التي تعمل وفق منطق ثنائي القيم (٠-١)، لكن هذه الآلية قد تم تجاوزها، إذ لاحظ العلماء أن اعتماد الحواسيب على المنطق ثنائي القيم يقيد الحواسيب في معالجتها للبيانات والتعامل معها، ويجعلها غير مرنة بسبب تردها بين نهايتين متضادتين هما الواحد والصفير، مهملّة المساحة الرمادية بينهما، ولهذا يسعى العلماء اليوم إلى الاعتماد على المنطق المرن أو الغائم الذي يعد اليوم أفضل منطق يقترّب من منهج تفكير الإنسان.

هذا بالإضافة إلى عجز المنطق ثنائي القيم عن حل الكثير من المفارقات التي هي قضايا صادقة وكاذبة في نفس الوقت، رغم ما طرحته نظرية الأنماط المنطقية مع برتراند رسل من تمييز بين مستويات اللغة، بين لغة الموضوع وما بعد اللغة.

٣- المنطق المرن والعودة إلى غموض اللغة الطبيعية ودورها في تطوير الذكاء الاصطناعي.

٣-١ تعريف المنطق المرن:

يمكن القول عموما إن المنطق المرن هو المنطق الذي يعنى بدراسة الظواهر والأشياء التي تقع دائما بين النهايات القاطعة، وتتميز بكونها نسبية ومتدرجة في وجودها بينهما،

عنصر من عناصرها بالانتماء أو عدم الانتماء مطلقاً، والذي يمكن أن نعبّر عنه من خلال دالة الانتماء $UA(x)$ التي تأخذ القيمتين 0 و 1 فقط، وتعبّر هاتين القيمتين عن عدم انتماء العنصر إلى المجموعة أو انتمائه، ويمكن كتابة دالة الانتماء هذه كما يلي:

$$UA(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A \\ 0 & \text{if } x \notin A \end{cases}$$

أما المجموعة الغائمة فقد أضافت مفهومًا جديدًا هو التدرج في انتماء العنصر إلى المجموعة ويعبّر هذا التدرج عن الغموض في الانتماء وعدم دقته، ولهذا عندما يأخذ العنصر في المجموعة الغامضة درجة انتماء (1) فهذا يعني أن العنصر ينتمي بالتمام إلى المجموعة الغائمة، وعندما تكون درجة الانتماء صفر (0)، فهذا يعني أن العنصر لا ينتمي إطلاقاً إلى المجموعة الغائمة، والدرجات الأخرى تتفاوت على نحو لا متناهي بما يناظر الأعداد الحقيقية بين الصفر والواحد، ولهذا فقد عرف لظفي زادة المجموعة الغائمة (A) كما يلي: "هي المجموعة التي يرتبط كل عضو فيها بعدد حقيقي يقع ضمن المجال [0, 1] حيث يكون لكل عضو (x) وفق تابع الانتماء $FA(x)$ جزء من درجة

الانتماء إلى المجموعة (A) (Zadeh, Fuzzy Sets, Information and Control, 1965, p. 339)

تكون درجة الانتماء (0,5) فهذا يعني أن العنصر ينتمي بنسبة (0,5) إلى المجموعة الغائمة، ولا ينتمي إلى المجموعة بالنسبة نفسها، ويدعى هذا العنصر بنقطة التوازن، وقد تكون نقطة واحدة أو عدة نقاط، وعندما تكون درجة الانتماء (0,9) فهذا يعني أن هذا العنصر ينتمي إلى المجموعة الغائمة بنسبة (0,9)، ولا ينتمي إليها بنسبة (0,1)، وكمثال عن مجموعة غائمة، مجموعة الأشخاص طوال القامة، مجموعة الأشخاص اللذين يشعرون بالرضى عن أنفسهم... الخ

مثال:

لنفرض أن المجموعة U هي درجات الحرارة التي يمكن أن توجد في الكون، لنختار ثلاث دالات عضوية نسميها

(Logic, 1990, p. 96)، وهو ما يعطي نوعاً جديداً من العلاقات بين المدخلات والمخرجات في شكل قواعد ضبابية، وهي ذاتها الخطوات التي تعتمد لبناء أي نظام تحكم مرّن. وهذا معناه أن المنطق المرّن لا يتعامل مع الكم فقط، بل يتعامل مع الكيف بالدرجة الأولى، ذلك لأن المتغيرات التي يعتمد عليها هي متغيرات لغوية وليست رقمية، فهو يعتمد على أساليب الإنسان العادي التي رغم غموضها إلا أنها تتمتع بقدرة فائقة على الوصول إلى المطلوب، وابداع الحلول واتخاذ القرارات الملائمة، فالإنسان في أغلب تعاملاته مع أحوال واقعه، فكراً وعملاً لا يستخدم "لغة الكم" بأعدادها وبرموزها وصيغها بالغة الدقة وشديدة الوضوح، بل يعتمد أساساً على لغة الكيف بتعبيراتها الفضفاضة وصيغها السلسلة التي كثيراً ما تفتقد إلى الدقة وغالباً ما يشوبها الغموض، فالإنسان حتى عندما يرغب في التعبير عن المقادير لا يستخدم "الأعداد"، بل يستخدم الألفاظ مثل: ثقيل، خفيف، كثير، قليل، طويل، قصير، بارد، بارد جداً، بارد إلى حد ما، حار، حار جداً،... إلخ أثناء تعبيره عن المتغيرات الغامضة مثل: الوزن و الطول، الارتفاع، واللون، والحرق، والبرد وغيرها.

