محاكاة الآلة للدماغ البشري في التّعرف على المنطوق العربي

Machine simulation of the human brain in recognizing Arabic pronunciation

1 رزيــق زيـان *

المركز الجامعي مغنية (الجزائر)، zeyyanrezik@gmail.com

مخبر المعالجة الآلية للغة العربية (جامعة تلمسان) (الجزائر)

2 د. دحماني حمزة

المركز الجامعي مغنية (الجزائر)، dahmanihamza26@yahoo.fr

تاريخ الارسال2023/03/07 تاريخ القبول 2024/01/12 تاريخ النشر 2024/03/31

الملخص:

تعدّ المعالجة الآلية للغة من المجالات التي نالت اهتمام الباحثين نظرا لما يشهده العالم من تقدم في المجال المعلوماتي والتكنولوجي، حيث أصبح الذكاء الاصطناعي عاملا فاعلا في مجال التواصل، ومن مباحث المعالجة الآلية للغة التعرف الآلي على المنطوق، واللغة العربية ليست في معزل عن هذا التحول التكنولوجي مما يفرض على الباحثين الاهتمام بدراسة التعرف الآلي على المنطوق العربي.

ما يشهده عالم الذكاء الاصطناعي من تطور هو في الحقيقة يستمد مبادئه من الفتوحات العلمية في المجال العصبي والبيولوجي عموما، إذ أن حوسبة اللغة آليا هو مبدئيا مُستمَد من حوسبة اللغة عصبيا في الدماغ البشري.

نحاول في هذه الدراسة أن نقف على المعالجة العصبية للغة الطبيعية، وخصوصا المنطوقة منها، كما سنعرّج على آليات التعرف الآلي على المنطوق، لنَخلُص في آخر الدراسة إلى إبراز أوجه المحاكاة بين الدماغ والآلة في التعرف على المنطوق العربي.

الكلمات المفتاحية: التعرف الآلي، المنطوق العربي، محاكاة، الدماغ.

Abstract:

The automatic processing of language is one of the areas that have attracted the attention of researchers due to the progress the world is witnessing in the field of information and technology, where artificial intelligence has become an effective factor in the field of communication. Which requires interested researchers to study the automatic recognition of the Arabic utterance.

What the world of artificial intelligence is witnessing in terms of development is in fact deriving its principles from scientific conquests in the neurological and biological field in

* المؤلف المرسل

general, as the computerization of language automatically is, in principle, derived from the computerization of language neurally in the human brain.

In this study, we try to stand on the neural processing of natural language, especially the spoken language, and we will also look at the mechanisms of automatic recognition of the utterance, so that we conclude at the end of the study to highlight the aspects of simulation between the brain and the machine in recognizing the Arabic utterance.

The abstract refers to the importance of research, its problems and the most important results.

Keywords: Automatic recognition, Arabic operative, simulation, brain

1. مقدمة:

يعرف العالم ثورة تكنولوجية ومعلوماتية كبيرة، حيث اقتحم الذكاء الاصطناعي شتى الميادين، وأصبحت الآلة تقوم مقام الانسان في الكثير من المجالات، مما جعلها تؤدي وظائفه، وتحاكي سلوكاته اليومية ولاسيما ما تعلق بالتواصل، وخصوصا اللغة، فقد أصبحت الآلة ناطقة، محاورة، ومتفاعلة مثلها مثل الكائن البشري، ولم يستطع علماء الحاسوب الوصول إلى هذه النقطة الفارقة في تاريخ البشرية إلا من خلال تقييس الدماغ البشري، وصناعة نموذج يحاكي الأدوار البيولوجية والعصبية الدماغية للإنسان، في حدود ما وصلت إلية المعرفة بتركيبة الدماغ ووظائفه، فكل اكتشاف يخص عمل الدماغ البشري هو فتح جديد في مجال الذكاء الاصطناعي، فصناعة آلة ناطقة إنما هو محاكاة لكيفية نطق الكائن البشري بكل ما يحمله ذلك من تعقيد على مستوى الدماغ، فالتعرف الآلي على المنطوق، هو محاكاة لحوسبة اللغة في الدماغ، من خلال كل هذا نطرح الإشكاليات التالية: ماهي آليات حوسبة اللغة في الدماغ؟، وكيف يتم التعرف الآلي على المنطوق؟، وماهي أوجه محاكاة الآلة للدماغ البشري؟.

نهدف في هذه الدراسة إلى الوقوف على علاقة اللغة بالدماغ من خلال إبراز آليات معالجة اللغة فيه كما نهدف إلى توضيح ميكانيزمات الآلة في التعرف على المنطوق، بالإضافة إلى دراسة أوجه محاكاة الآلة للدماغ البشري في التعرف على المنطوق.

انتهجت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، بالإضافة إلى المنهج المقارن.

2. اللـغة والدمـاغ:

. تعتبر اللغة من أهم ما يقوم عليه التفكير البشري، وهي وسيلة التواصل الأولى بين البشر ونتيجة هذا الأمر نالت عناية الباحثين في الكشف عن أسرارها ولاسيما ما تعلق بعلاقتها مع الدماغ البشري حيث طرح العلماء سؤالا لايزال إلى اليوم محل بحث: كيف ينتج الدماغ البشري اللغة؟.

هذا السؤال يقتضي النظر إلى جانبين مهمين وهما معرفة ماهية اللغة، وفي المقابل الكشف عن تركيبة الدماغ البشري وإبراز آلية عمله في استقبال اللغة والتعرف عليها وإنتاجها انطلاقا من ماهيتها.

12. مـاهية اللـغـة:

كان لموضوع اللغة رواج كبير عند اللغويين والفلاسفة، كون اللغة وسيلتهم الوحيدة في التعبير عن وجهات نظرهم وأفكارهم وانفعالاتهم، مما جعلهم يبحثون عن أسرارها وسبر أغوارها، فبدأ البحث عن ماهية اللغة وصياغة التعريفات لها من منطلق أن اللغة هي المادة التي تبنى بها العلوم، قال ستيفن ملارميه: إن "العلم الذي وَجد في اللغة تأكيدا لذاته، عليه أن يصبح الآن تأكيدا للغة"[1]، ومن هنا يمكن أن نحدد مرتكز البحث عن ماهية اللغة وذلك باعتبارها وسيلة العلوم في إثبات نفسها.

لتبدأ بذلك صياغة تعاريف لها، كل من وجهة نظره وتصوره لماهية اللغة، فعرّفها ابن جني بأنها: " ... أصوات يعبر بها كل قوم عن أغراضهم"[2]، وبهذا اعتبر ابن جني اللغة أصواتا يعبر بها الأقوام عن حاجاتهم اليومية، ومنه جعل للغة طبيعة صوتية إكوستيكية؛ أي ربطها ربطا مباشرا بما هو منطوق، لأنه سيبين علة وجودها بكونها وسيلة لتعبير القوم عن حاجاته، وهذا التواصل بين الأفراد في التعبير عن حاجاتهم يكون غالبا بوجود متكلم (ناطق) ومستمع (متلقي) في حقل فيزيائي لتتم عملية التواصل، فاللغة أصوات وهذه الأخيرة لا تتشكل إلا من خلال جهاز نطقي أي عضوي، مربوط بمنظومة إدراكية تحركه، وعليه " لابد من توفير قدر من المعرفة عن طبيعة العقل البشري لكي نتكلم اللغة ونفهمها ونكتبها لأنها قائمة على أساس نسق من القواعد البنائية ..."[3].

تعريف ابن جني للغة وافقته اللسانيات الحديثة من خلال بعض توجهاتها في مفهومها للغة، فقد عبر عنه بعض علماء الإدراك "بأنها قدرة نفسية، وعضو ذهني، ونظام عصبي، وقالب حوسبي "[4] ، كما أن "هامبولت" اعتبر أن "إنتاج اللغة يختزل في الاستجابة لحاجة التواصل"[5]، وهذا نفس التصور الذي جاء به ابن جني، غير أن هامبولت أعطى بعدا آخر للغة واعتبره الأهم وهو البعد الإبداعي للغة وعبّر عنه بالشكل الداخلي، هذه المقاربة تجعل للغة علاقة مباشرة مع الفكر وبالتالي مع الدماغ البشري، في إطار منطلق عام هو: "فطرية اللغة".

