الهندسة اللسانيّة بين اللسانيات العصبيّة والجينوم البشريّ.
كيف تصمم الخوارزميّات اللغويّة الحاسوبيّة؟ (الهندسة العكسيّة)

Linguistic engineering between Neuro-Linguistics and the Human Genome How to build computer linguistic algorithms? (Reverse Engineering)

أ. شاوش عبد القادر‡

المشرفة: أ. د. فتيحة حداد§

تاريخ الاستلام: 2020.06.21 تاريخ القبــول: 2020.11.14

ملخّص: منذ خلق الإنسان، سُخِّرت له مجموعة من الآليات المعرفيّة (العقل، العلم الكون)، وانطلاقا من سؤال الوجود، وصولا إلى الثّورة الرّابعة للتكنولوجيا الحديثة، مرّ الإنسان في تطوره الفكري المعرفيّ بعقود من التّجارب، أسهمت بشكل عميق، في بناء كيانه الحديث، من فضوله لاكتشاف ذاته وحدودها المعرفيّة، تراكمت معارف شتى أنتجت حضارة الإنسان الرّقمي المعاصر وتخطى بذلك العمليّة التّواصليّة الكلاسيكيّة (إنسان وإنسان) إلى عمليّة تواصليّة أكثر تعقيد، تعتمد لغة الأرقام (0. 1) (أنسان وآلة)، منذ اختراع الحاسوب وظهور الثّورات بداية بالثّورة الصّناعيّة ثم تلتها ثورة الكهرباء ثم الثّورة الثّالثّة التي اختصت بالإلكترونيات وصولا إلى الثّورة التّكنولوجيّة الرّابعة، التي امتزجت فيها الثّورات السّابقة وفاضت المعارف، فنقلت الإنسان إلى مرحلة أخرى ،هي مرحلة هندسة تراكماته المعرفيّة(ما كان) والرّبط بين هذه المعارف(أنترنت الأشياء) وطريقة نقل هذه المعرفة إلى هذا الجهاز العجيب(ما سيكون)، الذي يقارب في تعقيده

‡جامعة مولود معمري، تيزي-وزّو، الجزائر، البريد الإلكتروني: Kadi84@yahoo.com (المؤلّف المرسل).

§ جامعة مولود معمري، تيزي-وزّو، الجزائر، البريد الإلكتروني:bleu001dz@yahoo.fr.

عمل الدّماغ البشري في ظل الثّورة المعلوماتيّة الرّابعة، ما جعل الإنسان يبحث سبل تطويع هذه الالة الحديثة، تمهيدا لإدارتها وهندستها وتفريعها، اقتداء بما جاد به علم الوراثة في اكتشافه الجينات المركبة للإنسان البشري، التي تنقل تريليونات من المعلومات، التي يحملها من أجياله السّابقة، وينقلها بدوره للأجيال اللاحقة. باستقراء هذه المسيرة المعرفيّة الهائلة للإنسان الحديث، نجد أنّ انطلاقتها كانت من سؤال الوجود (من، متى، كيف، لماذا..) الذي أنتج معرفة تطورت عبر الزّمن وتفرعت لتأسس مناهجها الخاصّة، بشكل أو بآخر هي محاولة الإنسان تحدي وإثبات لذاته، فقاعدة المعرفة ولبها سؤال فلسفي، عميق في لغته الجوهريّة التي هي من مكوناته الأساسيّة وجزء من مركباته المعقدة.

كلمات مفتاحيّة: الهندسة اللسانيّة، الثّورة التّكنولوجيّة الرّابعة، النّظام الوراثي الجينات، الهندسة العصبيّة، الذّكاء الصّناعي، الخوارزميات الجينيّة...

Abstract: From the creation of man, a set of cognitive mechanisms (mind, science, universe) has been licensed to him and from the question of existence to the fourth revolution of modern technology, man has gone through his intellectual and cognitive development with decades of experiments, which have contributed profoundly to the construction of His modernity, from his curiosity to discover himself and its cognitive limits accumulated various knowledge, produced the civilization of modern digital man and thus went beyond the classical communication process (human and human) to a more complex communication process, adopting the language of numbers (0.1) (human and machine) .since the invention of the computer and the emergence of revolutions beginning With the industrial revolution followed by the electricity revolution and then the third

revolution that specialized in electronics to the fourth technological revolution, in which the previous revolutions were mixed and knowledge overflowed, moved man to another stage is the stage of engineering his accumulations of knowledge (what was) and the connection between this knowledge (Internet of things) and the way of transferring this knowledge to this wonderful device (what will be), which is close in complexity the work of the human brain under the fourth information revolution which made man look ways to adapt this knowledge (internet of things) and the way to transfer this knowledge to this wonderful device (what will be), which is close in complexity of the work of the human brain under the fourth revolution, which made man look ways to adapt this knowledge (Internet of things) and the way to transfer this knowledge to this wonderful device (what will be), which is close in complexity to the work of the human brain under the fourth revolution, which made man look ways to adapt this knowledge (Internet of things) and the way of transferring this knowledge to this wonderful device (what will be), which is close in complexity of the work of the human brain under the fourth revolution, which made man look at ways to adapt this knowledge (Internet of things) and the way of transferring this knowledge to this amazing device (what will be), which is close to the complexity of the work of the human brain under the fourth revolution, which made man look at ways to adapt this knowledge (Internet of Engineered and branched out, genetics followed the

discovery of human-human composite genes, which transmit trillions of information, which it carries from previous generations and in turn transmits it to later generations. By extrapolating this enormous cognitive process of modern man, it was the beginning of the question of existence (from, when, how, why..) that produced knowledge that evolved over time and branched out into the foundation of its own approaches, in one form or another is a man's attempt to challenge and prove himself, the base of knowledge has a philosophical question, deep in its essential language, which is one of its essential components, and part of its complex complexity.

Keywords: Linguistic engineering, fourth technological revolution, genetic system, genetics, neural engineering, artificial intelligence, genetic algorithms....

1- المقدّمة: عصرنا هذا عصر المعرفة وانفجارها، الذي أسهم أكثر في انتشارها سرعة التّطور التّقني والتّكنولوجي الذي تخطى حدود الحيز المكاني، وبلغ درجة أصبح يدير أعمالنّا بنتائجه وتطبيقاته. لذلك فمن الضّروري أن نهتم ببناء التّكنولوجيا اللغويّة في أجيالها المتقدّمة لأسباب كثيرة، من أهمّها: تصميم المعارف الرّقميّة اللغويّة بأنواعها وتسهيل الوصول إليها، لتيسير عمليّة التّواصل المعرفي، والبناء العلمي للمعارف والنّظريات اللغويّة؛ بين المشتغلين بالعربيّة وعمليّة الرّقمنة، جعلت هذه الثّورة الأمم أنضج معرفيا وأكثر تعلماً وتأثيراً فأصبحت المعلومة قوة بيئيّة وسياسيّة وعلميّة واجتماعيّة؛ تؤدي إلى ما يسمى بهيمنة اللغة المنتجة لهذه المعرفة والمعلومة، فمن يفرض لغته يفرض واقعه فهي تجعل التّواصل ممكناً، وتسهل حوار الحضارات والتّقاءها، في ظل التّقارب وزوال حاجز المكان. اللسان هو الشّكل الذي يعبّر به مجتمع ما تعبيراً اجتماعياً وثقافياً ودينياً، يعكس رؤيّة الإنسان لعالمه ويُجسّم هويته وقيمته

ورؤيته للوجود والواقع الذي هو فيه، والآخر الذي يختلف عنه، فالالسّن، وإن تعددت في تفكيرها وتعبيرها وقيمها، كالعربيّة والإنكليزيّة والفرنسيّة واللاتينيّة وغيرها، فإنّها تغذي الثّراء المعرفي واللغوي والفكري للبشريّة؛ لأنّهاَ تصنع الفكر الذي يحدد مسار الإنسانيّة. هذا التّطور الهائل والسّريع أصبح يلح على العلم كوسيلة منهجيّة لارتقائه في الوجود يقول: أينشتاين: "العلم هو التّفكير المنهجي الذي نوجهه نحو اكتشاف الارتباطات التي تنتظم وفقاً لها مختلف تجاربنا الحسيّة".[1] لا ينتظر من العلم أن يقول شيئاً فيما وراء الظّواهر من حقيقة وطبيعة الأشياء النّهائيّة، يقول الفيلسوف هربرت سبنسر (Herbert Spencer): "عندما نحلل المادة لا نجد شيئاً في النّهاية سوى القوة ومن سيخبرنا ما هي القوة؟ وفي التّحول من العلوم الطّبيعيّة إلى العلوم الإنسانيّة نأتي إلى العقل كرابط هنا نصادف ألغازاً أشد تعقيداً من سابقتها، عندئذ تكون الآراء العلميّة النّهائيّة تقديماً لحقائق لا يمكن إدراكها.. فإنّ البحث العلمي في جميع الاتجاهات ينتهي في مواجهة ألغاز وأحاجي لا يمكن حلها، فالعلم يعرف بسرعة مدى عظمة وتفاهة العقل الإنساني"[2].

إذا اعتبرنا: أنّ اللّغة كائن بيولوجي حي؛ وما هو معلوم أنّ الأجساد الحيّة تتشكّل بجيناتها في أصغر وحداتها التّركيبيّة –الخليّة–؛ فالجينات لها فعل حتمي مسؤول عن توريث الأبناء والأحفاد صفات الآباء والأجداد. فهي عمليّة أشبه بعمليّة النّسخ واللصق في الكمبيوتر اليوم، فالجينات تحتوي على معلومات معينة، على أساسها تُبنى وتتكون الأعضاء الجسديّة الحية، كما أنّ المعلومات الكامنة فيها تحدِّدُ سلوك الفرد البيولوجي وكذلك أفكاره. من هنا تعتبر اللغة جسد بيولوجي حي[3]، وبما أنّ الكائنات البيولوجيّة تتكوَّن على ضوء جيناتها الحاويّة على معلومات معينة، فكذلك اللغة تتشكّل على ضوء جيناتها اللغويّة الحاويّة على رموز ومفاهيم معينة نتوارثها من جيل إلى آخر. وعلى هذا الأساس، تكون اللغة عبارة عن معلومات متوارثة في تركيبها وقواعدها. لذلك نعتبر أنّ اللغة مجموعة معلومات تحفظها الجينات اللغويّة وتنقلها من فرد إلى آخر؛ فهي نظام معلوماتي شبيه بالأنترنت.