وهنا نلاحظ نقطة غاية في الأهمية وهي اتجاه هذا المنطق نحو العودة إلى اللغة الطبيعية واعتماد صيغها الغامضة في فهم العمليات العقلية، والتعبير عن الظواهر، بعد أن كان الاتجاه السائد من قبل يسير في اتجاه نقد اللغة الطبيعية والاتجاه نحو اللغة الرمزية مع برتراند رسل وغيره من المناطقة ضماناً للدقة وطلباً للوضوح، ولهذا أصبح المناطقة يتجهون الآن نحو اللغة الطبيعية وتعبيرها الغامضة المبهمة، لأنها أكثر تعبيراً عن واقع الإنسان وواقع العالم من حوله، رافعين شعار " كلما زادت الدقة زاد الغموض أو المرونة". يتعامل المنطق المرّن مع نوع خاص من المجموعات. تعرف بالمجموعة الغامضة أو المرنة، والمجموعة الغامضة هي المجموعة التي تتيح لعناصرها درجات انتماء مختلفة، مع تدرج مستمر بين الصفر والواحد، على خلاف المجموعة العادية التي يمكن الحكم على كل

ولهذا يمكننا جعلها أكثر ذكاء إذا استطعنا جعل طريقة تفكيرها مرنة وأشبه بطريقة تفكير الإنسان، وجعلنا المفاهيم التي تفكر بها مرنة أي أن نعمل على نقل الوظائف الذهنية إلى الآلة الحاسبة، لأن الاعتماد على القواعد المنطقية والرياضية الصارمة وحدها لم يكن كافيا لبناء آلة مفكرة، بل لابد أن يدعم هذا بالاعتماد على المنطق المرن.

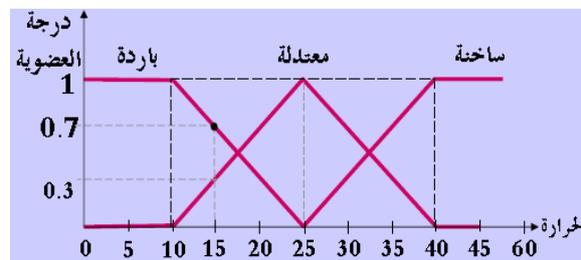
وهو ما أعاد إلى واجهة البحث ضرورة العودة إلى اللغة الطبيعية بعد أن تبين أن تفكيرنا ليس حسابيا رياضيا، بل إن تعاملنا بالأساليب الإنشائية والعبارات الغامضة التي لا يمكن الحكم عليها بالصدق أو الكذب يشغل حيزا أكبر من تعاملنا مع القضايا المنطقية، لأن القضايا الإنشائية هي القضايا الغالبة في اللغة الطبيعية والأكثر تداولاً في تواصل الإنسان مع أخيه الإنسان، ولهذا اتجه العديد من المناطق إلى العودة إلى اللغة الطبيعية في حد ذاتها وفهمها والتعامل بها، مثلما انتهى فتجنشتين (Wittgenstein) (١٩٥١-١٨٨٩) في كتاباته المتأخرة حيث خلص إلى أن "اللغة لعبة وليست حسابا منطقيا دقيقا يكون فيها لكل كلمة معنى محدد أو يعتمد في بناء جملها على قواعد المنطق، ذلك لأن مفرداتها فضفاضة مرنة لكل كلمة استخدامات عديدة بتعدد السياق، فلكل كلمة عدة معان، وليست اللغة كرجل صارم يعرف دائما ما يريد، ويفعل دائما طبقا لقاعدة محكمة، وإنما اللغة كرجل فضفاض متفائل له مناشط متعددة يتلاعب بما لديه من أدوات دون خطة محكمة" (زيدان، ١٩٨٥، صفحة ٦٠).

وهو موقف يقترب كثيرا مما انتهى إليه لظفي زادة الذي أشار إلى أن العقل لا يفكر بمنطق له حدود واضحة، وأن أغلب المفاهيم التي نستخدمها في لغتنا اليومية ليست دقيقة بما تعبر عنه، ولهذا فإن " استخدام المتغيرات اللغوية والخوارزميات الغامضة، يجعل هذا النهج يوفر لنا وسيلة تقريبية وفعالة لوصف سلوك الأنظمة المعقدة للغاية أو غير المحددة بدرجة كافية" (Zadeh, The birth and evolution of Fuzzy Logic, 1990, p. 96).

لهذا يمكن القول إن المنطق المرن بإمكانه أن يحل العديد من الإشكاليات التي ارتبطت بالذكاء الاصطناعي، ذلك لأن أهم

"باردة"، و"معتدلة"، و"ساخنة" مع ملاحظة أنه بالإمكان اختيار أكثر من ثلاث دالات.

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 صفر، وبذلك يكون الانتقال من مجموعة غامضة إلى أخرى انتقالا سلسا ومقبولا.