فكرة فطرية اللغة لم تكن وليدة البحث المعاصر، بل كانت منذ القديم، فالناظر في فلسفة سقراط وتلميذه أفلاطون وحتى أرسطو، يجد إشارة واضحة إلى ذلك، لأنهم نظروا إلى اللغة نظرة منطقية، لتبقى هذه الفكرة سائدة إلى يومنا هذا، فالمدافعون عن فطرية اللغة أعطوا أدلة تثبت ذلك، فقد طرح ستيفن بينكر في كتابه " الغريزة اللغوية" مثالا تقريبيا أثناء دفاعه عن فطرية اللغة، قائلا: "أن الناس يعرفون كيف يتكلمون، بالمعنى نفسه تقريبا الذي تعرف به العناكب كيف تنسج بيوتها، فنسج بيوت العناكب لم تخترعه عنكبوت عبقرية، ولا يتوقف على الحصول على تعليم مناسب، ولا على امتلاك قدرة خاصة في الهندسة المعمارية أو مهنة النسج، فتنسج العناكب بيوتها ...لأن لها عقول عناكب تدفعها إلى النسج، وتعطيها القدرة على النجاح في ذلك"[6]، وبهذا يقر "ستيفن بنكر "بفطرية اللغة وأنها إبداع متعلق بالعقل والفطرة تولد مع الإنسان، هذا الطرح برع فيه "نعوم تشومسكي " فاللغة عنده عبارة عن ملكة فطرية وتظهر بصورة جلية في قدرة الناطق بلسان من الألسن على فهم وإدراك و إنتاج مالا نهاية

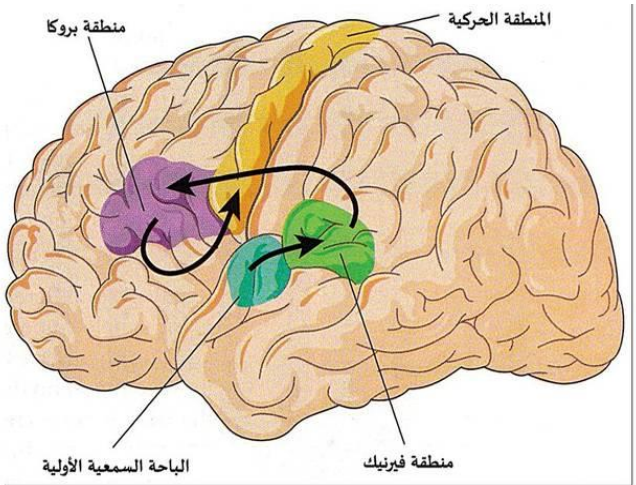
له من التراكيب عن طريق نسق معين أطلق عليه الكفاية اللغوية، "وقد وجد تشومسكي أن الكفاية اللغوية تقوم بها ملكة في الذهن، وأن الإنسان يكتسب لغته بفضل وجود هذه الملكة، أي بالفطرة والسليقة، وأن اللغة تكمن في أدمغتنا بمعزل عن تعليلها"[7]، هذا التصور تبنته النظرية التوليدية التحويلية التي تقوم على مبدأ اللغة ذات طبيعة فطرية إبداعية متعلقة بالكفاية اللغوية للناطق بلسان من الألسن.

وعليه إذا كانت اللغة فطرية غريزية، أي متعلقة أساسا بالذهن، فهذا يوجب وجود مناطق خاصة بها في الدماغ يمكن ضبطها والوقوف على آليات عملها.

23. معالجة الدماغ للغة:

إنتاج جملة واحدة يقتضي تظافر مجموعة من الوظائف الحيوية في جسم الإنسان، منها الجهاز النطقي بكل أجزائه ومكوناته، ولا يمكن للجهاز النطقي أن يقوم بوظيفته على أكمل وجه إلا إذا تلقى أمرا من الدماغ وبهذا يعتبر الدماغ المحرك الأساس لعملية إنتاج اللغة، وكذلك فهمها، كونه قادرا على إنتاج الأشياء التي تسمح له بالتواصل مع الآخرين، فقدرة الدماغ على صنع تلك النماذج لا يمكنه أن يحدث إلا إذا وُجدت مناطق مسؤولة عن ذلك فيه.

يتكون الدماغ البشري من فصّين فصّ أيمن وفصّ أيسر، وتؤكد الدراسات أن كلا الفصّين مسؤولان عن عملية معالجة اللغة، كون كلا الفصين مرتبط بالآخر ومتحكم فيه، مع فروقات بسيطة في أحجام بعض المناطق في النصفين، هذه المناطق تمثل شبكة موسعة مسؤولة عن اللغة في الدماغ، بيد أن هناك منطقتين أساسيتين تم اكتشافهما واحدة مسؤولة عن إنتاج اللغة وأخرى مسؤولة عن فهمها، هذان المنطقتان هما: منطقة بروكا ومنطقة فيرنك.[8]



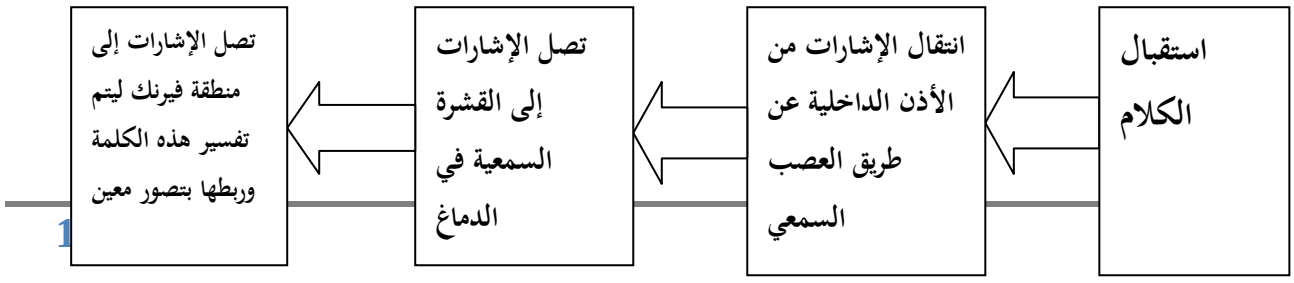
صورة توضح منطقتي "بروكا" و"فيرنك" في الدماغ

يتعلق تعلم اللغات بمجموعة من المهارات متمثلة في: الكلام، الاستماع، القراءة والكتابة، وعلية فاستعمال متعلم اللغة لهاته المهارات يقتضي تفعيل مناطق من الدماغ، فعند القراءة مثلا فإن الأعصاب البصرية ترسل إشارات من العين إلى القشرة البصرية، وعند سماع شيء ترسل الأذن إشارات إلى القشرة السمعية، ومعالجة **صورة** هذه الإشارات تتم على مستوى منطقة فيرنك المسؤولة عن فك الشفرات أي الفهم والتعرف، وحين يتم الرد على الرسائل الداخلة والتي فهمت عن طريق منطقة فيرنك، ترسل إشارات إلى منطقة بروكا المسؤولة عن إنتاج الكلام[9].

1. مرحلة الاستقبال والتعرف على اللغة (الكلام):

عند سماع الكلام "تصل النبضات العصبية المتولدة في الأذن الداخلية إلى المنطقة السمعية في الدماغ عن طريق العصب السمعي وبعد ذلك ترسل هذه النبضات عن طريق خلايا عصبية متخصصة إلى منطقة "فيرنك" حيث يتم تفسير وفهم الكلام المسموع، تتميز خلايا هذه المنطقة بقدرتها العجيبة على تفسير واستنتاج شدة ودرجة ومعنى الموجات الصوتية التي تصلها... تقوم خلايا منطقة فيرنك مباشرة وبسرعة فائقة بعملية مقابلتها بما هو مخزّن لديها في تشابكات الخلايا العصبية الذي اكتسبته بالتعلم، فتكون نتيجة المقابلة مثلا أن هذا النوع من النبضات لفلان، أو نبضات حاملة لموجات صوتية جديدة لم يُسمع بها من قبل، وعليه يتم تحديد نوع الصوت، وصاحبه، والتعرف عليه، أي أنها تقوم بربط الكلام المسموع بتصور معين، فتتم عملية تفسير، وفهم الكلام المسموع في هذه المنطقة.[10]

المخطط التالي يمثل اختصارا لمراحل استقبال والتعرف على الكلام في الدماغ:



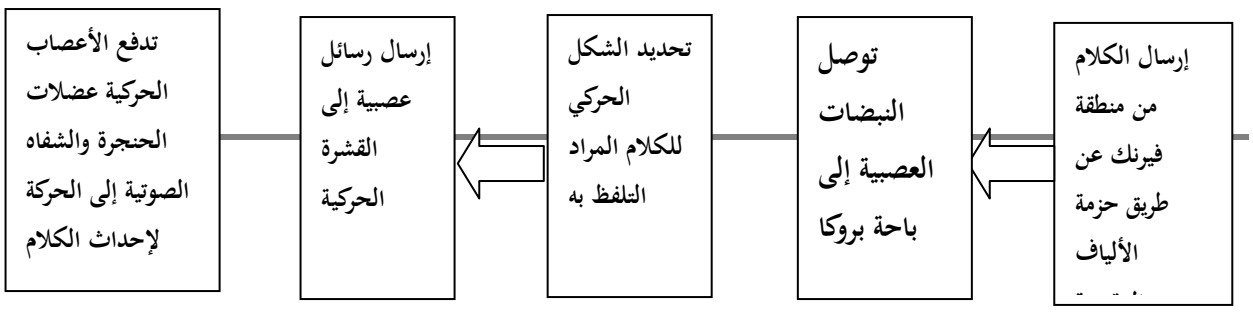
مخطط يبيّن مراحل استقبال والتعرف على المنطوق في الدماغ
من إنشاء الباحث

في حال كانت الكلمة مكتوبة فإن نفس العملية تبدأ بمنطقة القشرة البصرية التي تستقبل الإشارة من العصب البصري لتستكمل نفس الدورة.[11]

2. مرحلة إنتاج اللغة:

تمر عملية إنتاج اللغة في الدماغ بمجموعة من المراحل تنطلق بداية من سماع الكلام إلى غاية التلفظ أو الرد (إنتاج اللغة)، "فعند سماعنا لكلمة ما، يعطي لنا الدماغ أقرب صورة مسجلة لتلك الكلمة نتيجة التصور البصري في الدماغ الناتج عن السمع، وإذا أراد نفس الشخص الذي تلقى كلاما مسموعا الرد والتواصل مع غيره، فإن الكلام يرسل من منطقة فيرنك عن طريق حزمة الألياف المقوسة"[12]، التي توصل النبضات العصبية إلى باحة بروكا التي تقوم بتحديد الشكل الحركي للكلام المراد التلفظ به، ثم تقوم بإرسال التعليمات اللازمة على شكل رسائل عصبية إلى تلك الأجزاء من قشرة المنطقة الحركية التي تتحكم في عضلات الحنجرة والشفاه الصوتية، حيث تمر نبضات الإثارة التي تنبع من خلايا القشرة الحركية، عبر الأعصاب الحركية، لتدفع عضلات الحنجرة والشفاه الصوتية وأعضاء النطق إلى الحركة لإحداث الكلام.[13]

نلخص هذه العملية في المخطط التالي:



مخطط يوضح مراحل إنتاج اللغة في الدماغ من إنشاء الباحث

معالجة اللغة في الدماغ تمر عبر طريقين: طريق فيسيولوجي وهو الذي ذكرناه سابقا، وطريق بيولوجي تتم فيه معالجة المعلومات كيميائيا في الدماغ، عن طريق انتقال المعلومات من عصبون إلى آخر في المشبك على شكل "نبضات عصبية" كهروكيميائية تعرف بالأيونات (LES IONS).[14]

3. اللــغة والآلـــة:

"... بينما يتم سحب الأنابيب الإلكترونية "لهال" ببطء يسمع المشاهدون صوت الآلة الضالة في "هال" وهي تعلن ذكرياتها ومشاعرها التي تتضاءل ..."[15]

هذا مشهد يصوره " ستانلي كوبريك" عن آلة تنطق وتعبر عن مشاعرها، في تصوير قابل للتصديق عن آلة ناطقة بلغة يفهمها السامع، ولهذا اعتبر أحد الفلاسفة أن اللغة خطيرة باعتبارها مقولة عقلية، لأن خاصية الإبداع التي تتميز بها اللغة، تجعل باستطاعتها تغيير الحقائق، وجعل ما كان في خانة الخيال العلمي حقيقة واقعة، يقول بنفنست: "اللغة لها القدرة على تنظيم الوجود"[16]، فاللغة خطيرة تبعا لهذا فكل ما يملأ الوجود يحتكم إليها، باعتبارها وسيلة التواصل الوحيدة المنظمة له، والأمر لم يتوقف على اللغة في محيط التواصل المباشر، أي في إطار الذكاء البشري، بل انتقل إلى عالم آخر وهو عالم التواصل الرقمي والتكنولوجي، يعني الذكاء الاصطناعي، مما جعل اللغة أكثر تعقيدا وأكثر خطورة.

بناءً على هذا التعقيد الذي يشهده العالم في ميدان التواصل من خلال الاعتماد على الذكاء الاصطناعي والآلات، وكون اللغة هي وسيلة التواصل الوحيدة، السؤال الذي يجب أن يطرح: من تكون لغته ممثلة في أجهزة وآلات المستقبل؟.

هذا السؤال يدفعنا إلى الاهتمام بدراسة آليات تطوير - أو على الأقل فهم- تعرف الآلة على اللغة والوقوف على علاقة اللغة بالآلة في ميدان الذكاء الاصطناعي، وبما أن دراستنا هذه تركز على المنطوق، فسنصب اهتمامنا على التعرف الآلي على المنطوق.

1.3 آلية التعرف على المنطوق:

"التعرف على الكلام أو المعروف باسم التعرف الآلي على الكلام (ASR)، هو عملية تعرف الحاسوب على كلام الإنسان، ويعرّف التعرف الآلي على الكلام أيضا بأنه" بناء نظام لرسم خرائط الإشارات الصوتية في سلسلة من الكلمات، حيث تعرّف الإشارة الصوتية على أنها متغير يحمل بعض أنواع المعلومات التي يمكن نقلها أو عرضها أو معالجتها".[17]

- **تقنيات التعرف الآلي على المنطوق:**

يعتمد التعرف الآلي على المنطوق عدة تقنيات وطرق تستخدم خوارزميات تحسّن من تقنية التعرف نذكر منها:

❖ **معالجة اللغة الطبيعية(NLP) :**

المقصود بالمصطلح هو معالجة اللغات الطبيعية من قبل الحاسبات، ولأهمية اللغة عند البشر، فإن فكرة منح الحاسبات قابلية لمعالجة اللغات البشرية موجودة منذ ظهور فكرة الحاسبات[18]، فالمعالجة الآلية للغات الطبيعية تعني معالجة اللغة الطبيعية آليا في شتى أشكالها.

تعتمد عملية معالجة اللغة الطبيعية على عدة محللات :

- محلل صرفي
- محلل نحوي
- محلل دلالي
- محلل صوتي

بما أن الدراسة تركّز على المنطوق أو الصوت، والذي يعتبر منطلق كل المحللات الأخرى، فإننا سنبرز أهميته في المعالجة الآلية للمنطوق.

يقوم المحلل الصوتي بتحليل الصوت إلى وحدات صوتية تعرف بالفونيمات، كل هذا ضمن نظام حاسوبي يتولى تحويل الموجة الصوتية إلى نموذج مفهوم للإنسان، ولكي يتعرف الحاسب على هذه الموجة عليه:

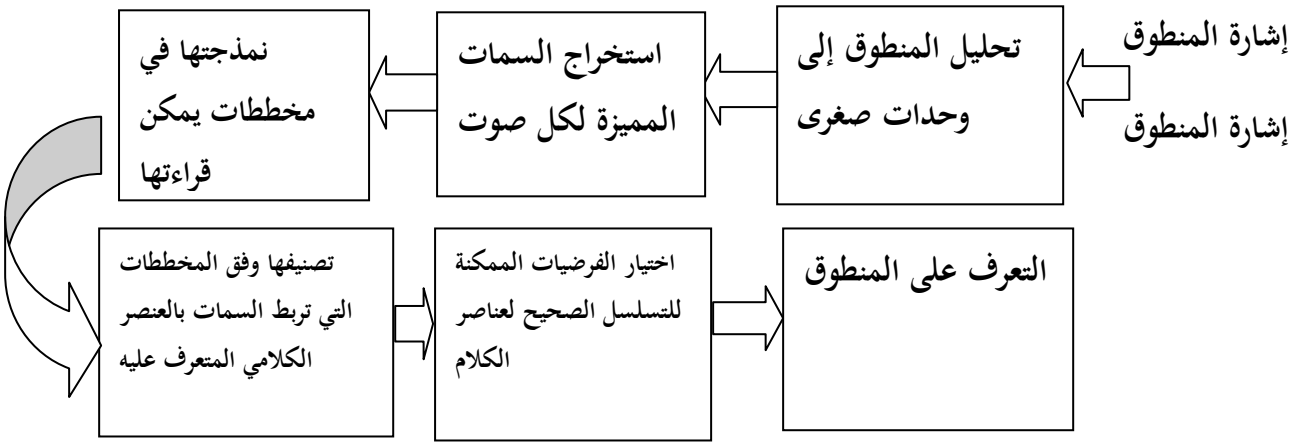
- معالجة الإشارة الصوتية ليتمكن من التعامل معها.
- تحديد الفواصل/ الحدود بين كل صوت وآخر على الموجة الصوتية.
- استخلاص الخصائص الاكوستيكية للأصوات بين الفواصل.
- مقارنتها بالخصائص الصوتية المخزنة لديه.