اكتشف العلم الحديث، أنّ خصائص الإنسان تنتقل بالتّزاوج من جيل إلى جيل، عبر الوراثة، وهذا العلم يترادف بين العرق والوراثة. ومعنى العرق: في اللغة "أصل كلّ شيء"[4] وما يقوم عليه الحديث أنّ هناك خصائص ماديّة وفيزيائيّة معيّنة تنتقل بالنّسب من الأصل وتدخل إلى الفرع. إذا كانت الوراثة هي انتقال الخصائص الفيزيولوجيّة إلى الذّرّيّة، فهل يعني هذا انتقال باقي الخصائص غير الفيزيولوجيّة كالخصائص الذّهنيّة والصّفات النّفسيّة واللغويّة... إلخ؟ نحن هنا لا نتساءل من أجل الإجابة على هذا السّؤال بل نروم كشف هذه الآليّة، وكيف استفادت منها العلوم الحديثة؛ أي كيف استغل الإنسان هندسته الرّبانيّة المتناهيّة في الدّقة والإبداع، لينشئ بيئه أخرى مشابهة لها (الذّكاء الصّناعي)، هذا ما تحاول كشفه لنا مختلف معارفه من العلوم الحديثة كالهندسة الجينيّة وهندسة الدّماغ وهندسة الكمبيوتر وصولا إلى هندسة اللغة، التي بدورها تخطت الاختصاص وشملت مختلف الميادين. الإنسان بقدر ما يحاول تأسيس هندسة عكسيّة لما كان ويحاول بناء ما سيكون، بقدر ما يبحث في طريقة تيسيره لبناء نظم لغويّة حاسوبيّة بعمليّة بحث وتطوير متوازيّة، انطلاقا من هنا نطرح السّؤال التّالي: ما الهندسة اللسانيّة؟ كيف استفادت من العلوم الحيّة–علم الأعصاب وعلم الوراثة–الحديثين؟ كيف تُطوع وتبلور الخوارزميات اللسانيّة الحاسوبيّة؟ وكيف استفاد: الحاسوب واللسانيات من مختلف العلوم التّجريبيّة والعلميّة؟ وهذا ما سنحاول الإجابة عليه في هذا المقال العلمي.

2- المقصود بالهندسة اللسانيّة: الهندسة اللسانيّة أو الهندسة اللغويّة: هي علم يجمع بين مجموعة من العلوم (علم اللسانيات، الحاسوب، علوم الأعصاب، الرّياضيات الفيزياء الفلسفة ...)هو علم صوري/ خوارزمي[5] مكن من إثراء وتغذيّة حقول ومجالات معرفيّة كثيرة كما عرفها مازن الوعر : "إنّها العلم الذي يبحث في طبيعة اللغة البشريّة كأداة طيعة لمعالجتها في الآلة–الحاسوب–وتتألف من اللسانيات بجميع فروعها ومستوياتها التّحليليّة ...ومن علم الحاسوب وعلم الذّكاء الصّناعي وعلم المنطق وعلم الرّياضيات ..."[6].

فلفظ " الهندسة " يأخذ الذّهن البشري إلى عدة اتجاهات و زوايا فهو للإنسان العادي مبهم صعب وللمتخصص نظام وطريق ومنهج ؛ فهو لفظ متجذر مشترك بين عدة

علوم فمن بساطتها(اللفظة) قديما انتقالا إلى ما تعنيه حديثا في فحواها تقتضي وجود نظام، لأنّ كل نظام يبنى على هندسة معينة ، مدركة أو مغيبة، من الدّقيق في الذّرة وصولا إلى المعقد في الكون، دخولا لمفاصل كل شيء، ندرك أنّ حتى الأفكار سواء كانت متسلسلة أم متقطعة تعبر في ذاتها عن نظام مهندس يؤسّس لطرح جديد ومفهوم مغاير، يكشف لنا حقيقة وطبيعة المبهم المجهول الذي يواجه الإنسان في حياته.

لسنا هنا لغرض مناقشة مسالة الهندسة ونقلها من بساطتها إلى تعقيدها بل نحن هنا نبني طرح الهندسة في الجانب اللغوي بحكم أنّها نظام يبنى على عدة أنظمة متوازيّة ومترابطة تعمل بشكل تلقائي عفوي، إذا كان الإنسان كياناً مبنياً من عدة نُظم تعمل بوعي منه أو بدون وعي، من ابسط شيء فيه نأخذ مثالاً لشرح المعقد فيه أخذا بالقاعدة المنطقيّة التي تقول من الجزء يتكون الكل ومن الكل يبنى الجزء. نأخذ أصغر مكون فيه والذي هو الخليّة، التي من مكوناتها النّواة وهي أيضا نظام هندسي رائع مبني على الجينات فهي كتاب مفتوح مبني برموز تحتاج من الإنسان دهورا لقراءتها دون كشف غموضها ونحن هنا نحاول كشف سبل ذلك لنبين منهج تأسيس وبناء هذا النّظام، والذي بدوره يؤسّس لأنظمة أخرى من بينها اللغة التي حبا الله بها الإنسان.

فما هو معلوم في علم البيولوجيا والذي علم الوراثة فرع منه، أنّ هذه الجينات مسؤولة عن أعمال تؤديها في نظم جسم الإنسان المختلفة وإذا حذفنا جزء منها يؤدي حتما إلى تغير في بُناها وتركيبها وربما تعطيلها عن العمل المكلفة به. فالجزء يبني الكل والكل من أجل الجزء ليرسم صورة متكاملة لكل شيء فيه، وكمثال آخر ابسط نأخذ المعمار في هندسة البناء من تخطيط إلى تجسيد، يكون فكرة. ومن مُكوِن إلى مُجسد يُبنى على أجزاء، كذلك اللغة الإنسانيّة من الصّوت إلى الخطاب تكون فكرة ومن حرف إلى جملة تبنى ذاتها في نص يتوالدّ من قارئ إلى قارئ فتكون في شكل أخر، فاللغة تأخذ شكل الماء الذي يكتسب طبيعة ورسم الأشياء التي تحتويه، وأدمغة البشر هي قوالب هذه اللغة فمن قالب إلى آخر، تتغير الرّسالة وتحتك بموروثات وطبائع وبيئات أخرى، لتنتج نفسها في شكل جديد بطبيعة مغايرة تتعايش مع الوضع الرّاهن لها وتنمو وتتطور فيه.

والهندسة اللسانيّة هي تّأسيس لنظم اللغة في بيئة صوريّة متباينة ومتكاملة في ذاتها وفي غيرها، ونقصد بذاتها مكونات نظمها الذّاتيّة (الحرف –المفردة–الجملة) والتي بدورها تسير وفق نظم أخرى تحدد مسارها في البيئة التّواصليّة(داخليّة وخارجيّة) تحتكم إلى موازين وقواعد ونظم تخص الجانب الطّبيعي (الجسم) والجانب الاصطناعي النّاتج عنها (الصّوت والتّركيب والمعجم والدّلالة والتّداول والتي بدورها خاضعة لنظم أخرى (الموروث الاجتماعي، والبيئي ....).

3– مفهوم الهندسة العكسيّة: هي:" آليّة تعنى باكتشاف المبادئ التّقنيّة لآلة أو نظام من خلال تحليل بنيته، ووظيفته وطريقة عمله. غالبا ما تتم هذه العمليّة بتحليل نظام ما إلى أجزاء أو محاولة إعادة تصنيع نظام مشابه له يقوم بنفس الوظيفة التي يقوم بها النّظام الأصلي".[7]

تعتبر فرعاً من هندسة البرامج والنّظم، وتتمثل في مجموع التّقنيات والأدوات المستعملة للانطلاق من برنامج قيد العمل والوصول إلى نموذج أو مخطّط يسمح بفهم التّركيب التّكويني للبرنامج والتّصرف في طريقة عمله[8].

الهدف الأساسي منها هو فهم النّظام في الجانب التّكويني وكيفيّة عمله وذلك ما يسهّل على المبرمجين عمليّة التّطوير والصّيانة وإعادة استعمال بعض الأجزاء في برامج جديدة.

الهندسة العكسيّة استخدمت في الصّناعات قديمًا وحتى الصّناعات الإلكترونيّة لها بعض الدّوافع مثل فقدان الكتيب المتعلق بطريقة تشغيل النّظام أو إنشاء نسخ مفتوحة أو دراسة النّظام لتحسينه.

واستخدامها في هذا الجانب يكون في تحليل النّظم التي ليس لها كود (شفرة) مصدري source code من أجل اكتشاف الثّغرات فيه، وإصلاح مشاكله، أو تحسين أدائه أو بهدف جعل النّظام متوافقاً مع معالج غير الذي كتب من أجله، يقوم عملها في مجال البرمجة الحاسوبيّة في تحويله، إلى لغة الآلة machine language وهي اللغة التي يفهما ويتواصل بها الحاسوب لغة (0. 1)، بعدها يمكن تحليل وفهم النّظام أو البرنامج بشكل دقيق. [9]

4- الخوارزميات الجينيّة من لغة الخلايا إلى الهندسة البرمجيّة الآليّة للغة (الهندسة العكسيّة لما كان وما سيكون):

بنفس مبدأ العمل السّابق، نسخ الإنسان هذه الآليّة الرّبانيّة المدهشة الموجودة في جسده (عمل الخلايا) للاستفادة منها في خلق خوارزميات رياضيّة مشابهة في آدائها لما هو موجود فيه فمثلا:

تشكل عمليّة الانتقاء الطّبيعي[10] في الخلايا التي تعتبر مصدر الإلهام لما يسمى حديثا "الخوارزميات الوراثيّة في طريقة نمذجة ومحاكاة الظّواهر الإنسانيّة في المجال الحاسوبي، " تعرّف هذه الخوارزميات بأنها تقنيات تحسين مرنة، تستطيع العثور على الحل الأمثل لأي مسألة من خلال عمليات الانتقاء والتّوالدّ المتعاقبة لأفضل الأجيال من الحلول[11].