وهو ما يبين أن المنطق المرن أو الغائم استطاع أن يسلط الضوء على المساحة الرمادية من الحقيقة التي كان يتجاهلها المنطق الأرسطي ويلحقها إما بالأبيض أو الأسود، ولهذا فقد كشف عن ثراء الواقع وتنوعه، وهو ما جعله أقرب للتعبير عنه، كما كان أقرب إلى التعبير عن طريقة تفكير الإنسان التي تنشط ضمن المنطقة الرمادية، لاعتماده على المتغيرات اللغوية والخوارزميات الغامضة، الكميات الغامضة، المفاهيم الغامضة، ولهذا فهو يتمتع بقوة تعبيرية أكبر بكثير من الأنظمة المنطقية التقليدية.

لكن كيف يمكن الاستفادة من الغموض لازالة غموض اللغة الطبيعية وتجاوز مشكلات اللغة الرقمية وقصورها في التعبير عن معاني اللغة الطبيعية؟ وهل يمكن الاعتماد على الغموض لفهم الغموض؟ وكيف يمكن أن يسهم هذا في تطوير الذكاء الاصطناعي؟

٢-٣ المنطق المرن و تجاوز قصور اللغة الرمزية:

لقد تنامت مع تطور المنطق المرن وتطبيقاته المختلفة في مجال التكنولوجيا، فكرة أن الآلات الذكية بقيت في طور المحاكاة لأنها تعتمد على المنطق ثنائي القيم، وهو ما قيد طريقة تعاملها مع المعلومات، وحدد قدراتها الاستنتاجية،

في معهد كيوشو للتكنولوجيا لصناعة كمبيوتر يقوم على المنطق الغائم، و مثل هذا الكمبيوتر قد يصبح حقيقة واقعة خلال العقد المقبل، ومع ذلك يجب التأكيد على أن أجهزة الكمبيوتر الغامضة ستستخدم البرامج الغامضة لمعالجة المعلومات الغامضة، وهو ما يجعلها أقرب ما تكون إلى بنية الدماغ البشري من أجهزة الكمبيوتر الحالية التي تسير وفق المنطق البوليني (Zadeh, The birth and evolution of Fuzzy Logic, 1990, p. 100).

ذلك لأن "استخدام الحساب الضبابي يوفر لنا إطارا حسابيا لتمثيل المعاني في لغة طبيعية تحتوي على محددات غامضة، وتلعب هذه القدرة في المنطق الغامض دورا مهما بشكل خاص في التمثيل والاستنتاج من الحقائق والقواعد غير الدقيقة في النظم القائمة على المعرفة الغامضة (Zadeh, The birth and evolution of Fuzzy Logic, 1990, p. 101).

ولهذا يخلص لطفي زادة إلى أن المنطق المرن أو الغائم على الرغم من اعتماده على المتغيرات اللغوية التي هي أقل تحديدا من القيم العددية، إلا أنها في كثير من الحالات تكون محددة بما فيه الكفاية للغرض المطلوب، وكتوضيح بسيط للغاية، افترض أننا نود أن نوضح بعبارات تقريبية العلاقة بين متغيرين لغويين، العمر، والسن: العمر الذي يمكن أن يأخذ القيم بين الشباب، ومتوسطي العمر، وكبار السن، ولون الشعر الذي يمكن أن يأخذ القيم: أسود، رمادي، أبيض. يمكن التعبير عن هذه العلاقة كما يلي:

إذا كان الشخص صغيرا، يكون لون الشعر أسودا.
إذا كان الشخص في منتصف العمر، فإن لون الشعر يكون رماديا.

إذا كان الشخص متقدما في السن، يكون لون الشعر أبيضاً (Zadeh, The birth and evolution of Fuzzy Logic, 1990, p. 103) ، وهو ما يجعل " قواعد الاستدلال المنطقية الغامضة توفر طريقة مثلى لحساب الإجابات التقريبية للأسئلة من هذا النوع" (Zadeh, The

مشكلة كان يعاني منها هي أن الخوارزميات التي كانت تعتمد في الحواسيب تعتمد كلها على تحويل المعلومات وتحويل اللغة الطبيعية إلى لغة رمزية رياضية، وهو ما جعلها تسقط المعاني والدلالات وتفرغ القضايا من معانيها كشرط لازم للتعامل مع الرموز وعلاقتها، وهو ما جعل العبارات الرمزية تفتقد إلى المعاني، وقد شكل هذا نقطة ضعف حقيقية بالنسبة لتعامل الحواسيب مع النص المنطوق أو المكتوب، أو أثناء الترجمة التي تكون في غالبها حرفية تهمل المعنى والسياق.

ومن المعروف أن المعنى عامل ضروري في التعامل اللغوي البشري ولا يخضع للحوسبة، ولهذا كان المعنى تحديدا ما يميز التعبير الإنساني عن التعبير الآلي.

كيف يمكن للمنطق المرن أن يساهم في تقريب المعنى للآلة؟

إن تقريب المعنى للآلة يمكن الوصول إليه بنسب احتمالية، وذلك من خلال تعامل الآلة مع عدة معاني للفظ الواحد ومختلف استعمالاتها، وجعلها تتعامل مع كل هذه المعاني دفعة واحدة حتى تستطيع في النهاية أن تخرج بالمعنى الأقرب وتستطيع اتخاذ القرار الأصوب.