- اختيار المقارب لكل صوت على حسب أعلى احتمالية ممكنة ليصل إلى نتيجة أن هذه الموجة من أصوات محددة[19].

حتى يتم فهم الكلام المنطوق بواسطة الكمبيوتر، يعتمد في بدايته على تحليل الإشارة الصوتية ومن ثم تحويلها إلى نماذج للكلام، وللوصول إلى نماذج كلامية مفهومة يتحدد ذلك بنظام خاص وفق أحدث التقنيات المستعملة، تتلخص مراحل التعرف على المنطوق في المراحل التالية[20]:

- **مرحلة استخراج السمات:** يتم في هذه المرحلة تحويل إشارة الكلام إلى تسلسل من أشعة السمة، التي تمثل المعلومات في الكلام المنطوق، يتم في هذه المرحلة تقليل أبعاد إشارة الكلام الأصلية ... من الخصائص الهامة لمرحلة استخراج السمات هو كبت المعلومات التي ليس لها أهمية، من أجل تصنيف صحيح مثل: المعلومات حول المتحدث، المعلومات التي تخص قناة النقل، وغيرها .
- **مرحلة التصنيف:** وظيفة المصنف هو إيجاد الرسم التخطيطي بين تسلسل أشعة السمة، وبين عنصر الكلام المتعرف عليه.
- **نماذج اللغة:** وظيفة نماذج اللغة هو اختيار الفرضيات التي هي على الأرجح التسلسل الصحيح لعناصر الكلام للغة المعطاة.

يمكن تلخيص مراحل التعرف على المنطوق في المخطط التالي:



مخطط يظهر مراحل التعرف على المنطوق من إنشاء الباحث

يرتبط العمل التقني في التعرف على المنطوق بالجانب البرمجي المعتمد أساسا على خوارزميات مبنية خصيصا للتعرف على المنطوق، وقبل بناء تلك الخوارزميات على المبرمج الآلي أن يعتمد في ذلك على نماذج لغوية وقواعد تركيب الكلام، قد يكون التركيب بسيطا مثل التراكيب التي تكون منتهية، وقد تكون عامة، هنا يكون الاقتراب إلى اللغة الطبيعية باستعمال قواعد حساسة للسياق، بعد تحديد النموذج اللغوي وباستخدام اعدادات

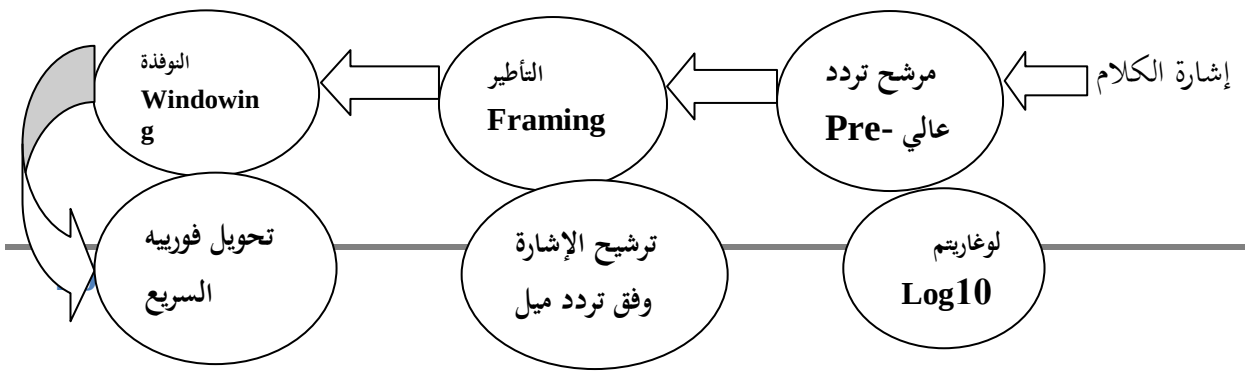
متخصصة تضع فرضيات لعدد الكلمات التي يمكن أن تلي كلمة معينة، بالتسلسل يتشكل التركيب المراد التعرف عليه، وقد صار لدينا خوارزميات ونظم تعرف على الكلام عالية الأداء [21].

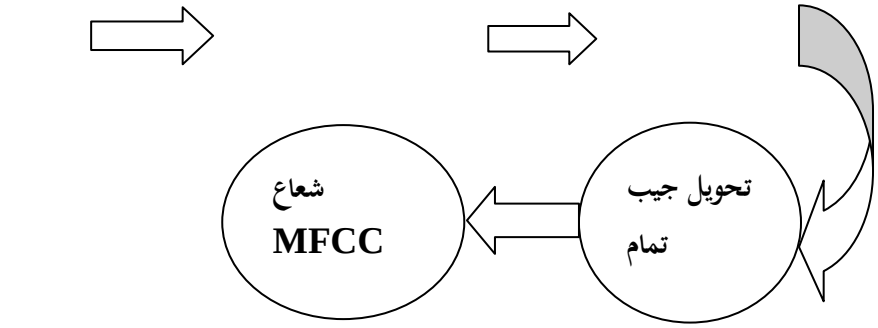
2.3 أنظمة التعرف على المنطوق:

تتألف أنظمة التعرف على المنطوق من أربعة مكونات أساسية: معالجة الإشارة، النمذجة الصوتية، النمذجة اللغوية، ومحرك البحث[22]، تعمل أنظمة التعرف على المنطوق وفق خوارزميات، من بين أنجع الخوارزميات المستعملة في التعرف الآلي على المنطوق نذكر: خوارزمية MFCC و خوارزمية الشبكات العصبونية.

أ- خوارزمية MFCC:

طريقة لتحليل الإشارة الصوتية ذات المواصفات العالية لتثمين مواصفات الكلام، كطبقة الصوت ونغمته ..[23]، وهي من الطرق السائدة والمهيمنة المستخدمة في استخراج السمات، وذلك بسبب حساسية مرشحاتها لخواص إشارة الأصوات البشرية، تستخدم بشكل كبير في التعرف على الكلام، فالأصوات المتولدة من قبل الإنسان يتم ترشيحها حسب المسلك الصوتي، فإذا تم تحديد المسلك الصوتي يتم تحديد الصوت الذي تم إنتاجه، المسلك الصوتي يتجلى في غلاف طيف طاقة الزمن، وهدف خوارزمية MFCC هو تمثيل هذا الغلاف بدقة، تعتمد MFCC على التغيرات المعروفة في عرض حزمة الترددات للأذن البشرية، حيث أن لمرشحاتها تباعدا خطيا على الترددات المنخفضة ولوغاريتميا على الترددات المرتفعة، وهي تستخدم لالتقاط الصفات الرئيسية للكلام، تعمل الخوارزمية وفق المخطط التالي:[24]





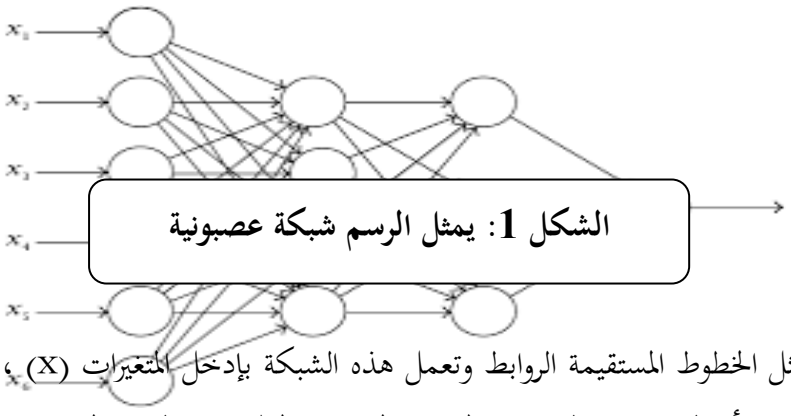
مخطط عمل خوارزمية MFCC

تحليل المخطط:

عند استقبال إشارة الكلام يتم أولا تطبيق عملية (pre-emphasis) على الإشارة وذلك من أجل تعويض جزء التردد العالي الذي تم فقده أثناء عملية إنتاج الكلام، بعدها يتم تقطيع الإشارة إلى عدد من الإطارات زمن كل إطار من 20 إلى 40 ميلي ثانية مع وجود تداخل يساوي نصف أو ثلث حجم الإطار، وذلك من أجل تسهيل الانتقال من إطار إلى آخر، بعد هذا كل إطار يخضع لعملية النوفذة من أجل حذف الانقطاعات عند الحواف، بعد النوفذة يجب تطبيق تحويل فورييه السريع FTT على كل إطار وذلك من أجل استخراج ترددات الإشارة في المجال الزمني، ثم يتم ترشيح طيف الإشارة الصوتية عن طريق مجموعة من المرشحات المثلثية التي صممت كمحاكاة لمرشحات تمرير الحزمة التي تظهر في النظام السمعي، تكون مجموعة المرشحات المثلثية السابقة متباعدة بانتظام وفقا لمقياس ميل الترددي، تطبيق هذا المقياس يجعل السمات أقرب إلى سمع الإنسان، يتم بعدها حساب اللوغاريتم لطيف مجال ميل، ليتم فيما بعد تحويل جيب تمام المنفصل DCT لإعادة تحويل طيف مجال ميل اللوغاريتمي إلى مجال الزمن، حيث يتم في الأخير نتيجة هذا الحصول على شعاع الـ MFCC[25].

ب- خوارزمية الشبكات العصبونية :

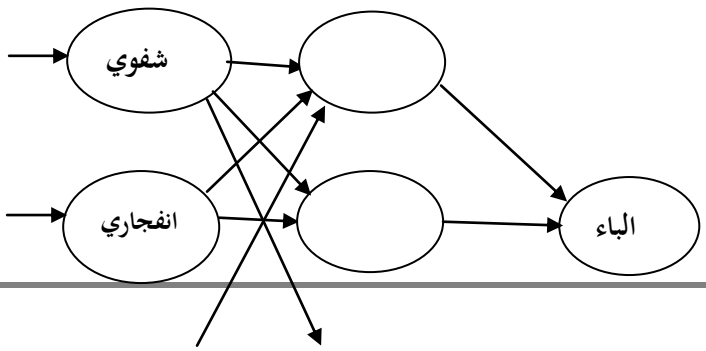
تعتبر الشبكات العصبونية من أهم طرق الذكاء الاصطناعي، وتتمحور فكرتها حول محاكاة قدرة العقل البشري على التعرف على الأنماط، وتمييز الأشياء باستخدام الحاسب الآلي من خلال اتباع عملية التعليم الذاتية التي تحدث في العقل، والتي يتم فيها الاستفادة من الخبرات السابقة في سبيل الوصول إلى أفضل نتائج في المستقبل[26]، تكمن الفكرة الأساسية لآلية عمل هذه الشبكة في خلق آلية عمل مشابهة للنظام العصبي العضوي المشكل من خلايا عصبية مترابطة ، تعمل مجتمعة لحل المشكلات التي تواجه المستخدم، تمتاز بقدرتها على تعلم الاستجابة الصحيحة للمتغيرات المختلفة[27]، وتنقسم الشبكات العصبونية إلى شبكات عصبونية بسيطة ومعقدة.

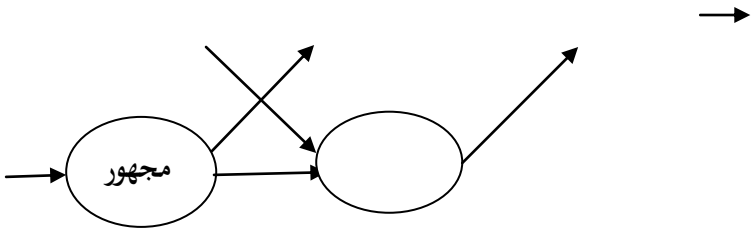


الشكل 1: يمثل الرسم شبكة عصبونية

تمثل الدوائر العقد، وتمثل الخطوط المستقيمة الروابط وتعمل هذه الشبكة بإدخال المتغيرات (X)، التي من خلالها يتم التنبؤ، تتم عملية التنبؤ أو التوقع عن طريق إدخال قيم المتغيرات المعلومة في العقد المخصصة للإدخال بحيث يصبح لكل عقدة قيمة أو سمة، بعد ذلك يتم ضرب قيمة كل عقدة بقيمة الرابط المتصل بها وتجميع كل النتائج بحسب المعادلة الرياضية المعرفة في الشبكات العصبية، ومن ثم الحصول على نتيجة التنبؤ بوقوع الحدث الذي يتم استكشافه[28]، تسمى الطبقة الأولى طبقة الإدخال، والطبقات الوسطى تسمى الطبقات المخفية، والطبقة الأخيرة تسمى طبقة الإخراج (الشكل 1)، أما إن كانت الشبكة العصبونية بسيطة فتتكون من طبقة إدخال وطبقة إخراج (الشكل 2).

سنمثل لهذه العملية بشبكة عصبية بسيطة كما يلي:





الشكل 2: رسم توضيحي يمثل كيفية التعرف على حرف الباء من خلال شبكة عصبونية بسيطة من إنشاء الباحث

يمثل المخطط شبكة عصبونية بسيطة تبين التعرف على حرف الباء من خلال السمات المميزة له، لتمثل كل من: شفوي، انفجاري، مجهور، مدخلات الشبكة، يتم الربط بينها بمعادلات رياضية ومنطقية خاصة بالشبكة والتعرف على حرف الياء هو مخرجاتها، وهذا ببساطة مبدأ عمل الشبكات العصبونية، ولكن يجب التنبيه على أن هناك شبكات عصبونية معقدة بحيث تحتوي على طبقات مخفية، وكلما كانت الطبقات المخفية المتواجدة بين طبقة المدخلات والمخرجات كثيرة، كلما كانت دقة التوقع كبيرة.

4. اللغة من الفهم الطبيعي إلى التعرف الآلي:

الحديث عن اللغة عموما أو عن المنطوق خصوصا بين فهم الدماغ وتعرّف الآلة، القصد منه محاكاة الآلة –في تعرفها على اللغة– للدماغ البشري، باعتبار أن كل المبادئ العملية التي بُنِيَ عليها عمل الآلة فكرتها الأولى مستوحاة من عمل الدماغ البشري، وعليه فكل قصور يلحق دقة عمل الآلة هو في الحقيقة نتيجة لعدم الفهم الدقيق لعمل الدماغ البشري، أو عدم التوصل إلى الكشف عن بعض أجهزته أو معرفة ماهية عمل بعض مناطقه، ولهذا لايزال إلى اليوم البحث في الدماغ البشري قائما نتيجة وجود مبهمات لم يتم كشف أسرارها بعد، وعليه فكل اكتشاف جديد يخص عمل الدماغ البشري هو في الحقيقة فتح جديد في ميدان الذكاء الاصطناعي.

التجارب العلمية قبل حصولها في الواقع هي تصورات متخيَّلة أو نماذج مأخوذة عن أشياء مشابهة لها في عالم آخر، في صورة محاكاة عالم لعالم آخر، فما يقوم عليه الذكاء الاصطناعي هو محاكاة للذكاء البشري، ونظرية المحاكاة لم تكن وليدة اليوم بل هي قديمة في التفكير الفلسفي والعلمي، فمن محاكاة الانسان للطبيعة، إلى محاكاة الآلة للإنسان نفسه، في تطوّر نظري لكل ما هو طبيعي، لتصبح الطبيعة بكل تفاصيلها مصدر إلهام لابتكارات تخدم الكائن البشري وفي بعض الأحيان تصنع عالما موازيا لعالمه الطبيعي.