ظاهريا نجد أنّ مبدأ عمل الخوارزميات الجينيّة بسيط جداً من خلال هذا المفهوم يمكن تلخيصه كما يلي:

1- إعطاء المسألة رموزاً بالشّكل المناسب والأمثل لها.

2- الاشتقاق العشوائي لعمليّة الجمع البدائيّة المؤلفة من مجموعة من الكروموزومات[12] التي تتكون هي الأخرى من مجموعة من الجينات، وكل كروموزوم فيها هو عبارة عن جمع جيني يكون عبارة عن حل.

3- حساب قيمة الصّلاحيّة لكل كروموزوم (حل) الموجود في التّجميع. الذي يعتمد أسلوب تقييم نجاعة كل حل في الجيل، بمقدار كونه بعيد عن الحل المثالي الذي نبحث عنه.

4- اختيار الكروموزومات التي تخضع لعمليّة التّصالب، لاشتقاق ونسخ الجيل الجديد، وهذا الاختيار يرتكز على هذه العمليّة، بشكل أساسي يركز على مدى صلاحيّة الحل في الانتقال للجيل الثّاني والتي يقوم بدورها بتحديدها تابع الصّلاحيّة.

5- تتبع عمليّة الاختيار، عمليتي التّصالب والطّفرة.

6- ومن ثم نرجع للبدء من الخطوة الثّالثّة وهكذا.[13]

في ظل التّعقيدات المعرفيّة الحديثة أصبحت النّمذجة الآليّة في ظل الحوسبة الكلاسيكيّة صعبة التّجسيد للخصائص الإنسانيّة في الحاسوب، خاصّة منها العمليات العقليّة كالتّفكير والوعي وحوسبة اللغة وميكانيكيّة عملها هذا ما جعل الإنسان يسلك طرقاً وسبلاً أخرى اعتمد فيها على هندسة جسمه فقام بوصف نظامها ثم توصيفها وذلك لتتشابه النّظم في طريقة عملها في هذا الكون المؤسّس لها في هندسة، تتمشّى بالتّوازي والتّقابل معه في طريقة عملها من الذّرة إلى الخليّة فكل نظام له مهامه المنوطة به يقوم بها دون تخاذل أو كسل في شكل هندسي متناه في الدّقة، اعتبر كوسيلة المعرفة الحقيقيّة، فهي نظام مهندس من نواة وصولا إلى شكله الجمالي من حرفه إلى لفظه إلى نصّه إلى معناه، في شكل متناسق مبني في شكل ممزوج بين المادة والحياة الإنسانيّة الذي يعبر عن جوهرها، ممزوج بمعارفهـــــا ومداركها، من جين يحمل تاريخ أجيال وصولا إلى الكيوبيت(Qubit)[14] في الثّورة التّكنولوجيّة الرّابعة[15]، في واقع مقولب ومنمذج يبني الحضارة في صورتها الرّاقيّة، وكانت اللغة على رأس هرم العلوم المعرفيّة وستبقى ما بقي سؤال الوجود، فتشكل هذه اللغة من تشكل منظومة المعرفة ككل. للوصول إلى العمق الإنساني وجب الغوص في صغائر أموره –أصغر مكون فيه الخليّة–لذلك وجدت الهندسة الجينيّة (Genetic Algorithms) حديثا لاكتشاف طريقة عملها وتركيبها وتحديد عددها، وموضعها، بدقة في الخليّة لغرض معرفة العلاقة التّركيبيّة والوظيفيّة وإمكانيّة السّيطرة على نظامها لإزالة العيب –أي الخلل في الجين المرضي– .[16] استغل الإنسان هذا النّظام الهندسي الفريد من نوعه لإسقاطه في بيئة صناعيّة منتجة (برامج الذّكاء الصّناعي).

فالشّفرات الوراثيّة (Genetic Codes) –مثلها مثل اللغات المنطوقة–هي نشر وتداول كل أشكال المعلومات. في برنامج محدد، خاضع لشروط معينة، بعض هذه المعلومات يكون مطلوبًا على نحو فوري للبقاء على قيد حياة الجينات المسؤولة عن تنظيم الهرمونات في الجسم، أمّا بعضها الآخر يكون له استخدامٌ بطيء في الزّمن مثل جينات النّمو. وللتوفيق بين هذه الاحتياجات المختلفة، يتم فرض نوع من التّوازن بين ثراء المعلومات التي يجري نقلها وبين السّرعة والمصداقيّة في عمليّة النّقل. ويعتمد

مجال التّوازن على نسق وسياق تداول المعلومات. إذا أخذنا مثالًا من اللغة: كلمة الفكر: في بيئة هادئة تأخذ مجالا واسعاً من النّقاش في الوسط الموجود فيه، فيكون التّوافق أو التّباين والاختلاف واضحاً في مسيرة الكلمة لدى الحضور، وتأخذ حيزا واسعا من التّداول، أمّا كلمة 'حادث' مثلا تكون في مقهى ويحدث حادث سيصرخ بها العديد من مرتادي المقهى ذاك وبصوت واحد، ففي السّياق الأوّل تم ضبط اللغة لتلائم متطلبات الوفرة وثراء التّعبير، أمّا في السّياق الأخير فقد ضُبِطَت لتؤدي دورًا يتسم بالسّرعة والمصداقيّة. مع هذا التّقدم الهائل في التّقنيات، والكم الكبير من البيانات احتاج الإنسان، لابتكار أشياء أسرع وأدق، في معالجة هذه البيانات.

من معنى الاختيار الطّبيعي والانتقاء (Natural choice) تستمد ما يسمّى "الخوارزميات الوراثيّة" أو الجينيّة (Genetic Algorithms) الإلهام. فهي تعرف بأنّها دوال وتقنيات تحسين، مرنة تستطيع العثور على الحل الأمثل لأي مسألة، من خلال عمليات الاختيار، والتّوالدّ المتعاقب، لأفضل الأجيال من الحلول. وهي بذلك تشبه في طريقة عملها انتقاء الإنسان أفضل الكلمات والمعنى الخاضع للمقام من أجل توصيل فكرة صالحة تضاهيه في المكان والزّمن، فمن معنى يتولد ألف معنى، ومن كلمة تشتق سلسلة كلمات ذات معنى مختلف ومغاير.

ما قلناه سابقا أخذ الإنسان هذه القدرة الهائلة الموجودة في جيناته وطريقة تسيير الجسم لهذا الكم الهائل من المعلومات ووظفها في تقنياته الحاسوبيّة الحديثة؛ أي أخذها من بيئتها الطّبيعيّة ووظفها في بيئتها الاصطناعيّة وذلك لتخطي الإشكالات التي صادفته في التّقنيات الحاسوبيّة من اجل تسهيل وتسريع المعالجة بقدر يحاكي جسمه في سرعته أو يفوقه، أخذ الإنسان هذا التّخطيط الهندسي الموجود فيه وابتكر له طرقاً ودوالاً رياضيّة وفيزيائيّة تعطي نتائج تحاكي عملها فيه، فظهرت لنا الخوارزميات الجينيّة التي تعتبر احدث فروع الذّكاء الصّناعي واحسنها لما تقوم به من تيسير ما استصعب على باقي التّقنيات فهو متفرد ومتقدم جدا يعرف بالحوسبة التّطوريّة الحيويّة الذي كان مؤسّسها الأوّل هولند (Holland) في سنة 1975 من جامعة ميتشغان (Michigan) [17]وأوّل إنجازاته فيها كان لكتاب "التّكييف في الأنظمة الطّبيعيّة والاصطناعيّة" الذي

شرح فيه عمل الخوارزميات الجينيّة وأسسها ومبادئها إذا فهي تقنيّة بحث وحل المسائل ذات المنهج الاستدلالي العشوائي تعتمد مبادئ الوراثة والانتقاء الطّبيعي أسلوبها واحد قابل للتطبيق على نطاق واسع من المسائل بما فيها الأكثر تعقيدا مثل اللغة حيث تسمح مع الخضوع لمجموعة من القيود والمعايير بالحصول على حلول تقريبيّة من بين عدة حلول ممكنة ذات قيم متفاوته . [18]

تطبق الخوارزميات والبرمجيات بنجاح لإيجاد الحلول المقبولة (القريب إلى المثالي) في المسائل المعقدة فلقد اختصرت الكثير من الجهد والوقت لدى مصممي الأنظمة والبرامج وذلك من خلال إيجاد خوارزميّة عامّة يعتمد عليها في حل مختلف المسائل بدلا من بناء خوارزميّة خاصّة بكل مسالة على حدة، مع مراعاة التّغيرات اللازمة التي تتناسب وخصوصيّة كل مسالة من حيث الحجم ونوع وكم البيانات المستخدمة وطبيعة الدّالة الهدف والقيود لكل مسالة.

5- خريطة الهندسة اللسانيّة في الأعصاب كيف تحدث اللغة في دماغنا؟ وكيف نحاكي ذلك في الأعصاب الاصطناعيّة؟

إنّ معالجة اللغة باعتبارها رموزاً مدركة، يدركها الإنسان ويفهمها ويتعامل بها في دماغه الذي يفعل الرّموز اللغويّة لنقل الرّسالة بطريقة سريعة ودقيقة ورائعة جدا. فمثلا عندما نتحدث نختار كلمات وفقا لما نعتقد أنّنا سوف نوصل المعنى الذي نقصده للمستمع أو المتلقي. نضع الأصوات لكل كلمة. ونبني هيكلا وفق نظام معجمي صرفي نحوي قبلي مدرك يربط الكلمات ببعضها البعض وكذلك نبني حدودا صوتيّة لإيصال أو نقل هذه الأبنيّة الهندسيّة في شكل رسالة تواصليّة .تكون محض تخطيط؛ أي أفكار في الذّهن قبل الفعل.

كل هذه المعلومات تترجم إلى حركات كردة فعل تتحرك وفق الإرادة فالجهاز الصّوتي والأجهزة الأخرى تنتظم كل على حدة وعلى أساس طرفة عين لكي ننتج حوالي ثلاث كلمات في الثّانيّة أو صوتاً واحداً بمعدل كل عُشُر من الثّانيّة. إلاّ أنّنا حتى الآن نقدم حوالي صوت واحد خطأ لكل مليون صوت وكلمة واحدة خطأ لكل مليون كلمة.