وفي هذا يقول لطفي زادة إنه : مع الزيادة السريعة في تعقيد مهام معالجة المعلومات التي يُطلب من أجهزة الكمبيوتر أداءها، فقد وصلنا إلى نقطة يتعين فيها تصميم أجهزة الكمبيوتر لمعالجة المعلومات في شكل غامض، ولهذا علينا التعامل مع المفاهيم الغامضة التي هي ما يميز الذكاء البشري عن الذكاء الآلي لأجهزة الكمبيوتر الحالية، و بدون هذه القدرة لا يمكننا بناء آلات يمكنها تلخيص النص المكتوب أو الترجمة الجيدة من لغة طبيعية إلى أخرى، أو القيام بالعديد من المهام الأخرى التي يمكن للبشر القيام بها بسهولة بسبب قدرتهم على التعامل مع المفاهيم الغامضة، ولهذا يجري حاليا تطوير أجهزة الكمبيوتر الغامضة، هذا المشروع الذي تم افتتاحه في عام ١٩٨٥ من خلال تصميم أول رقاقة منطقية غامضة من قبل Togai و Watanabe في " Bell Telephone Laboratories" ، كما تجري الأعمال بجد

كل هذه التطورات ساهمت في زيادة فهمنا للغة الطبيعية للإنسان، وساهمت في تغيير طريقة تعامل الحواسيب مع اللغة لتنتقل من اللغة المكتوبة إلى اللغة المنطوقة (أي استخدام اللغات البشرية الطبيعية ذاتها في التحوير مع الحاسوب) " ويقصد بكلمة اللغة الطبيعية هنا تلك اللغة التي تستخدم في الحياة اليومية بكل ما يكتنفها من خطأ ونقص وليس وحذف وتحوير ونبر وتنغيم وانفعالات " (علي، اللغة العربية والحاسوب، ١٩٨٨، صفحة ٠٥).

وقد بدأ العمل على هذه الاستراتيجيات ابتداء من الجيل الخامس للحواسيب الذي بدأ سنة ١٩٩٠ حيث كان هذا المشروع يهدف إلى " تطوير حاسوب لغوي في بنيته ونظمه وتطبيقاته، حاسوب ذكي قادر على التعامل اللغوي، تحليلاً وتركيباً، يميّز الكلام المنطوق ويولده، ويحلل النصوص ويؤلفها، منطوق ذي قدرة على توصيف المشاكل وحلها والتأكد من صحة المعطيات، واستخلاص النتائج والمقارنة بين بدائل القرارات واقتراح الحلول" (علي، اللغة العربية والحاسوب، ١٩٨٨، صفحة ٠٤).

فكان من نتيجة هذا أن تخلصت الآلة الذكية أو الحاسب من الآلية الميكانيكية في العمل، وتوجهت نحو التخلص من الوسائط بما في ذلك دور الإنسان في برمجته وتدخله الدائم من أجل تزويده بالمعلومات، والبرامج وغيرها. وبإمكان الأنظمة المرنة للمنطق المرن أن تزود الحواسيب والروبوتات بآليات التعلم الذاتي لكي تصبح مستقلة ليست بحاجة إلى تدخل الخبراء، لأن هذه الأنظمة تتمكن من تعديلها من الاستفادة من المعلومات التي لديها لكي تقوم بتعديلها وفرزها، كما تهدف هذه المشاريع أيضاً إلى العمل على جعل الحواسيب قادرة على فهم الأصوات والتمييز بينها، والتعلم الآلي للكلام، لتصبح الحواسيب بذلك قادرة على التعامل مع اللغة المنطوقة ومع الحرف المكتوب ومع النص بمستوياته المختلفة، أي تطوير قدرتها على تحويل النصوص المكتوبة إلى مقابلها الشفوي والعكس، وهو ما يعرف بالتوليد أو الفهم الآلي للغة الطبيعية، وهو ما يعتمد بالأساس على تطوير قدرتها على تحويل اللغة الطبيعية إلى لغة رمزية ثم ترجمتها

birth and evolution of Fuzzy Logic, 1990, p. 104.

ويجعل التحرك ممكناً في دائرة الممكن والمحتمل والقريب من الحقيقة، ومختلف الدرجات الرمادية، وهو ما قاد إلى ضرورة العودة إلى اللغة الطبيعية في البرمجيات، وهو ما يسعى إليه علماء الذكاء الاصطناعي من خلال البحث عن لغات برمجية أكثر اقتراباً من لغة الإنسان خاصة مع ظهور لغات برمجية ذات مستوى عالي، وهي لغات ذات طابع لغوي شبيه إلى حد كبير باللغات الطبيعية للإنسان، وقادرة على التعامل مع الرموز اللغوية مباشرة مثل لغة بيسك (Basic)، لغة باسكال (Pascal) لغة فورتران (Fortran)، لغة برولوج وهي لغة برمجة منطقية (Prolog) (Programming in Logic)، لغة ليسب (LISP) (List Processing Language) التي تعد من أهم لغات الذكاء الاصطناعي ساهم في وضع لبناتها الأولى جون ماركثي سنة ١٩٥٨، وهو ماساهم في تطوير التواصل بين الإنسان والحواسيب واستدعاء الملفات والبيانات وفرز المعلومات بطريقة سهلة وسريعة من خلال أوامر مباشرة مع الإقتصاد في الجهد والوقت، كما هو الحال في الحوار مع الآلة من خلال الأسئلة والأجوبة وكما هو الحال في النظم الخبيرة، وهو ما نلاحظه أيضاً في تطبيقات الهواتف الذكية وبصمة الصوت، وغيرها.