1.4 تقييس الدماغ البشري:

تمكن العلماء من صناعة آلاف الخلايا العصبية الافتراضية المعقدة التي تحاكي ما يجري داخل أنسجة المخ الحقيقية، وعلى الرغم من عدم الإحاطة الكلية بآليات عمل الدماغ البشري إلا أن العلماء مصرّون على صناعة دماغ آلي يشبه الدماغ البشري، هذا الكلام بناء على ما نعاينه من تطور مبهر في مجال الذكاء الاصطناعي، فما كان يظهر مستحيلا أصبح اليوم ممكنا، فصناعة آلة ناطقة ومحاورة في نفس الوقت أصبح أمرا لا يثير الدهشة، ولكن لاتزال هناك إشكالات كثيرة تعيق عمل الآلة، فمرجع صناعتها يعود إلى فهم كلي لعمل الدماغ البشري وهذا لم يصل إليه العلماء بعد، لأن الدماغ يحوي ملايير الشبكات العصبية المتفاعلة فيما بينها التي يصعب فهم ترابطها وآليات عملها، في صورةٍ يحاول فيها العقل فهمَ العقل، ثم الإشكال الآخر المطروح هو: هل بإمكان البشرية أن تصنع دماغا اصطناعيا مدركا عاقلا كالدماغ البشري ؟، هنا ينتقل العلماء من محاولة محاكاة الدماغ إلى محاكاة العقل، هذا الإشكال أجاب عنه غاري ماركوس بقوله: "بطريقة ما، إنها مجرد طرق مختلفة للنظر إلى الشيء نفسه، ولكن في بعض الأحيان، يكون من المفيد فعل ذلك، أنت لست بحاجة إلى نسخة طبق الأصل، ما تحتاج إليه هو تعلم المبادئ التي تسمح للدماغ بأن يكون فعّالا كما هو"[29]، فاعتبر ماركوس بقوله هذا أنه لصناعة دماغ اصطناعي يحاكي الدماغ البشري يكفي فقط فهم المبادئ التي تجعل من الدماغ يعمل بفاعلية كما هو عليه الآن، ولكن من العلماء من اعتبر مجرد فهم مبادئ عمل الدماغ البشري غير كاف لصنع دماغ آلي فعال محاكي في عمله لعمل الدماغ البشري، فالآلات "التي يقتصر ذكاؤها الاصطناعي على تدبير الرموز الحسابية البسيطة لا تستطيع أن تحل محل الوعي الإنساني الذي لا تخضع عملياته التفكيرية والادراكية والاحساسية لقوانين الفيزياء الكلاسيكية"[30]، وهنا إشكالية محاكاة الدماغ البشري، فالطبيعة البيولوجية والفيسيولوجية المعقدة للدماغ البشري وحركة الوعي المرتبطة به، لا يمكن للقوانين الفيزيائية تفسيرها، هذا التحليل رفضه بعض العلماء الذين يناصرون نظرية تشابه الذكاء الاصطناعي مع الذكاء البشري إذ يقر "مارغن مينسكي" في كتابه (الآلة الانفعال: تفكير الحس المشترك والذكاء الاصطناعي ومستقبل الذهن البشري) أن "الكائنات البشرية مع أنها آلات معقدة التركيب والوظيفة، تخضع للقوانين الفيزيائية التي يمكنها أن تتطور تطورا مدهشا يجعل الآلات تحتضن إستثارات الخلايا العصبية في أشد تعقيداتها... في إثر هذا التطور العلمي المذهل، ستصبح هذه الآلات أذكى من معظم الناس"[31]، وعليه يمكننا القول أن محاكاة الآلة للدماغ البشري ممكنة في ظل التسارع المدهش لحركة العلم، ولكن تبقى محدودة وغير قادرة على احتواء بعض الظواهر، أو يمكننا القول أنها لا تملك آليات التعامل مع طبيعة بعض الظواهر الطبيعية كما يتعامل معها الذكاء البشري، ولنا في ميدان المنطوق العربي مثالا واضحا على ذلك، إذ لا زالت المعالجة الآلية لبعض ظواهر التراكيب الصوتية العربية صعبة، وإمكانية التعرف عليها تعرف تعقيدات كبيرة،

وعليه فمحاكاة الدماغ البشري ممكنة في حالات، وتبقى صعبة وتقتضي مجهودات مضنية في حالات أخرى.

2.4 نمذجة اللغة المنطوقة بين الدماغ والآلة:

اللغة المنطوقة هي السمة المميزة للكائن البشري، وهي العلامة الدالة على وجوده والمعبرة عن كيانه، فالاتحاد بين الكائن البشري ولغته يصنعان تكاملا معبرا عن الوجود ومكونا للمعنى في ساحة التواصل، ولا يمكن الدخول إلى فهم علاقة اللغة المنطوقة –التي تعتبر قمة النمذجة الدماغية– بالدماغ البشري إلا من خلال المعنى، فاللغة مصممة في الذهن لتكون حلا أمثل للربط بين الأصوات والمعاني[32]، وبما أن الأصوات شيء محسوس وظاهر إذ هي القالب الحامل للمعنى، يبقى المعول عليه هو المعنى لأنه الجانب المخفي الذي يجب أن نتبيّن كيفية تشكله واستعماله وكذلك تعلمه، فتلك الأصوات المنطوقة تحمل معاني تدخل في الدماغ مشفرة ليتم فك تشفيرها وفق نموذج يبنيه الدماغ "فلب عمل الدماغ فيما يخص اللغة هو بناء النموذج، فالعقل من خلال كل سيروراته وآلياته يعمل من خلال النماذج المفاهمية ... فكل مفردات الحياة البشرية عبارة عن نماذج مبنية بناءً محكما داخل العقل، يتعلمها ويحفظها ويقيس عليها الأشباه والنظائر، ويمثل مجموعها منظومة حياة الفرد، واللغة جزء أصيل ومركزي من هذه النماذج"[33].

يعمل الباحثون في علوم اللغة وخاصة المهتمين باللسانيات العصبية على تحديد بنية اللغة وكيفية تحليلها ونمذجتها في الدماغ، ليصلوا إلى تحديد ثلاث نظريات رائدة في هذا المجال وهي:[34]

- **نظرية التمثيلات:** وتهم بنيات المعطيات المخزنة في الذاكرة وتلك التي تبنى شبكيا، وتوافق النظرية الحاسوبية عند مار، ونظرية القدرة عند تشومسكي.
- **نظرية التحليل:** وتهم الهندسة الخاصة بمحلل اللغة، وكيفية اشتغال التمثيلات في الزمن الواقعي لخلق بنيات جديدة (النموذج)، وكيفية اكتساب التمثيلات المخزنة، ويسمي مار هذه النظرية : النظرية الخوارزمية.
- **نظرية الحوسبة العصبية:** وتهم كيفية تحقيق آلية نظرية التحليل في الدماغ، وينبغي أن يشمل ذلك على المدى البعيد، ليس فقط رصدا لتوضّع الدماغ، بل أيضا لتفاصيل دقيقة، كالكيفية التي يميز بها الترميز العصبي صوتا مثل (ت) من صوت (د)، وكلمة مثل (قط)من كلمة (كلب)، ويسمي مار هذه النظرية : نظرية التحقيق.

لم تصل المعرفة اللسانية العصبية إلى تفكيك شفرة معالجة اللغة المنطوقة في الدماغ / الذهن، كون الذهن خاصية من الدماغ مرتبط بسلاسل عصبية مادية، مما جعل دراسة اللغة على هذا المستوى لها بعد مادي شكلي، هذا الطرح استدعى ما اصطلح عليه "النظرية الحوسبية للذهن" التي تستند إلى تفسيرات مادية

فيزيائية، وهي بهذا المعنى نظام لمعالجة المعلومات أي: معالجة النظام العصبي (وهو الدماغ "التجهيزات" hardware)، للمعلومات بواسطة ميكانيزم وظيفي (هو الذهن "البرمجيات" software)، في توافق مع قواعد (هي الحوسبيات الشكلية " الخوارزميات" algorithms) لأجل تحقيق استجابات[35].

من خلال ماسبق يمكننا شرح عملية نمذجة أو معالجة المنطوق بين مبدأ عمل الآلة والدماغ في صورة إبراز أوجه المحاكاة بينهما، وتشابه مبدأ عملهما.