لقد حاول العلم منذ أكثر من قرن من الزّمان، أن يفهم عمل الدّماغ وكيف يتعلم الدّماغ ويخزن المعلومات ويعالج وينتج اللغة، إلاّ أنّ المهمة صعبة لأنّه لا يوجد حقل تجريبي خصب يمارس فيه العلم مهامه في تحليل وتوصيف حدوث اللغة في هذا العضو المركب والدّقيق والغامض، فهو يقتصر على أنظمة معقدة تعالج تلك الرّموز.

الدّماغ هو كيان حي يعمل على أساس من التّفاعلات الكهربائيّة والكيميائيّة حيث إنّ الإشارات الكهربيّة تنتقل من خليّة عصبيّة لأخرى مجاورة بموصلات عصبيّة خاصّة ومستقبلات معينة لكل منها. إنّ الدّماغ قائم في وسط سيل من المواد الكيميائيّة دائمة التّغير، سواءً تلك التي تنشأ في داخلـه أم تلك المصنّعة في مكان آخر من الجسم. ويبدو أنّ السّيل الكيميائي يلعب دوراً رئيساً في تحديد ما إذا كانت خليّة عصبيّة ستطلق إشارة أم لا.. وقد تطلق تلك الإشارة عندما يكون للسيل الكيميائي تركيبة ما. ويقول داماسيو "بأنّ الإشارات العصبيّة تؤدي إلى نشوء إشارات كيميائيّة تستطيع أن تغيّر كيفيّة قيام العديد من الخلايا والأنسجة بوظائفها (كما بالدّماغ) وتغّير الدّوائر المتحكمة ذاتها التي بدأت الدّورة "[19].

الجهاز العصبي مكون من مراكز متخصّصة مترابطة ومعقدة ومتداخلة ومتشابكة يحتوي الدّماغ تريليون خليّة عصبيّة أو أكثر، وكل خليّة منها يمكنها أن تلتقط وتنقل عدة اتصالات في الوقت نفسه، فالدّماغ آلة تقوم على نظام متعدد الاختصاصات من التّحليل إلى التّركيب ، إذ تعمل مجموعات الخلايا العصبيّة وتتصل وتتواصل باستمرار وتتشكل الخلايا العصبيّة ومشابكها أثناء الحمل وقبل الولادة (وهي نقاط الاتصال بين الخلايا العصبيّة)، ثم تنمو وتتطور بعد الولادة وتستمر في عملها من خلال فاعليّة تقويّة وإضعاف، فالدّماغ لا يتوقف أبدًا عن التّطوّر والنّمو.[20]

الخلايا العصبيّة تعمل من خلال نشاط كهروكميائي، أي من خلال جُزيئات محددة وناقلات عصبيّة، وعندما تفشل الخليّة العصبيّة في إجراء الاتصال الصّحيح فإنّها تختفي وتموت فهندسة الدّماغ البشري أو ما يطلق عليها الهندسة العصبيّة هي احد الفروع الطّبيّة الحيويّة التي تجمع بين التّقنيات الهندسيّة و الحسابيّة الرّقميّة مع كل من علم الأعصاب وعلم الأحياء، تهدف إلى تعزيز فهم آليّة عمل الدّماغ عند الإنسان فهي

متعددة المجالات مستمدة من العلوم العصبيّة خاصّة (البيولوجيا العصبيّة وعلم الأعصاب بالإضافة لفروع متنوعة من الهندسات كعلوم الحاسوب والبرمجة و الرّوبوتات وعلم المواد[21] ومعالجة الإشارات العصبيّة [22]، ونمذجة النّظم والمحاكاة ، بالإضافة لتغطيتها مواضيع وتطبيقات متعددة كواجهات الرّبط الدّماغيّة الحسابيّة وتصوير الأعصاب والحوسبة العصبيّة و الهندسة العصبيّة النّسيجيّة وعلم الرّوبوتات العصبي. وهي تستفيد من عدة علوم أخرى كالرّياضيات والفيزياء ومختلف العلوم الطّبيعيّة.

الجسد البشري يحتوي على شبكةٍ كبيرةٍ من الخلايا العصبيّة التي تحمل الإشاراتِ الكهروكيميائيّة من وإلى الدّماغ، فالموادُ الكيميائيّة (الهرمونات) الموجودة في الدّماغِ تتحكمُ في النّظام الدّاخلي للجسم من خلال تنظيم تفاعل الأنظمة الدّاخليّة والخارجيّة؛ ممّا يُؤدي إلى القدرة على الحركة الكلام...وغيرها من الحركات والانفعالات، فالإشارات القادمة من الجسم إلى الدّماغ تعطي المعلوماتِ عن العالمِ الخارجي، وعندما يعالجُ الدّماغُ هذه المعلوماتِ؛ فهذا يسمحُ لنا بالرّؤيّة والشّعور بمختلف المشاعر وبأن نتكلّم وتسمع، ونرى ونشم وتتذوق.

الخليّة العصبيّة هي الوحدة الأساسيّة العاملة في الجهاز العصبي والدّماغ حيث تتصل الخلايا ببعضها البعض عبر المشابك التي يصل عددها إلى مائة ألف مليار مشبك، ومن هنا كان الكم الهائل لعدد وحجم الاتصالات والارتباطات العصبيّة الممكنة والمحتملة.

وإذا أضفنا إلى ذلك وجود مراكز متخصّصة متعددة ومتنوعة ونقاط اتصال بين المراكز حيث تُصدَّر ألياف وتورد أخرى وتنسق الأحاسيس والتّصرفات والحركات الإراديّة واللاإراديّة، نجد أنفسنا أمام حاسوب هائل ومتطور وعجيب ومتعدد الأبعاد.[23]

تستند الوظيفة العصبيّة إذًا إلى انتقال السّيالة العصبيّة في الخلايا وهي نبضات كهرو-كيميائيّة تعبر من المشابك بواسطة النّاقلات العصبيّة.

تعتبر اللغة والتّعلّم واكتساب المهارات والتّذكر خصائص تميّز أنشطة الدّماغ والجهاز العصبي وخلاياه، ويرى جان بيار شانجو:(Jean-Pierre Changeux) في هذا السّياق بأن هذه الفاعليّة ترتبط بعمل المشابك العصبيّة وحركتها، فيقول:

1" – الكائنات في اتصالاتها العصبيّة مبرمجة بطريقة ثابتة هي غير قادرة على التّعلّم، إذ أنّ التّعلّم يتطلب وجود حركة للمشابك العصبيّة، أي قابليتها للتحول والتّعديل والتّغيّر.

2 – التّحوّل (التّبدّل) في المشابك ناتج من:

– مرونة النّهايات العصبيّة جزئيًا (أي تحركها)؛

– إجراء عدد كبير من الارتباطات العصبيّة بشكل ظرفي، أي انتقالي مرن وقابل للتبديل.

3–انسياب المعلومات وورودها يعمل على تحديد مميزات الارتباطات العصبيّة الجديدة وأنواعها وخصائصها، وذلك من خلال اختيار مسارات خاصّة متفرّعة من بين عدد كبير من التّركيبات والمشابك المتحركة" [24].

تكون المسارات العصبيّة المحتملة ومشابكها المتحركة في الجينات –الدّماغيّة– ولكنّها تتنوّع وتتبدّل، أي يتم خلقها بحسب طبيعة المعلومة الواردة وظروف تشكلها أوّلاً ثم حسب التّعلّم أثناء النّموّ ثانيًا.

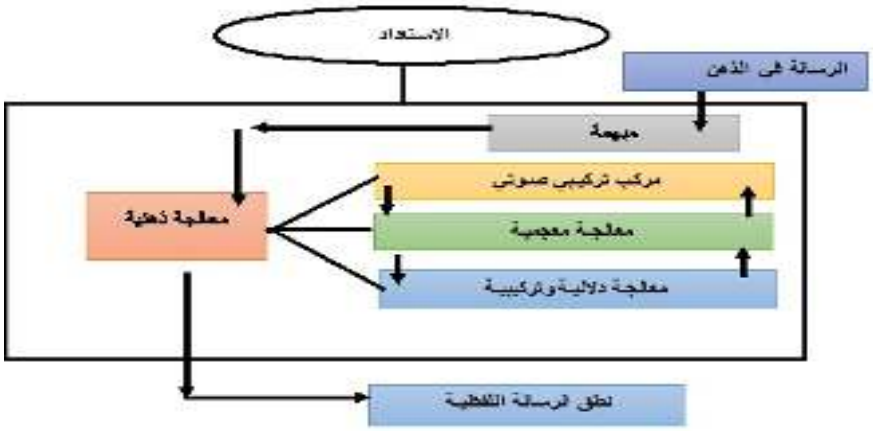
فالدّماغ متطور يستطيع استخدام مسارات عصبيّة جديدة ومتعددة كامنة، يتم إبداعها وابتكارها أمام المواقف والمعلومات التي تستدعي ردّ فعل جديد وملائم.

وعندما تصل التّفاعلات المتبادلة وتتواصل فيما بينها إلى مستوى المعالجة في الدّماغ، يتم وصلها بمخزون الذّاكرة (قوالب وصور ذهنيّة) فتعمل المراكز المتخصصة في الدّماغ على دمج المعلومات وربطها وتحليلها، إلاّ أنّ الأهم هو أنّ هذه التّفاعلات تنعكس وترتد على نفسها لتُحدث وعيًا ووعيًا ذاتيًا.