حيث أصبح التخاطب مع الآلة يتخطى طابع " التلقائي السلبي لمجموعة من التعليمات وتنفيذها، بل أصبح في جوهره علاقة إيجابية بين الإنسان والآلة لتبادل الايضاحات والوصول إلى الفهم المشترك، لقد صار لزاماً على النظام الآلي أن يستوعب محادثة البشري بأن يتكيف مع عاداته اللغوية، ولوازمه اللفظية، وهفواته النحوية، أخطائه الإملائية، بل على النظام الآلي أيضاً أن يفترض مسبقاً إمام مستخدمه بما تحويه قاعدة معلوماته من مصطلحات ومعطيات ومفاهيم" (علي، اللغة العربية والحاسوب، ١٩٨٨، صفحة ١٦٢).

العصبية الاصطناعية التي تهدف إلى نمذجة سلوك الشبكات العصبية البيولوجية، من أجل تطوير طريقة الحوسبة المتوازية للحواسيب، وتطوير قدراتها على المعالجة الضخمة للمعلومات التي تكون موزعة بين الخلية العصبية والعصبونات على التوازي لا على التوالي، "مستلهمين في ذلك طريقة العمل البيولوجية ومحاولة تطبيقها في التصميمات التكنولوجية" (واريك، ٢٠١٣، صفحة ١٢٢) والاستفادة من آلياته عمل الدماغ البشري والعمل على نقل " أنظمة المرنة الذكية تلك الأنظمة التي شبكتها العصبية الدماغية تجعل الأنظمة المرنة تتعلم من التجربة وتطور قواعدها الخاصة" (كوسكو، ٢٠١٤، صفحة ٣٠) ، وهو ما أكسبها قوة كبيرة في معالجة البيانات والمعلومات.

وقد ساهم اعتماد هذه الشبكات العصبية للحواسيب في "تطوير نظم تعمل بأسلوب التوازي حيث يمكن أن تنطلق عدة معالجات لتتعامل في آن واحد مع فقرات مختلفة من البرامج، ليقوم نظام التشغيل بالتنسيق بينها لضبط ايقاع تقدمها المتوازي بهدف تنفيذ مهمتها المشتركة في أقصر وقت ممكن، وقد أدى الأسلوب المتوازي إلى زيادة هائلة في سرعة تنفيذ البرامج علاوة على إمكانية تنفيذ تطبيقات معقدة" (علي، اللغة العربية والحاسوب، ١٩٨٨، صفحة ٩٧).

خاصة بعد ظهور الأنظمة العصبية الاصطناعية الغامضة وهي أنظمة تجمع بين الشبكات العصبية الاصطناعية والأنظمة المرنة الغائمة القائمة على المنطق المرن، والهدف من تضمين الغموض هو توسيع قدرة الشبكات العصبية على التعامل مع المعلومات الغامضة (F.Martin mcneill, 1994, p. 21) ومحاكاة العمليات العقلية التي يقوم بها الإنسان كالتفكير والتعلم الذاتي الذي يحدث في الدماغ واللغة وغيرها.

هذا التعلم الذاتي الذي بإمكانه جعل الآلة تقوم بفرز ما لديها من معلومات وتحديثها وتعديلها حسب المتغيرات الحاصلة في بيئتها، خاصة وأن المنطق المرن مثلما أشرنا سابقا يقبل التعامل مع الأشياء والظواهر التي تقع بين النهايات الحدية القطعية للمنطق ثنائي القيم.

مرة أخرى إلى مقابلها الطبيعي، وهو ما يمكّن في النهاية من تطوير عملية التواصل بين الإنسان والحواسيب، وبإمكان المنطق المرن أن يساهم في هذا مساهمة كبيرة بفضل مرونته وقيمته الاحتمالية، في فك تعقيد اللغة الطبيعية وهو ما سيمكّن الحاسوب من فهم اللغة المنطوقة بكل ما تحمله من غموض و ضبابية وهو ما سيساعد على إدراك أكبر لمعاني الكلمات والعبارات حسب موضعها وسياقها العام وليس ترجمتها الحرفية.

وكان من تطبيقات هذه الآليات ظهور روبوتات الدردشة، التي كانت تتم في البداية في شكل جلسات محادثة نصية بين الانسان والحاسوب، وقد عرّف هذا المجال تطورا متسارعا بدءا من اختبار تورينج الذي وضع لاختبار ذكاء الآلة إلى برنامج إيليزا (ELISA) الذي وضعه جوزيف ويزنباوم (Weizenbaum Joseph) حوالي العام ١٩٦٤ والذي كان يرمي من ورائه إلى تكوين القدرة في الحاسوب على محاكاة محادثة بالانجليزية مع متحدث بشري، وقد كان هذا البرنامج مصمما ليحمله يقوم بدور المعالج النفسي، الذي يباشر أول مقابلة مع المريض... " (أورو، ٢٠١٢، الصفحات ٤٠١-٤٠٥)، إلى السعي إلى المحادثة باللغة الطبيعية، وتطبيقها في مجالات عدة قيد الاختبار مثل الاعتماد على الروبوتات التي بإمكانها التفاعل مع أسئلة الطلبة في مجال التعليم.