اعتمدت المعالجة الآلية للمنطوق على ما تم التوصل إليه في اللسانيات العصبية، فالتعرف الآلي على المنطوق هو "محاكاة للتفكير والأداء البشري وطرق اشتغاله في فهم اللغة، فكما يملك الدماغ محللا سمعيا، قامت الصوتيات المخبرية بدورها بإنشاء برنامج Speech analyser ويسمى اختصارا (S-A) الذي يحلل الصوت إلى مكوناته الجزئية في شكل الموجة الصوتية وحجمها وقياس شدة الصوت ودرجته ويحدد حزمه وبوانيه ليستخرجها في شكل صورة طيفية توضح مختلف الخصائص التي يتميز بها الصوت"[36]، يعتمد التعرف الآلي على المنطوق مبدئيا نفس طرق التعرف الطبيعي أي تعرف الدماغ/الذهن على المنطوق، في صورة محاكاة الآلة للدماغ البشري، من خلال كل ما أوردناه سابقا في دراسة التعرف الطبيعي والآلي على المنطوق نبرز أوجه محاكاة الآلة للدماغ في التعرف على المنطوق في الجدول الآتي:

أوجه المحاكاة	الدماغ/ الذهن	الآلـــة
مرحلة الاستقبال / المدخلات	تلتقط الأذن الكلام المنطوق ثم تحوله عن طريق المسالك العصبية إلى الدماغ.	تلتقط التجهيزات الحساسة الموجات الصوتية، لتحولها إلى أشكال قابلة للتخزين وفق خصائصها الفيزيائية والنطقية.
مرحلة المعالجة	تصل الإشارات إلى القشرة السمعية في الدماغ، يبدأ الدماغ في ربط تلك النماذج الصوتية مع نظيراتها المخزنة عن طريق روابط عصبية، ثم ينتقي تلك المتطابقة معها في عملية تحليلية للبيانات وفق قواعد ذهنية تحصل على شكل إشارات عصبية.	تحويل هذه المعطيات المخزنة إلى بيانات تتم معالجتها عن طريق خوارزميات وبرمجيات متخصصة تحلل البيانات وتعالجها وفق القواعد المنطقية.

مرحلة الفهم/ التعرف	تفسير تلك الإشارات العصبية وربطها بتصور معين لتحصل بهذا عملية فهم المعنى المقصود.	تتعرف الآلة على المنطوق عن طريق قيم الأطياف المتعلقة بالموجات الصوتية المدخلة في قاعدة البيانات.

جدول يوضح أوجه محاكاة الآلة للدماغ البشري في التعرف على المنطوق
من إنشاء الباحث

يسير تطور الذكاء الاصطناعي جنبا إلى جنب مع التطور المعرفي في مجال الذكاء البشري، إذ كلما أميط اللثام عن خبايا اشتغال الدماغ / الذهن البشري، كلما كان التطور في مجال الآلة أكثر سرعة، وأكثر فعالية، يقول عز الدين غازي: " فإذا كان المتكلمون لا يجدون عناء وصعوبة في التحدث والحوار الطبيعي، فإن إعادة إنتاج وفهم هذه العملية على مستوى الآلة، تقتضي تفكيك السيرورة المعرفية – اللغوية والبيو–عصبية بكل تعقيداتها وتشابكها، وهذا يعني الدخول في عمليات جديدة لتسنين وتشفير البنيات اللغوية، وبناء نماذج مماثلة تستجيب للكفاية وتجيب عن مختلف الصعوبات المطروحة في تقييس هذه الكفاية"[37]، فصناعة آلة ناطقة أصبح ممكنا وواقعا بناءً على الأشواط التي قُطعت في فهم كيفية عمل الدماغ البشري على انتاج وفهم المنطوق، في صورة محاكاة الآلة لعمل الدماغ، ومازال العمل على صناعة آلة مفكّرة، وهذا حين يتم فك شفرة عمل العقل البشري؟.

5. خاتمة:

في نهاية هذه الدراسة نخلص إلى النتائج الآتية:

- ✓ النظريات القائلة بفطرية اللغة تبقى المنطلق الأساس لدراسة اللغة في جانبها العصبي، مع حفظ النظريات القائلة بغير هذا القول كونها مكملة له.
- ✓ معالجة اللغة في الدماغ تتم عبر مناطق خاصة بها فيه.
- ✓ لم يتم الحسم في آليات معالجة اللغة في الدماغ، إذ لاتزال الدراسات تدقق في هذا المجال.
- ✓ التعرف الآلي على المنطوق يتم عبر خوارزميات تعتمد معادلات رياضية وروابط منطقية.
- ✓ لاتزال المعالجة الآلية للمنطوق العربي تعرف بعض الصعوبات نظرا لخصوصية المنطوق العربي.
- ✓ مبدأ المعالجة الآلية للمنطوق يعتمد على محاكاة الدماغ البشري في معالجة اللغة.

6. الهوامش:

[1] رومان جاكبسون، الاتجاهات الأساسية في علم اللغة، دط، ص 09.

[2] ابن جني، كتاب الخصائص، ج1، دط، ص 33.

[3] خالد الزواوي، اكتساب وتنمية اللغة، مؤسسة حورس الدولية والتوزيع الإسكندرية، دط، سنة 2007، ص 15.

[4] ستيفن بنكر، الغريزة اللغوية، كيف يبدع العقل اللغة، تر: د. حمزة بن قبلان المزيني، مكتبة المريخ، 2000م، ص 25.

[5] مصطفى بلبولة، اللغة والأمة مقاربة لفلسفة هامبولت، أطروحة لنيل شهادة الدكتوراه، جامعة وهران، إشراف:د. الحسين الزاوي، 2013/2012، ص 82.

[6] ينظر: ستيفن بنكر، المرجع نفسه، ص 25.

[7]أسماء ياسين رزق، نظرية الربط لتشومسكي، منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب، وزارة الثقافة، دمشق، 2021م، ص12.

[8] ينظر: محمد اسماعيل بن شهداء، إنتاج اللغة في الدماغ (دراسة في علم اللغة العصبي)، ص88،89.

[9] ينظر: د. عطية سليمان أحمد، اللسانيات العصبية، اللغة في الدماغ، (رمزية، عصبية، عرفانية)، الأكاديمية الحديثة للكتاب الجامعي، القاهرة، 2019، ص 230.

[10] ينظر: أمال كعواش، فيسيولوجية اللغة وآلياتها العملية من منظور اللسانيات العصبية، مجلة الآداب والحضارة الإسلامية، جامعة قسنطينة، مجلد: 12، عدد: 25، 2022، ص 94.

[11] موقع www.aljazeera.net.

[12] مجموعة من الألياف العصبية تربط بين منطقتي فيرنك وبروكا.

[13] ينظر: أمال كعواش، فيسيولوجية اللغة وآلياتها العملية من منظور اللسانيات العصبية، مجلة الآداب والحضارة الإسلامية، جامعة قسنطينة، مجلد: 12، عدد: 25، 2022، ص 94،95، عن عطية سليمان أحمد، اللسانيات العصبية اللغة في الدماغ، ص237.

[14] عناصر كيميائية مشحونة كهربائيا من مثل (البوتاسيوم) و(الصوديوم) وتسمى أيضا الناقلات العصبية. ينظر: أمال كعواش، المرجع نفسه، ص 98.

[15] سوزان شنايدر، الخيال العلمي والفلسفة من السفر عبر الزمن إلى الذكاء الخارق، ترجمة: عزت عامر، المركز القومي للترجمة، ص 27.

[16] ينظر: ايميل بنفست، مقولات الفكر ومقولات اللغة، تر: عبد الكريم الشرقاوي، https://www.aljabriabed.net

[17] راما غسان حسن، تحسين نتائج التعرف على الصوت بالاعتماد على نتائج تكامل أنظمة مختلفة، دراسة لنيل شهادة ماجيستير، إشراف د. جعفر محسن الخير، جامعة تشرين، 2014/ 2015.

[18] Jurafshy. Dan. And james H. Martin. Speech and language processing. Pearson Education. India. 2008.

[19] محاضرات في اللسانيات الحاسوبية، جامعة قسنطينة، fac.umc.edu. dz

[20] ينظر: راما غسان حس، تحسين نتائج التعرف على الصوت بالاعتماد على نتائج تكامل أنظمة مختلفة، ص10.

[21] ينظر: https//m.marefa.org

[22] ينظر: de shamra-academia . com

[23] يسرى فيصل، علي جاسم، تمييز الأرقام العربية المفردة النطق باستخدام الخوارزمية الجينية، مجلة الرافدين لعلوم الحاسوب والرياضيات، المجلد 11، العدد 1، 2014، ص130.

[24] راما غسان حسن، تحسين نتائج التعرف على الصوت بالاعتماد على نتائج تكامل أنظمة مختلفة، ص12،13.