ونشير هنا إلى أنّ هذه التّفاعلات المعقدة الإدراكيّة تسمو بالقوى الفيزيولوجيّة(المادة الحيّة) وتعلو بها، وتتعالى هذه الأخيرة بدورها بالقوى الجزيئيّة(المعلومة) التي تتعالى بالقوى الذّريّة وشبه الذّريّة(نواة الخليّة العصبيّة)، بمعنى أن الخبرات اللغويّة والفكريّة النّفسيّة–الإدراكيّة لهذه التّفاعلات هي من شكل آخر يختلف نوعيا عن أصلها الكهربائي والكيميائي ويستحيل علينا كشف جوهر وآليّة هذا الارتفاع في واقعه الفعلي، كما أنّ من مميزات هذه التّفاعلات هي أنّها ارتداديّة حيث تؤثر النّتيجة على السّبب والعكس

بالعكس، "ويمكننا رصد تفاعلات هذا السّمو وإدراك ملامحه، فالدّماغ قائم وسط سيل هائل من المواد الكيميائيّة والمجال المغناطيسي دائم التّغيّر.[25]

6- مراحل إنجاز الكلام في الدّماغ: إنّ أغلب الدّراسات السّيكولسانيّة تقول بأنّ إنجاز الكلام يمر "بثلاث مراحل أساسيّة وضروريّة وفي كل اللغات"[26] وهي: مرحلة الاستعداد، ثم مرحلة الصّياغة، أو المعجمة ثم مرحلة النّطق ويمكن أن نوضّح هذه المراحل من خلال المخطّط التّالي:



الشّكل 01: نموذج عام لإنجاز الكلام حسب (ferrand,l):[27]

1- مرحلة الاستعداد: فيها يتم تحديد المفاهيم والأفكار التي يجب التّعبير عنها لفظيا –شفويا – حيث لا يمكن تصور إنجاز كلامي دون تصور فكرة نريد أن نعبر عنها أو نبلغها، والأمر هنا يتعلق بلغة التّفكير المستقلة عن اللغة التي سيعبر بها المتكلم، فالرّسالة في هذه المرحلة ليست لسانيّة بل طابعها التّصور فقط.

2- مرحلة المعالجة: في هذه المرحلة يتم البحث عن الكلمات المناسبة للمفاهيم والأفكار التي يريد المتكلم التّعبير عنها بغيّة الوصول إلى بنيّة دلاليّة وتركيبيّة وصوتيّة وصرفيّة ملائمة، وتنقسم هذه المرحلة أيضا والتي تسمى مرحلة النّفاذ المعجمي إلى ثلاثة مستويات فرعيّة متداخلة وهي مستوى التّركيب الدّلالي –التّركيبي ومستوى التّركيب الصّرفي الصّوتي ومستوى التّركيب الصّوتي التّركيبي حيث يتم في المستوى الأوّل

انتقاء المفردات المناسبة والمراد التّعبير عنها وذلك من خلال تحديد ملامحها الدّلاليّة وكذا سماتها التّركيبيّة وهو ما يسمى بالليمات أي الكيان المجرد المطابق للخصوصيات الدّلاليّة والتّركيبيّة لكلمة معطى "[28].

في مستوى التّركيب الصّرفي الصّوتي يتم استرجاع اللكسيمات أي الكيان المجرد المطابق للخصوصيّة الصّوتيّة لكلمة[29]، وذلك باستحضار المعلومات القطعيّة كترتيب الصّوامت والصّوائت وكذلك استحضار المعلومات العروضيّة كعدد المقاطع المكونة لكلمة المعطى وبنيتها النّبريّة.[30]

أمّا في المستوى الثّالث والمتعلق بالتّركيب الصّوتي التّركيبي فبعد أن تتوفر المعلومات الصّوتيّة والمعلومات التّركيبيّة يتم التّوفيق بين هذين المستويين من أجل التّعبير عن الغرض الموجود في الذّهن إخبارا أو استفهاما أو تعجبا ... ذلك أنّ تغييراً بسيطا في الصّوت يمكن أن يحول جملة خبريّة مثل أرسل محمّد المال لوالدّه إلى جملة إنشائيّة استفهاميّة نحو أرسل محمّد المال لوالدّه؟ وجملة ضرب زيدٌ سعيدا يمكن أن يصبح فيها زيدٌ مضروب بتغيير صوتي نحو ضرب زيداً سعيدا.

3- مرحلة النّطق: وتمثل هذه المرحلة الخلاصة التي استقرت عليها مرحلة الصّياغة الذّهنيّة فعن طريق جهاز الصّوت يتم نطق النّسق الصّوتي وهنا لم نتطرق إلى اللغة المكتوبة والتي يتطلب إنجازها مسارات أكثر تعقيدا من تلك التي يقتضيها مسار إنجاز اللغة المنطوقة.

للجينات دور أساسي في هذا السّلوك البشري وتبدأ أثناء تطور الجنين حيث تتولى تطور الدّماغ، وتكون المسؤولة عن كتلته العصبيّة الخام أي بلا أي خرائط أو مسارات عصبيّة، وتعطيه بنيته العامة، وتربط بين الأعصاب البصريّة والسّمعيّة والشّميّة في مراكز الدّماغ، وتعطيه شكله العام، لكنّه يكون خالياً من أي خرائط ومسارات عصبيّة والجينات مسؤولة أيضاً عن تحديد حجم الدّماغ وعدد الخلايا العصبيّة فيه وقدرتها على البقاء وأيضا قدرتها على تشكيل وصلات عصبيّة (مدى مرونة الدّماغ)، وهي المسؤولة عن تطور مناطق الدّماغ المختلفة وتباينها، بمعنى أن ولدت وكان فصّاك الجداريين

كبيرين نسبياً فهذا يعني أنّك ستكون موهوباً جينياً بالرّياضيات والبرمجة ولكن بشرط جوهري أساسي إذا توفرت لك بيئة منشأ مثاليّة وموافقة لميولك الجيني .[31]

مثلا : يوجد جين "DCDC2"[32] أو ما يعرف كذلك بجين عسر القراءة الدّيسليكسيا (Dyslexia) الذي يرتبط بمعالجة الأصوات في الدّماغ، وفيه نوع معين يرتبط بعسر القراءة ، لقد اتضح بعد عدة دراسات أنّ هذا النّوع من الدّقة الهندسيّة العصبيّة ضروري لسماع الأصوات السّاكنة، فالحروف المتحركة طويلة الصّوت أمّا السّاكنة فهي عبارة عن أصوات متقطعة؛ لذا فالدّقة في توقيتها مفتاح فهمها وسماعه، واتضح أنه يؤثر في معالجة اللغات لدى البشر.

في كل مرة تتكاثر فيها الخليّة في الجسم فإنّها تنسخ معلوماتها (حمضها النّووي) في الخليّة الجديدة، وقد تحدث الأخطاء أثناء عمليّة النّسخ هذه، وفي بعض الأحيان لا تسبب ضررًا على وظائف الجسم فينتهي الأمر بانتقالها من خليّة لأخرى ومن الأب للابن، أو ما يعرف بالطّفرات الوراثيّة[33] وعندما ينتشر تنوع لجين معين بين الأنواع فإنّه يسمى البديل، المثال على ذلك فصيلة الدّم: يحصل الشّخص على فصيلة دم واحدة من والدّيه، فإذا كانت فصيلة دمه (AB) فهذا يعني أنّك حصلت على بديل(A) وبديل(B)، أمّا إذا كانت فصيلة دمك (A) فهذا يعني أنّ البديلين اللذين حصلت عليهما (A) .[34]

هذه الخصائص الجينيّة توكد وجود هندسة معينة في طريقة عمل الخلايا وإنجازها لمهمتها وهي كذلك متشابهة في الجنس البشري، فهي نظام دقيق يعمل مع النّظام العام في شكل متوازي دون عارض مع باقي الأنظمة بل في انسجام تام.

إذن فالجينات هي ما تحدد الملامح العامة للدماغ البشري وبالو تتحكم في سيرورة الشّخصيّة وتعطيها القالب العام، ولكن في هذه المرحلة يكون الدّماغ فارغاً من أي معاني أو خبرات. عند الولادة.

وكذلك تحدد الجينات نسبة الذّكاء رغم أنّه لا يوجد تعريف موَّحد له علميا ولكن يمكن أن نقول أو نقترب من معناه الحقيقي أنّه:" قدرة الدّماغ على تشكيل وصلات عصبيّة بين مناطق مختلفة فيه، فكلما زادت التّشعبات ازداد قدرة الدّماغ على تحليل

المعلومات التي تسري عبر هذه الوصلات وربطها ببعضها البعض، وبالتّالي الحصول على أجوبة وصور ورسم سيناريوهات ...إلخ.

بالطّبع قدرة الخلايا العصبيّة على تشكيل روابط بينها يمكن للإنسان أن يمرنها خلال فترة حياته بالتّفكير والمطالعة والتّواصل والبحث المستمر في مواضيع مختلفة ولكن تبقى هذه القدرات متفاوتة بحسب جينات كل منا، وعلى العكس تماما يمكن بقلة استخدام الدّماغ أن تضعف قدرته على تشكيل تلك الرّوابط ولو ولدت بقابليّة عاليّة لذلك.[35]

ما يحدث بعد الولادة أنّ الدماغ يبدأ باستقبال الإشارات من البيئة الخارجيّة التي تتحول لنبضات كهربائيّة داخل الخلايا العصبيّة التي تقوم بتشكيل خرائط ومسارات عصبيّة (عبر الوصلات العصبيّة) للخبرات والمعاني وبالتّالي للسلوكيات، وهنا يأتي دور البيئيّة في ملئ القالب الدّماغي الذي صنعته الجينات في المرحلة المتقدمة لتكوين الدّماغ.[36]

يمكننا القول بأنّ علاقة الدّماغ واللغة هي علاقة معقدة ومركبة، تتحدى أي مفهوم قد نسوغه حولها، فهي علاقة بين مادة (دماغ –جسم) وقدرات وطاقات غير ماديّة (لغة –نفس –فكر...إلخ)، ثم إن مفهوم المعلومة أو الرّمز يعتبر اصطلاحًا عقليًا، إذ أنّ واقعه غير مادي ولا يمكن اختزاله بالكتلة أو الطّاقة كما أنّنا نعقل مفهوم التّنظيم أو النّظام كمفهوم علائقي تجريدي–ذهني أي ظاهرة لا ماديّة، فهو ذو ماهيّة عائمة فوق المادة وتخص الفاعليّة العقليّة.

هذا ما جعل عمليّة النّمذجة والتّقييس والمحاكاة في الحاسوب صعبة جدا لأنّها مكونة من عدة أنظمة بيولوجيّة ونفسيّة شديدة التّعقيد.