٣-٣ المنطق المرن وظهور الشبكات العصبية الاصطناعية وأثرها في زيادة تطور الذكاء الاصطناعي:

بما أن الذكاء الاصطناعي الفائق لم يعد يهدف إلى محاكاة العمليات العقلية التي يقوم بها الإنسان فحسب، بل إلى القيام بها أيضا وبأساليب تحاكي ما يقوم به الإنسان، وبعد أن تبين أن العقل البشري يتمتع بقدرة مذهلة على معالجة وتحليل المعلومات الغامضة والتعامل معها، بحيث تعمل الخلايا العصبية بشكل متوازي متكامل ومنسجم، وبعد أن تبين أيضا أن الأساليب التي استخدمها علماء الذكاء الاصطناعي في البداية في معالجة المعلومات تختلف عن تلك التي يعتمدها الإنسان، اتجه علماء الذكاء الاصطناعي إلى تطوير الشبكات

ومضرة، لا أستطيع أن أفكر في أي مشكلة لا يمكن حلها بشكل أفضل من خلال المنطق العادي" (Zadeh, The birth and evolution of Fuzzy Logic, 1990, p. 98).

وفي مقابل هذا نجد العديد من العلماء الذين اقتنعوا بأهمية المنطق المرن وبإمكانياته الكبيرة على إحداث الكثير من التغييرات الهامة في مجال التكنولوجيا وفي مجال حياة الإنسان، ولعل أبرز مؤيدي هذا المنطق هم علماء اليابان الذين سارعوا منذ البداية إلى اعتماد هذه الأفكار وتطبيقها، ولعل أبرز مثال على ذلك هو إنشاء المختبر الدولي للهندسة المرنة الذي أصبح المركز الأول في العالم لبحث وتطوير المنطق المرن وتطبيقاته، ومعهد أنظمة المنطق المرن في معهد كويوشو للتكنولوجيا جنوب اليابان.

وعلى الرغم من أننا لسنا هنا بصدد الدفاع عن المنطق المرن لكن من واجبنا أيضا القول إن فاعلية المنطق المرن قد أعطت له الكثير من المشروعات التي أكدتها يوميا الإنجازات التكنولوجية الذكية في مختلف المجالات، يضاف إلى ذلك أن الاستدلالات المنطقية والرياضية الصارمة لم تستطع البرهنة على كل بديهياتها مثلما انتهى إلى هذا كورت غودل.

كما أن المنطق المرن لم يُقدّم على أساس أنه منطق بديل للمنطق ثنائي القيم وإنما منطق مساعد ينشط في المجال الاستدلالي حيث تكون المعلومات المتاحة لنا غير مكتملة وغامضة، وحيث لا يستطيع المنطق الصارم بثنائياته الصارمة إعطاء إجابات دقيقة، يصبح هنا اللجوء إلى الغموض والمنطق الغامض والعبارات الغامضة أكثر دقة في الوصول إلى الحلول الأكثر واقعية من العقلانية الصارمة في حد ذاتها، وهو ما يذكرها بمقولة آينشتين المشهورة "إذا كانت قضايا الرياضيات تشير إلى الواقع فهي ليست يقينية، وإذا كانت هذه القوانين يقينية فهي لا تشير إلى الواقع".

الخاتمة:

ومما سبق يمكن القول إن اتجاه المنطق والرياضيات المعاصرة، وكذا الذكاء الاصطناعي إلى المنطق المرن والعودة إلى الاعتماد على اللغة الطبيعية بما تحمله من

ولهذا ساهم التفاعل والتعاون بين المنطق المرن الذي يعتمد على المتغيرات اللغوية والشبكات العصبية الاصطناعية للحاسوب التي تحاكي الشبكات العصبية للدماغ في العمل على ردم الهوة بين ذكاء الإنسان وذكاء الآلة، بين العمليات الذهنية في الدماغ وإنتاج المعنى، وبين ما تقدمه الأنظمة المنطقية والرياضية الصارمة التي تقوم عليها تكنولوجيا الحواسيب.

وعلى الرغم من التطبيقات الناجحة للمنطق المرن في مجال التكنولوجيا مثل تطوير وتحسين عمل كاميرات الفيديو المرنة، وأنظمة التحكم المرنة في السيارات وفي الطائرات، المكنسة الكهربائية المرنة، آلة الغسيل المرنة، أنظمة التكيف المرنة، أنظمة التكنولوجيا المرنة التي تتحكم في ميترود الأنفاق في اليابان.... الخ، إلا أن هذه التطبيقات لم تشفع من الهجوم على المنطق الغائم من قبل العديد من الفلاسفة وعلماء الرياضيات الذين يؤمنون بالفكرة الديكارتية حول الوضوح والبساطة والداعين إلى ضرورة الاعتماد على الرياضيات الصارمة باعتبارها مثال للدقة والوضوح والشكل الأرقى للمعقولة، وهذا إما لأنهم مثلما يقول كوسكو (كوسكو، ٢٠١٤، صفحة ١٦) - قد تعودوا النظر إلى العالم على أنه إما أبيض أو أسود، أو لسهولة المنطق والرياضيات التي تعتمد على مبدأ عدم التناقض الذي بموجبه نحكم على الأشياء بقيمين فقط هما الصدق أو الكذب، مثلما ذهب إلى هذا رودولف كالمان (Rudolf Emil Kalman) (١٩٣٠-٢٠١٦) الذي اعتبر المنطق المرن نوع من التساهل العلمي، وعبّر عن رفضه لأي دور للمنطق المرن بقوله إن: "نظرية المرونة هي خاطئة ومدمرة، وما نحتاجه هو مزيد من التفكير المنطقي، وليس أقل منه، خطر المنطق المرن أنه سوف يشجع نوعا من التفكير غير الدقيق الذي جلب لنا الكثير من المتاعب، المنطق المرن هو أفيون العلم" (كوسكو، ٢٠١٤، صفحة ٠٩).