[25] ينظر: د. جعفر الخير، تحسين أنظمة التعرف على الكلام عن طريق جمع خوارزميتين لاستخلاص السمات، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد 39، العدد 01، 2017، ص48، 49

[26] جمال أحمد الشوادفي، عبد الوهاب السيد حجاج، الذكاء الاصطناعي وتحليل السلاسل الزمنية، المجلة العلمية لقطاع كليات التجارة، جامعة الأزهر، العدد العاشر، 2013، ص 579.

[27] العربي بوعمران بوعلام، دور التقانات الحديثة فيلا معالجة الاضطرابات النطقية، برنامج PRAAT وmatlab، جلمعة خميس مليانة الجزائر، ص 364.

[28] ينظر: الشبكات العصبية . مفهومها واستخداماتها في التنبؤ ، مركز البحوث والدراسات متعدد التخصصات، mdrscenter .com، أخر تحديث: 19 ماي 2022.

[29] Oloom.Aspdkw.com ،إد جينيت، الذكاء الاصطناعي الهجين: طريقة جديدة لصنع عقول آلات تفكر مثلنا فعلا، ترجمة: محمد الرفاعي، 2022.

[30] مشير باسيل عون، الذكاء الاصطناعي يهدد إنسانية البشر ويفرض ثقافة أخرى، موقع: independentarabia.com، الجمعة 22 يوليو2022، الساعة: 18:52.

[31]المرجع نفسه.

[32] ينظر: شمس الدين الرحالي، مشكلات حوسبة المعنى رمزيا وعصبيا في الذهن/ الدماغ البشريين، مجلة الفكر اللساني، العدد الأول، 2021، ص 1

[33] عبد الرحمن محمد طعمة محمد، بيولوجيا اللسانيات: مدخل للأسس البيو–جينية للتواصل اللساني من منظور اللسانيات العصبية، مجلة الممارسات اللغوية، العدد 37، 2016، ص 39.

[34] محمد غاليم، اللغة بين ملكات الذهن بحث في الهندية المعرفية، دار الكتاب الجديد المتحدة، الطبعة الأولى، 2021، ص 34.

[35]ينظر: شمس الدين الرحالي، مشكلات حوسبة المعنى رمزيا وعصبيا في الذهن، مجلة الفكر اللساني، العدد الأول، أكتوبر 2021، منوبة، تونس، ص155.

[36] يمينة زكري، التطبيقات الآلية لمعالجة الصوت، مجلة المقري للدراسات اللغوية النظرية والتطبيقية، المجلد 3، العدد 2، جامعة باتنة، 2020، ص 69.

[37]غازي عز الدين، أيام 15، 16، 17، ماي 2014، المعالجة الآلية للغات الطبيعية والترجمة الآلية، تطبيقات نظام نوج nooj، مؤتمر الترجمة الآلية والحاسوب، فاس، المغرب، ص 8.

7– المصادر والمراجع:

- **المؤلفات:**

1– رومان جاكبسون، الاتجاهات الأساسية في علم اللغة، دط.

2– ابن جني، كتاب الخصائص، ج1.

3– خالد الزواوي، اكتساب وتنمية اللغة، مؤسسة حورس الدولية والتوزيع الإسكندرية، دط، سنة 2007م.

4– ستيفن بنكر، الغريزة اللغوية، كيف يبدع العقل اللغة، تر: د. حمزة بن قبلان المزيني، مكتبة المريخ، 2000م.

5– مصطفى بلبولة، اللغة والأمة مقاربة لفلسفة هامبولت، أطروحة لنيل شهادة الدكتوراه، جامعة وهران، إشراف:د. الحسين الزاوي، 2013/2012م.

6 – أسماء ياسين رزق، نظرية الربط لتشومسكي، منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب، وزارة الثقافة، دمشق، 2021م.

7– د. عطية سليمان أحمد، اللسانيات العصبية، اللغة في الدماغ، (رمزية، عصبية، عرفانية)، الأكاديمية الحديثة للكتاب الجامعي، القاهرة، 2019.

8– سوزان شنايدر، الخيال العلمي والفلسفة من السفر عبر الزمن إلى الذكاء الخارق، ترجمة: عزت عامر، المركز القومي للترجمة.

9– راما غسان حسن، تحسين نتائج التعرف على الصوت بالاعتماد على نتائج تكامل أنظمة مختلفة، دراسة لنيل شهادة ماجيستير، إشراف د. جعفر محسن الخير، جامعة تشرين، 2014/ 2015م.

10– محمد غاليم، اللغة بين ملكات الذهن بحث في الهندية المعرفية، دار الكتاب الجديد المتحدة، الطبعة الأولى، 2021م.

11- محمد اسماعيل بن شهداء، إنتاج اللغة في الدماغ (دراسة في علم اللغة العصبي)، دط.

- **المؤلفات الأجنبية:**

1- Jurafshy. Dan. And james H. Martin. Speech and language processing. Pearson Education. India. 2008.

- **المقالات:**

1- أمال كعواش، فيسيولوجية اللغة وآلياتها العملية من منظور اللسانيات العصبية، مجلة الآداب والحضارة الإسلامية، جامعة قسنطينة، مجلد: 12، عدد: 25، 2022م.

2- يسرى فيصل، علي جاسم، تمييز الأرقام العربية المفردة النطق باستخدام الخوارزمية الجينية، مجلة الرافدين لعلوم الحاسوب والرياضيات، المجلد 11، العدد 1، 2014م.

3- د. جعفر الخير، تحسين أنظمة التعرف على الكلام عن طريق جمع خوارزميتين لاستخلاص السمات، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد 39، العدد 01، 2017.

4- جمال أحمد الشوادفى، عبد الوهاب السيد حجاج، الذكاء الاصطناعي وتحليل السلاسل الزمنية، المجلة العلمية لقطاع كليات التجارة، جامعة الأزهر، العدد العاشر، 2013م.

5- العربي بوعمران بوعلام، دور التقانات الحديثة في معالجة الاضطرابات النطقية، برنامج PRAAT وmatlab، جلمعة خميس مليانة الجزائر.

6- شمس الدين الرحالي، مشكلات حوسبة المعنى رمزيا وعصبيا في الذهن/ الدماغ البشريين، مجلة الفكر اللساني، العدد الأول، 2021م.

7- عبد الرحمن محمد طعمة محمد، بيولوجيا اللسانيات: مدخل للأسس البيو-جينية للتواصل اللساني من منظور اللسانيات العصبية، مجلة الممارسات اللغوية، العدد 37، 2016م.

8- شمس الدين الرحالي، مشكلات حوسبة المعنى رمزيا وعصبيا في الذهن، مجلة الفكر اللساني، العدد الأول، أكتوبر 2021، منوبة، تونس، ص155.

9- يمينة زكري، التطبيقات الآلية لمعالجة الصوت، مجلة المقري للدراسات اللغوية النظرية والتطبيقية، المجلد 3، العدد 2، جامعة باتنة، 2020م.

- **المداخلات:**

غازي عز الدين، أيام 15، 16، 17، ماي 2014م، المعالجة الآلية للغات الطبيعية والترجمة الآلية، تطبيقات نظام نوج nooj، مؤتمر الترجمة الآلية والحاسوب، فاس، المغرب.

- **مواقع الأنترنت:**

1- مقال دون اسم الكاتب، موقع www.aljazeera.net

2- محاضرات في اللسانيات الحاسوبية، جامعة قسنطينة، fac.umc.edu. dz

3- https//m.marefa.or ، دون تاريخ.

4- de shamra-academia .com دون تاريخ.

5- https://www.aljabriabed.net ايميل بنفست، مقولات الفكر ومقولات اللغة، تر: عبد الكريم الشرقاوي.

6- الشبكات العصبية . مفهومها واستخداماتها في التنبؤ. ، مركز البحوث والدراسات متعدد التخصصات، mdrscenter .com، أخر تحديث: 19 ماي 2022م.

7- Oloom.Aspdkm.com، إد جينيت، الذكاء الاصطناعي المجين: طريقة جديدة لصنع عقول آلات تفكر مثلنا فعلا، ترجمة: محمد الرفاعي، 2022م.

8- مشير باسيل عون، الذكاء الاصطناعي يهدد إنسانية البشر ويفرض ثقافة أخرى، موقع: independentarabia.com، الجمعة 22 يوليو2022م، الساعة: 18:52.