7– كيف استفادت علوم اللغة والحاسوب من المعارف السّابقة في تصميم البرامج؟

1– المجال اللغوي: احتلت المعرفة اللسانيّة حيزا بارزا ضمن خريطة المعارف المعاصرة وبالرّغم من حداثة هذا العلم فإنّه استطاع أن يخطو خطوات جادة من أجل

إرساء معالم معرفيّة عالميّة عالمة بظواهر اللغة تتقاطع فيها أبعاد متعددة يتشابك فيها ما هو لغوي بما هو غير لغوي.

تمتلك اللسانيات وضعيّة خاصّة في دائرة المعارف الإنسانيّة فمجالاتها متحولة باستمرار وآليات إنتاج المعرفة فيها متجددة وعلائقها بالعلوم الأخرى غير قارة.

يرتبط موضوع بيئة النّظام ارتباطاً وثيقاً ومباشراً بموضوع حدوده، وهنا نطرح سؤالاً كيف ادرك الإنسان كرويّة الأرض، لم يدرك دائريتها حتى خرج من حدود نظامها ،فقد أشرنا إلى أنّ كل ما يقع ضمن دائرة أو نطاق أو حدود النّظام فهو جزء منه يتفاعل مع باقي الأجزاء فيه في سبيل تحقيق الهـدف، وعليه فكل ما لا يدخل ضمن دائرة النّظام –أي خارج حدوده –يعتبر البيئة المحيطة به، أو بيئة النّظام، وكلمة البيئة المحيطة لا تعني أنّ كل ما يوجد فيها لا يمت بعلاقة إلى النّظام ولا يتفاعل معه، بل –حسب ما جاء في شرحنا في البداية –العكس فالنّظام هو نظام فرعي يعمل إلى جانب أنظمة أخرى متفاعلاً معها ضمن نظام أكبر وأشمل يضمها جميعاً.

يقول الدّكتور محمّد كامل حسين: " في الكون نظام وفي العقل نظـــــام والمعرفة هي مطابقة هذين النّظامين، والنّظامان من معدن واحد، لو لم يكونا متشابهين لاستحالة المعرفة لو لم تكن المطابقة بينهما ممكنة ما علم أحد شيئا، وتشابه النّظامين الكوني والعقلي ليس فرضا يحتاج إلى برهان بل هو جوهر إمكان المعرفة " [37]

الشّكل 02: بيئة النّظام

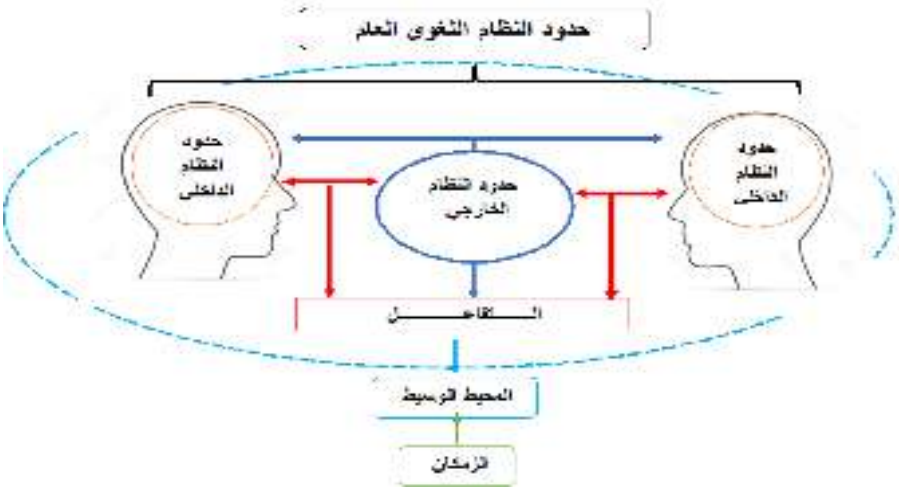
وإذا أخذنا مفهوم النّظام، وحاولنا تطبيق عناصره الدّيناميكيّة على اللغة التي ترتبط بحياتنا اليوميّة بشكل تفاعلي وحيوي. نجد أنّ اللغة في واقعها هي مجموعة من الأنظمة

الرّياضيّة المخطّطة تسعى لتحقيق أهداف ونتائج معينة منها، وفي سبيل هذا تستقبل عدداً من المُدخلات لتعالجها حسابيا، ثم تقوم بتحويلها إلى مخرجات، لتحقيق تلك الأهداف والغايات. وهذا المعنى يكمن في الشّكل السّابق الذي يظهر المدخلات المخطّطة من معلومات، يتم تركيبها وتحليلها لتعطي مخرجات على شكل رسالة تواصليّة.

ما هو معلوم أنّ بنيّة الشّيء في الطّبيعة هي تكوينه وهي كلمة تعني الكيفيّة التي تشير إلى ارتصاف البناء كمصفوفة وحين نتحدث عن البناء اللغوي فإننا نشير بذلك إلى نسق عام أهم ما يتصف به هو النّظام، فالبناء يقتضي تجسيد منظم لمجموعة من العناصر المتماسكة، فالتّعريف المبدئي للبنيّة اللغويّة يقوم على اعتبار مجموعة من العلاقات الثّابتة بين عناصر متغيرة يمكن أن ينشا على منوالها عدد لا حصر له من النّماذج.[38]

اللغات الطّبيعيّة تمتاز بالاضطراب بين الثّبات والتّجانس والحركيّة في التّسلسل الهرمي للنظام والعلاقات التي تربطه ببعضه بشكل كمي متشابك، فهناك ثبات وتجانس كافيان في كلام المتكلمين بلغة واحدة لافتراض اللغة كنظام مشترك نافع ومسوغ بطريقة علميّة ما لم يكن بصدد التّعامل صراحة مع الاختلاف التّاريخي والتّزامني.

هذا التّغير وجد صعوبة كبيرة أثناء نمذجته حاسوبيا فجاءت الخوارزميّة الجينيّة كحل يعتمد تعدد الأوجه والنّماذج وكذلك الاحتمالات الصّحيحة الواردة من هذه العناصر اللغويّة المتغيرة، قام الباحثون باقتراح مشجرات لغويّة خاصّة في المعالجة الدّلاليّة أو عمليّة تقييس المعنى رياضيا بطريقة تشبه تلك المتواجدة في الجينات ومحاولة تكييف النّظام الرّقمي وفق معطيات لغويّة جديدة تسير وفق النّظام الجيني الموجود في الإنسان لتسهيل عمليّة النّمذجة والحصول على نتائج مثاليّة من الإدخال والمعالجة.



الشّكل 03: حدود النّظام اللغوي العام من تصميم الباحث

2- المجال العصبي والجيني: تتم هذه العمليات في حدود النّظام الدّاخلي أي الأعصاب فيتم فيها حل الرّموز ومعالجتها شموليًا، ثم يُعاد حساب الحسابات المتشابكة رياضيا، أي معالجتها على مستوى الكليّة الدّماغيّة، وكأننا نقول بأنّ المصطلح العام (النّظام العام) أو المجرد هو الذي يعالج الرّموز العصبيّة، إذ لا يتوقع أحد العثور على نظام العقل في جزء من الدّماغ أو في كليّته لأن ذلك هو أشبه بتوقع كون المبرمج جزءًا من الحاسوب الآلي مثلاً، فالعقل فاعليّة وليس مادة.

لإدراك للموضوع الخارجي (البيئة)، وهو تركيب يتصف بالثّبات والتّناسب والتّناسق فلقد رأى أنطونيو داماسيو: "بأنّ التّصورات الذّهنيّة تمثل شيئًا خارجيًا بشكل ثابت ومنسجم[39]"، فالصّور الذّهنيّة تعكس بشيء من الأمانة واقعيّة الشّيء الخارجي وما يحصل بالتّحديد هو إعادة قولبة الواقع الموضوعي في التّصورات الذّهنيّة للكائن وهذا ما كان قد ذهب إليه لوك في قوله: "هناك مصدران لمعارفنا كلها وهما الانطباع الذي تحدثه الموضوعات الخارجيّة على حواسنا، والإجراءات التي تحدثها النّفس في هذه الانطباعات"[40].

استفادت الحوسبة الحديثة من طرق الحساب في الدّماغ هذه ومعالجتها في بناء برامج تحاكي الفعل الدّماغي في تلقي ومعالجة وإخراج النّتائج.

تعدّ اللغات من الأشياء الدّيناميكيّة المتغيرة، فبعد مئات الأعوام أصبحت اللغة العربيّة القديمة غريبة على قرّاء اليوم، وتعد العوامل التي تؤثر على تغير اللغات مألوفة للجميع، مثل التّفاعل مع لغات أخرى: فقد أدى الغزو الغربي للمناطق العربيّة إلى انتشار تأثير لغته في جميع أنحاء الوطن العربي، كذلك الاحتياجات الجديدة: فقد أدى التّطور التّكنولوجي إلى استحداث كلمات جديدة مثل "الإنترنت".

للجينات دور أساسي في هذا السّلوك البشري وتبدأ أثناء تطور الجنين حيث تتولى الجينات تطور الدّماغ، وتكون هي المسؤولة عن تطور كتلته العصبيّة الخام أي بلا أي خرائط أو مسارات عصبيّة، وتعطيه الجينات بنيته العامة وتربط بين الأعصاب البصريّة والسّمعيّة والشّميّة في مراكزها بالدّماغ، وتعطي الدّماغ شكله العام ولكنه يكون خالياً من أي خرائط ومسارات عصبيّة والجينات مسؤولة أيضاً عن تحديد حجم الدّماغ وأيضا عن عدد الخلايا العصبيّة فيه وقدرتها على البقاء وأيضا قدرتها على تشكيل وصلات عصبيّة (مدى مرونة الدّماغ)، وهي المسؤولة عن تطور مناطق الدّماغ المختلفة وتباينها، بمعنى أذا ولدت وكان فصّاك الجداريين كبيرين نسبياً فهذا يعني أنّك ستكون موهوباً جينياً بالرّياضيات والبرمجة ولكن بشرط جوهري أساسي إذا توفرت لك بيئة منشأ مثاليّة وموافقة لميولك الجيني.[41]

إذن فالجينات هي ما تحدد الملامح العامّة للدماغ البشري وتتحكم في سيرورة المعرفة ومعالجتها وتعطيها القالب العام، ولكن في هذه المرحلة يكون الدّماغ فارغاً من أي معاني أو خبرات.