وهو ما ذهب إليه أيضا ويليام كاهان (William Kahan) (١٩٣٣)، أستاذ علوم الحاسوب والرياضيات الذي انتقد المنطق المرن بقوله: "النظرية الغامضة خاطئة

وهو الإشكال الذي دفع بعض العلماء إلى القول بأننا لا يمكن أن نصل بذكاء الحواسيب إلى مستوى ذكاء الإنسان، مثلما ذهب إلى هذا لوكاس الذي أكد على " أنه لا يمكن الحصول على الذكاء الإنساني بواسطة الحاسوب: أيا كان تعقيد الآلة التي ننشئها - فهي خاضعة لأسلوب جودل في إيجاد صيغة غير قابلة للبرهان في هذا النظام وسوف تكون الآلة في هذه الصيغة غير قادرة على إنتاج ما يمكن أن يكون حقيقيا رغم أن العقل يمكنه أن يرى ذلك صحيحا، ولهذا: سوف تبقى الآلة نموذجا غير كاف للعقل" (دافيز، ٢٠١٣، صفحة ١١٦).

وبالإضافة إلى ما جاء به كورت غودل أثبت آلان تورينج أيضا (Alan Mathison Turing) (١٩١٢-١٩٥٤) عدم القابلية للبت الخوارزمية، والتي معناها أنه لا وجود لأي إجراء " عملي ميكانيكي ينتهي بعد عدد من الخطوات المحدودة إلى الإجابة عن السؤال المعبر عن المشكلة بنعم أو بلا، وفي الحالة التي لا توجد فيها مثل هذه الخوارزمية فالمشكلة تكون غير قابلة للبت، ومن بين الأمثلة المشهورة على مشكلة عدم القابلية للبت نذكر عدم قابلية مشكلة التوقف للبت، وقد برهن على ذلك تورينج سنة ١٩٣٦ بقوله: " لا وجود لخوارزمية تسمح بالبت، إذا كانت آلة تورينج ووضعيتها الأولية هل حسابها يتوقف أم لا؟" (موساوي، ٢٠١٨، صفحة ١٤٩)، فأثبت بذلك أن مشكلة التوقف هي مشكلة غير قابلة للبت موضحا أنه " من المستحيل أن تعرف بشكل عام فيما إذا كانت آلة تورينج ستأخذ زمنا لانهايا لحساب عملية ما، فهذا يعني أن ما تسأل الحاسوب أن يحسبه غير قابل للحساب، وبالتالي برهن تورينج أن هناك مقولات صادقة في الرياضيات غير قابلة للحوسبة، أي أنها ستبقى للأبد فوق قدرة الحاسبات مهما بلغت قوتها" (كاكو، ٢٠١٣، صفحة ١٣١).

وهو ما يوضح لنا أن طريق البحث مازال في بدايته من أجل تطوير الذكاء الاصطناعي، ذلك لأننا مازلنا بعيدين عن مستوى أداء الإنسان العقلي وقدرته الفائقة على الإبداع والابتكار مهما بلغت درجة المشابهة والمحاكاة والعمل على نسخ الدماغ وآليات عمله من خلال الحواسيب، ومهما بلغ

غموض، جاء بعد أن تبين لهم محدودية الاعتماد على الدقة المنطقية والرياضية الصارمة وحدها في فهم الواقع وظواهره المعقدة، ووجود فجوة كبيرة بين الدقة العالية التي تقوم على الرمزية الرياضية والمنطقية ومتغيرات الواقع التي لا تعبر عنها صيغ المنطق الرمزي، ولهذا ظهرت نظم المنطق المرن لتتجاوز المنطق الحاسوبي البوليني الذي ينطلق من تشخيص الظاهرة والحكم عليها إما بالصدق أو الكذب.

خاصة بعد أن تبين لعلماء الرياضيات الذين يبحثون عن الدقة والوضوح واللغة الرمزية أنه لا يمكن البرهنة على أن بديهياتهم لا تقود إلى التناقض وأنها كلها مبرهنة، وبالتالي لا يمكن إقامة الرياضيات على نسق من البديهيات الواضحة والمبرهنة، وهو الحلم الذي راود بعض المناطق وعلماء الرياضيات مثل دافيد هيلبرت (David Hilbert) (١٨٨٢-١٩٤٣)، وبرتراند رسل " حول إمكانية وجود بنائات أكسيوماتيكية في المستقبل تسمح باستنباط كل المبرهنات، بالنسبة إلى كل العلوم الدقيقة، بواسطة البرهنة الصورية انطلاقا من عدد محدود ونهائي من اللامبرهنات، وعدد نهائي من خطوات الاستدلال " (موساوي، ٢٠١٨، صفحة ١٤٢).

ولهذا فقد فشل مشروع دافيد هيلبرت في إقامة الرياضيات على شبكة من الحقائق الرياضية القائمة على البديهيات، خاصة بعد أن أثبت تلميذه كورت غودل (Kurt Gödel) (١٩٠٦-١٩٧٨) خاصية مبدأ عدم الاكتمال للنسق الرياضي وأن كل نظام صوري يتضمن قضايا تكون صادقة ولكنها غير قابلة للبرهنة، أي غير قابلة للإثبات أو البت الذي معناه إمكانية الحكم على صدقها أو كذبها داخل هذا النسق" لقد أثبت جودل باكتشافه مبدأ عدم الاكتمال لا نهائية الإشكال الرياضي، بمعنى أنه ما أن نقيم نظرية رياضية جديدة لحل إشكالية قائمة، إلا وتنتج عن هذه النظرية ذاتها إشكاليات رياضية جديدة، وهكذا دواليك" (علي، الثقافة العربية وعصر المعلومات، رؤية لمستقبل الخطاب الثقافي العربي، ٢٠٠١، صفحة ٢١٨).

وهو ما يدفعنا إلى التساؤل هل كل الخوارزميات الحاسوبية هي بدورها قابلة للبت والبرهنة؟.

- تطور أنساقنا المنطقية الصارمة منها والمرنة، لأن هناك مجالات كثيرة في العقل الإنساني لم يستطع إلى الآن لا المنطق ولا الرياضيات أن يكشف عن كوامنها.
- المصادر والمراجع:
١. السيد، السيد نصر. الحقيقة الرمادية. دط. القاهرة: الهيئة المصرية العامة للكتاب، 1997.
 ٢. النور، أحمد أنور أبو. المنطق الطبيعي، دراسة في نظرية الاستنباط الأساسية. ط. 1. القاهرة: دار الثقافة للنشر والتوزيع، 1993.
 ٣. أورو، سيلفان. فلسفة اللغة. ط. 1. بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، 2012.
 ٤. برتراند رسل مقدمة كتاب فتجنشتين. رسالة منطقية فلسفية. دط. ترجمة عزمي إسلام مراجعة زكي نجيب محمود. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٦٨.
 ٥. دافيز، بول. الله والفيزياء الحديثة. ط. 1. سوريا: صفحات للنشر والتوزيع، 2013.
 ٦. علي، نبيل. الثقافة العربية وعصر المعلومات، رؤية لمستقبل الخطاب الثقافي العربي. الكويت: سلسلة عالم المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، 2001.
 ٧. فرغلي، علي. «الذكاء الاصطناعي ومعالجة اللغات الطبيعية» (عالم الفكر) n° 03، أكتوبر: (1987).
 ٨. كاكو، ميشيو. فيزياء المستحيل. الكويت: سلسلة عالم المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، 2013.
 ٩. كوسكو، بارت. التفكير المرن. ط. 1. سوريا: منشورات علاء الدين، 2014.
 ١٠. كيرزويل، راي. عصر الآلات الروحانية، عندما تتخطى الكمبيوترات الذكاء البشري. ط. 1 ترجمة عزت عامر. الإمارات العربية: كلمة وكلمات، 2009.
 ١١. أحمد فؤاد كامل، مقدمة كتاب. ليبنتز، أبحاث جديدة في الفهم البشري. دط. ترجمة أحمد فؤاد كامل. القاهرة: دار الثقافة للنشر والتوزيع، 1983.
 ١٢. ماكليش، جون. العدد من الحضارات القديمة إلى عصر الكمبيوتر. ترجمة خضر الأحمد، موفق دعبول، مراجعة
- عطية عاشور. الكويت: سلسلة عالم الفكر، المجلس العلمي للثقافة والفنون والآداب، 1999.
١٣. محمود فهمي زيدان. في فلسفة اللغة. دط. بيروت: دار النهضة العربية للطباعة والنشر، ١٩٨٥.
١٤. محمود، زكي نجيب. المنطق الوضعي. ط. ٤. ج. 1. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، 1965.
١٥. موساوي، أحمد. ما حول المنطق. ط. 1. الجزائر: دار هومة للطباعة، 2018.
١٦. نبيل علي. اللغة العربية والحاسوب. دط. تعريب للنشر، ١٩٨٨.
١٧. واريك، كيفن. أساسيات الذكاء الاصطناعي. ط. 1. القاهرة: الهيئة المصرية العامة للكتاب، 2013.
18. Boole, George. the Mathematical Analysis of logic(Being an Essay Towards a Calculus of Deductive Reasoning. New York: Cmbridge Uuniversity, 1847.
19. F.Martin mceill, Ellen Thro. Fuzzy Logic A Practical Approach. New York, London, : Ap Professional, 1994.
20. Itmazi, Jamil Ahmed. Fundamentals of Computers and Programming, An Arabic Textbook. phillips Publshing, 2017.
21. Kneale, William. «Boole and the Revival of Logic.» The Journal of Symbolic Logic (Oxford University Press on behalf of the Mind Association) vol 57, n° 226 (april 1948).
22. Zadeh, Lotfi. «Fuzzy Sets, Information and Control.» vol 8, n° 3 (1965).
23. Zadeh, Lotfi. «The birth and evolution of Fuzzy Logic.» International Journal of General Systems vol17, n° 2-3 (1990)