وكذلك تحدد الجينات نسبة الذّكاء رغم أنه لا يوجد تعريف موَّحد للذكاء، ولكن يمكن أن نقول: "أن نقترب من معناه الحقيقي أنّه قدرة دماغك على تشكيل وصلات عصبيّة بين مناطق مختلفة فيه، فكلما زادت التّشعبات ازدادت قدرة دماغك على تحليل المعلومات التي تسري عبر هذه الوصلات وربطها ببعضها البعض، وبالتّالي الحصول على أجوبة وصور ورسم سيناريوهات...الخ.

بالطّبع قدرة الخلايا العصبيّة على تشكيل روابط بينها يمكن للإنسان أن يمرنها خلال فترة حياته بالتّفكير والمطالعة والتّواصل والبحث المستمر في مواضيع مختلفة

ولكن تبقى هذه القدرات متفاوتة بحسب جينات كل منا، وعلى العكس تماما يمكن بقلة استخدام الدّماغ أن تضعف قدرته على تشكيل تلك الرّوابط ولو ولدت بقابليّة عاليّة لذلك.[42]

ومن هنا اتخذ المبرمج لبرنامج ما شكله المفتوح أي قابليّة تطوره مع الاستعمال المرن له وهي خاصيّة إنسانيّة استفاد منها تقنيا.

ما يحدث بعد الولادة أنّ الدّماغ يبدأ باستقبال الإشارات من البيئة الخارجيّة والتي تتحول لنبضات كهربائيّة داخل الخلايا العصبيّة التي تقوم بتشكيل خرائط ومسارات عصبيّة (عبر الوصلات العصبيّة) للخبرات والمعاني وبالتّالي للسلوكيات، وهنا يأتي دور البيئيّة في ملئ القالب الدّماغي الذي صنعته الجينات في المرحلة المتقدمة لتكوين الدّماغ.[43]وهذا ما قلدته الحوسبة الحويّة أي أخذت هذه الأنظمة المطبوعة في الإنسان فتأسيس التّكنولوجيّة الحديثة كان وفق اكتشاف ما كان لتأسيس ما سيكون.

8- خاتمة: انطلاقا من سؤال الوجود للإنسان البدائي وصولا إلى نظام الحوسبة المتطورة للإنسان الحديث، مرت المعرفة الإنسانيّة بعمليّة محاكاة وتطور لما هو موجود في الطّبيعة وهي اليوم تقوم بتسخير هذه المعارف لإنتاج بيئة أخرى افتراضيّة رقميّة مثلا: عمليّة ربط الجينات وبعض الخصائص البيولوجيّة للخليّة الحيّة والخصائص اللسانيّة التي تميز اللغة والتّراكيب الحاملة لها؛ جعل النّسق فيهما متشابهاً في الهندسة البنائيّة له أي بناء نظام ككل، هذا ما ساعد كثيرا العلوم الحاسوبيّة الحديثة للاستفادة منها في تخطي مشاكل المعالجة الآليّة المحاكيّة لقدرات الإنسان سواء الميكانيكيّة أم العقليّة بابتكار خوارزميات رياضيّة تشبه في مبدأ عملها تلك الموجودة في الإنسان إذا ما كانت لدينا خوارزميّة تشتغل في نظام متسلسل، تقوم باتخاذ القرارات بشكل متوازي مثل التّعلم الآلي، فأنّنا نعلم أنّها تلقت تدريب على مجموعة من المعلومات والبيانات ذات المنشأ البشري، وبالنّتيجة لابد لها أن تعرض وتعكس هذه البيانات، وبما أنّ البيانات جرى تجميعها سابقاً وتتضمن أشكالاً وقوالب، فلا بد للنماذج المدربة من أن تتضمن هذه القوالب أيضاً، وذلك في حال كانت خوارزميّة التّدريب جيدة. وإن كانت

دقيقةً كفاية، فستكون قادرة على إدراك كافة الارتباطات والعلاقات الموجودة في هذه المعلومات. فنظام التّعلم الآلي يتعلم ما يراه ويتلقاه مثل البشر.

الدّماغ يستعمل الوسط الكهروكميائي في عمليّة نقل المعلومات فطور الإنسان تكنولوجيّة تنقل المعلومات بطريقة كهربائيّة والأن ينتقل إلى تكنولوجيا أكثر حداثة وسرعة وهي نقل المعلومات عبر فوتونات الضّوء في التّكنولوجيّة الكميّة أو ما يعرف بالحوسبة الكميّة وكذلك في تكنولوجيا النّانو باعتماد فيزياء الكم وهنا تصبح التّكنولوجيا تتفوق على عمل الدّماغ بأضعاف مضاعفة من حيث سرعة الأداء والمعالجة، لذلك انتقى الإنسان هذه الهندسة من خلال استقراء كنه الخليّة وتجاوز المرئي إلى العالم الغير مرئي حيث تعمل صغائر ودقائق الأمور. فهو بذلك يحاول التّفوق على نفسه من شتى الجوانب الفكريّة والفيزيولوجيّة أو الميكانيكيّة في الأداء الوظيفي للأمور، وهذا ما يتضح جليا في التّطبيقات الحاسوبيّة الحديثة لعلوم الذّكاء الصّناعي المتقدم والفائق في الرّوبوت الآلي، الذي أصبح يحاكي خصائص الإنسان الفيزيائيّة والعقليّة، هذا العلم الحديث يستمد معارفه، وطرقه وعلومه، ومناهجه من خلال سيرورة وتجسيد هذه الأنظمة الموجودة في الطّبيعيّة (الجسد البشري مثلا) فالإنسان هنا يبحث فيما كان ليؤسّس لما سيكون في هندسة عكسيّة لوجوده.

9- المصادر والمراجع:

أ- المراجع العربيّة:

1- ألبرت أينشتاين، أفكار وآراء، ترجمة رمسيس شحاتة، الهيئة المصريّة العامّة للكتاب، 1986.

2- أنطونيو داماسيو: الشّعور بما يحدث: دور الجسد والعاطفة في صنع الوعي ترجمة رفيف كامل غدار، الدّار العربيّة للعلوم ناشرون، بيروت، 2010 م.

3- جون بيار شونجو الإنسان العصبي، منشورات بلوريال، 1982.

4- جيرالدّ هوتر: خبايا العقل، ترجمة عبد الله حسان الأنصاري، نهضة مصر للطباعة والنّشر والتّوزيع، مصر، ط1، 2010م.

5- جيمس تريفل، هل نحن بلا نظير، ترجمة: ليلى الموسوي، سلسلة عالم المعرفة العدد 323، يناير، 2006.

6- ستيف جونز، لغة الجينات، ترجمة احمد رمو مراجعة: أ. عبد الحق عبود دار طلاس للترجمة والنّشر، ط1، دمشق، سوريا ،2000م.

7- عبد الوهاب جعفر: البنيويّة بين العلم والفلسفة عند ميشال فوكو، دار المعارف القاهرة، 1989م.

8- عقيل حسين العاصي، بيولوجيا جزئيّة وهندسة وراثيّة، منشورات قسم علوم الحياة، كليّة العلوم، جامعة تكريت العراق، ب.ت.

9- الفريق العربي للهندسة العسكريّة، مدخل إلى الهندسة العكسيّة، بدون دار نشر، الطّبعة الأولى 2005م.

10-كريستين تمبل: المخ البشري، مدخل إلى دراسة السّيكولوجيا والسّلوك، ترجمة د. عاطف احمد سلسلة عالم المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والفنون، الكويت، العدد 287عام 2002م.

11-لوتشيانو فلوريدي: الثّورة الرّابعة كيف يعيد الغلاف المعلوماتي تشكيل الواقع الإنساني، ترجمة لؤي عبد المجيد السّيد، سلسلة عالم المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والآداب، الكويت، سبتمبر 2017 رقم 452.

12- مازن الوعر: قضايا أساسيّة في علم اللسانيات الحديث، دار طلاس، دمشق 1988م.

13-محمود فوزي المناوي: العلم واللغة متى يتكلم العلم اللغة العربيّة؟ الهيئة المصريّة العامة للكتاب، مشروع مكتبة الأسرة 2013.

14-مصطفى بوعناني: الفنولوجيا الحاسوبيّة والمسارات المعرفيّة للإنجاز الكلامي ط 1، مطبعة أبي، فاس، المغرب، 2003م.

15-ابن منظور، لسان العرب، مادة (ع رق) مجلد 4، ط1، دار الفكر –بيروت – لبنان، 2008م.

16-ويل ديورانت، قصّة الفلسفة: من أفلاطون إلى جون ديوي، مكتبة المعارف – بيروت، 1926م.

ب– المراجع الأجنبيّة:

1– AlisaBokulich and Gregg Jaeger, Philosophy of Quantum Information and Entanglement, Cambridge University Press, Cambridge.(2010) .

2– Chomsky, Noam: New Horizons In The Study of Language And Mind, America: Cambridge University Press, 2000.

3– Christiansen FB: The definition and measurement of fitness. In: Evolutionary ecology (ed. Shorrocks B), Blackwell Scientific, Oxford by adding survival selection in the reproductive phase, 1984.

4– Coley D., an Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers, World Scientific, USA, 1999.

5– Eldad Eilam: Secrets of Reverse Engineering, Wiley publishing, Inc., Canada, 2005.

6– Fahimeh Darki, Myriam Peyrard-Janvid, Hans Matsson, Juha Kere, and Torkel Klingberg: ThreeDyslexia SusceptibilityGenes,DYX1C1,DCDC2, and KIAA0319,Affect Temporo-ParietalWhiteMatter Structure, From the Neuroscience Department (FD, TK), Karolinska Institutet, Stockholm; Department of Biosciences and Nutrition,2012.

7- Ferrand, I. les modèles de la production de la parole. In m. Fayol (Ed.), production du langage. Traité des sciences cognitives. Paris : hermès ; 2002.

ج-المقالات:

1- مها عبد الإله محمّد البدراني: استخدام الخوارزميّة الجينيّة في تطابق أنماط الحرف الإنكليزي، مجلة التّربيّة والعلم، المجلد (19)، العدد (04)، 2007م.

د-المداخلات:

1- عمر مهديوي، "الهندسة اللغويّة والتّرجمة الآليّة: المفهوم والوظيفة"، بحث مقدم للمؤتمر السّنوي للمنظمة العربيّة للترجمة، حول التّرجمة والحاسوب، في 15-17 ماي 2014م.

هـ-المواقع الإلكترونيّة:

1- نور الصّبحي: خوارزميات الذّكاء الصّناعي -الخوارزميات الجينيّة – منشورة بتاريخ أوت 2017 على مدونة :

https://schwarztiger.wordpress.com/category/خوارزميات-الذّكاء-الصّناعي/ai-algorithms-الخوارزميات-الجينيّة /genetic-algorithm-أطلع عليها بتاريخ : 2019/08/18.

2- معتصم وهيب: علم الأعصاب السّلوكي ودراسة الدّماغ" الجينات والسّلوك ج1، مقالة منشورة في موقع https://elmahatta.com :بتاريخ 7 نوفمبر 2017 م، تاريخ زيارة الموقع: 2019/11/28 على السّاعة 9 صباحا.

10-الهوامش:

1 ألبرت أينشتاين، أفكار وآراء، ترجمة رمسيس شحاتة، الهيئة المصريّة العامة للكتاب 1986، ص. 252.

[2] ويل ديورانت، قصة الفلسفة: من أفلاطون إلى جون ديوي، مكتبة المعارف – بيروت 1926م، ص 467

[3] Chomsky, Noam : New Horizons In The Study of Language And Mind, America : Cambridge University Press, 2000 , pp 77.79.

[4] ابن منظور، لسان العرب، مادة (ع رق) مجلد 4، ط1، دار الفكر –بيروت – لبنان 2008م، ص 166.

[5] عمر مهديوي، "الهندسة اللغويّة والتّرجمة الآليّة: المفهوم والوظيفة"، بحث مقدم للمؤتمر السّنوي للمنظمة العربيّة للترجمة، حول التّرجمة والحاسوب، في 15-17ماي 2014م.

[6] مازن الوعر: قضايا أساسيّة في علم اللسانيات الحديث، دار طلاس، دمشق، 1988م ص 406.

[7] الفريق العربي للهندسة العسكريّة، مدخل إلى الهندسة العكسيّة، بدون دار نشر، الطّبعة الأولى 2005م، ص17.

[8] Eldad Eilam: Secrets of Reverse Engineering, Wiley publishing Inc, Canada, 2005, p03.

[9] Eldad Eilam: Secrets of Reverse Engineering, The previous reference, p04.

[10] الانتقاء الطّبيعي هو تمايز غير عشوائي في الإنتاج التّكاثري بين الأحياء المتكاثرة، وذلك يعود عادة –وبشكل غير مباشر–إلى التّمايزات الكائِنة بين مختلِف المُتعضّيات (Organisms) في الحفاظ على البقاء تحت ظروف معينة، مما يؤدي إلى زيادةٍ في نسبة السّمات النّافعة والقابلة للتوريث في مجموعة ما عبر الأجيال المتعاقبة، ينظر المرجع اللاحق:

[11] Christiansen FB: The definition and measurement of fitness. In: Evolutionary ecology (ed. Shorrocks B), Blackwell Scientific, Oxford by adding survival selection in the reproductive phase, 1984, pp65-79.

[12] هي عبارة عن عصيّاتٍ صغيرة داخل نواة الخليّة، تحمل هذه الكروموسومات في داخلها تفاصيل كاملة لتكوين الكائن الحي، هذه التّفاصيل تكونُ على شكل شيفرات وراثيّة تسمى بالـ" DNA" تحمل الصّفات الوراثيّة من الآباء إلى الأبناء.

[13] نور الصّبحي: خوارزميات الذّكاء الصّناعي –الخوارزميات الجينيّة – منشورة بتاريخ أوت 2017 على مدونة:
https://schwarztiger.wordpress.com/category/خوارزميات-الذّكاء-الصّناعي-/ai-algorithms/الخوارزميات-الجينيّة-genetic-algorithm/ أطلع عليها بتاريخ : 2019/08/18.

[14] الكيوبيت الكمي هو وحدة المعلومات الكميّة أي الوحدة الأساسيّة للمعلومات في الكمبيوتر الكمي، نظيره في نظير المعلومات الكلاسيكيّة هو البِت (bit) والذي يمكن أن يأخذ فقط أحد القيمتين (1، 0)، أمّا البِت الكمي ونتيجة لمبدأ التّراكب في ميكانيك الكم فيمكن أن يكون في شكل أي تركيبة خطيّة من الحالتين السّابقتين معا ينظر:
AlisaBokulich and Gregg Jaeger, Philosophy Of Quantum Information And Entanglement, Cambridge University Press, Cambridge..(2010)

[15] لوتشيانو فلوريدي: الثّورة الرّابعة كيف يعيد الغلاف المعلوماتي تشكيل الواقع الإنساني ترجمة لؤي عبد المجيد السّيد، سلسلة عالم المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والآداب الكويت، سبتمبر 2017 رقم 452، ص،123.

[16] عقيل حسين العاصي، بيولوجيا جزئيّة وهندسة وراثيّة، منشورات قسم علوم الحياة، كليّة العلوم، جامعة تكريت العراق، ب.ت، ص 119.

[17] مها عبد الإله محمّد البدراني: استخدام الخوارزميّة الجينيّة في تطابق أنماط الحرف الإنكليزي، مجلة التّربيّة والعلم، المجلد (19)، العدد (04)، 2007م، ص 89/86.

[18] Coley D., an Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers, World Scientific, USA, 1999, p 10.

[19] – جيمس تريفل، هل نحن بلا نظير، ترجمة: ليلى الموسوي، سلسلة عالم المعرفة، العدد 323، يناير، 2006. ص153، 154، 155، 156.

[20] هل نحن بلا نظير؟ المرجع نفسه، ص 77–83

[21] **علوم المواد:** هو تخصص متداخل تجرى فيه دراسة خواص المواد وتطبيقاتها للعلوم والهندسة، ويضم علم المواد حقولا من الفيزياء التّطبيقيّة والكمياء وهندستها والهندسة

الصّناعيّة والميكانيكيّة .....وتعتمد دراسة علوم المادة بشكا أساسي على معرفة خصائص كل منها تبعا للمعلومات النّظريّة أو المخبريّة.

[22] **معالجة الإشارة:** هي أحد علوم الهندسة الكهربائيّة والرّياضيات التّطبيقيّة تهتم بتحليل وتعديل الإشارة كإشارة الصّوت والصّورة وإشارات أجهزة الاتصالات والإشارات البيولوجيّة مثل إشارات كهرباء القلب وإشارة أمواج الدّماغ.

[23]كريستين تمبل: المخ البشري، مدخل إلى دراسة السّيكولوجيا والسّلوك، ترجمة د. عاطف احمد سلسلة عالم المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والفنون، الكويت، العدد 287عام 2002م، ص 29 / 59.

[24] كريستين تمبل، المرجع السّابق، ص 155

[25] المخ البشري، المرجع السّابق، ص 155

[26] Ferrand, l. les modèles de la production de la parole. In m. Fayol (Ed.), production du langage. Trait des sciences cognitives. Paris : Hermès ; 2002. P 27.

[27] المرجع السّابق، ص 27Fernand

[28] مصطفى بوعناني: الفنولوجيا الحاسوبيّة والمسارات المعرفيّة للإنجاز الكلامي، ط 1 مطبعة أبي، فاس، المغرب، 2003م. ص 63.

[29] المرجع نفسه، ص 64.

[30] المرجع نفسه ص 64.

[31] معتصم وهيب: علم الأعصاب السّلوكي ودراسة الدّماغ" الجينات والسّلوك ج1" مقالة منشورة في موقع: https://elmahatta.com بتاريخ 7 نوفمبر 2017 م، تاريخ زيارة الموقع: 2019/11/28 على السّاعة 9 صباحا.

[32] Fahimeh Darki, Myriam Peyrard-Janvid, Hans Matsson, Juha Kere, and Torkel Klingberg: ThreeDyslexia SusceptibilityGenes,DYX1C1,DCDC2, and KIAA0319,Affect Temporo-ParietalWhiteMatter Structure, From the Neuroscience Department (FD, TK), Karolinska Institutet, Stockholm; Department of Biosciences and Nutrition,2012,p01/05.

[34] ستيف جونز، لغة الجينات، ترجمة احمد رمو مراجعة: أ. عبد الحق عبود، دار طلاس للترجمة والنّشر، ط1، دمشق، سوريا ،2000م. ص :22

[35] جيرالدّ هوتر: خبايا العقل، ترجمة عبد الله حسان الأنصاري، نهضة مصر للطباعة والنّشر والتّوزيع، مصر، ط1، 2010م، ص 70.

[36] خفايا العقل، المرجع السّابق، ص 72.

[37] محمود فوزي المناوي: العلم واللغة متى يتكلم العلم اللغة العربيّة؟ الهيئة المصريّة العامة للكتاب، مشروع مكتبة الأسرة 2013، ص 82.

[38] عبد الوهاب جعفر: البنيويّة بين العلم والفلسفة عند ميشال فوكو، دار المعارف، القاهرة 1989م، ص02.

[39] أنطونيو داماسيو: الشّعور بما يحدث: دور الجسد والعاطفة في صنع الوعي، ترجمة رفيف كامل غدار، الدّار العربيّة للعلوم ناشرون، بيروت، 2010 م، ص 407/406

[40]جون بيار شونجو الإنسان العصبي، منشورات بلوريال، 1982.ص 64

[41] معتصم وهيب: علم الأعصاب السّلوكي ودراسة الدّماغ" الجينات والسّلوك ج1" مقالة منشورة في موقع: https://elmahatta.com بتاريخ 7 نوفمبر 2017 م، تاريخ زيارة الموقع: 2019/05/28 على السّاعة 9 صباحا.

[42] جيرالدّ هوتر: خبايا العقل، ترجمة عبد الله حسان الأنصاري، نهضة مصر للطباعة والنّشر والتّوزيع، مصر، ط1، 2010م، ص 70.

[43] خفايا العقل، المرجع السّابق، ص 72.