

Machine Representation of Spoken Arabic and Its Applications: Machine Comprehension and Artificial Synthesis in Artificial Intelligence Applications

Aouarib Hanane

Department of Arabic Language and Literature, University of Kasdi Merbah Ouargla. Algeria

Email: aouarib.hanane@univ-ouargla.dz

Received : 14/01/2026 ; Accepted : 26/06/2026 ; Published : 25/07/2026

Abstract

The goal of this paper is to highlight the major artificial intelligence applications that rely on the representation of the spoken form of Arabic, along with its uses for the academic and practical needs of Arabic speakers, both native and non-native.

Structure of the Paper

- Section One: Representation of Spoken Language
 - The concept of spoken language
 - The concept of automatic speech processing
 - The importance of spoken language processing
 - Analysis and synthesis at the level of linguistic sounds
 - Speech synthesis and automatic understanding
- Section Two: Spoken Arabic in Artificial intelligence Application
- Challenges in representing spoken Arabic
 - Characteristics of the Arabic language system from an information-processing perspective
- Models for representing spoken Arabic in artificial intelligence applications

Keywords : Automatic processing, artificial synthesis, machine understanding, speech processing, artificial intelligence

تمثيل اللغة العربية المنطوقة آليا و تطبيقاتها: الفهم الآلي و التركيب الاصطناعي في تطبيقات الذكاء الاصطناعي

المخلص:

في هذه الورقة البحثية نحاول تسليط الضوء على أهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي التي تعتمد تمثيل اللغة العربية مشافهة و إبراز دورها في الحياة العلمية و العملية للمتكلم بالعربية من أبنائها و من غير أبنائها. وقد اتبعنا الخطوات الآتية:

المحور الأول : تمثيل اللغة المنطوقة ؛ مفهومها و أشكالها

- مفهوم اللغة المنطوقة
- مفهوم المعالجة الآلية للأصوات
- أهمية معالجة اللغة المنطوقة
- التحليل و التركيب في مستوى الأصوات اللغوية
- التركيب الاصطناعي و الفهم الآلي
- المحور الثاني: اللغة العربية المنطوقة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي**
- تحديات تمثيل اللغة العربية المنطوقة
- خصائص منظومة اللغة العربية من منظور معلوماتي
- نماذج تمثيل اللغة العربية المنطوقة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي

الكلمات المفتاحية: المعالجة الآلية_ التركيب الاصطناعي_ الفهم الآلي. المعالجة الصوتية. الذكاء الاصطناعي

تمهيد:

لقد أحدثت توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجالات الحياة اليومية ثورة نوعية ؛ و هذا بفضل قدرته على محاكاة اللغات الطبيعية مما أسهم في صناعة برامج و تطبيقات قادرة على التعامل باللغة المنطوقة فهما و تركيبا. و على الرغم من ندرة التطبيقات التي تحاكي اللغة العربية المنطوقة و ضعف مستواها مقارنة بالتطبيقات التي تتعامل باللغات العالمية كالإنجليزية خاصة، إلا أنه يظهر على الساحة التقنية تطبيقات ذكية تفهم وتركب اللغة العربية . لقد اجتهدت مؤسسات عالمية و عربية و علماء عرب و غيرهم في جعل الآلات تتعامل باللغة العربية في صورتها الشفوية ، سواء من الناحية النظرية كتوصيف اللغة العربية للحاسوب أو من الناحية التقنية كإنشاء تطبيقات في مجالات المعالجة الصرفية ، أو الدلالية ، أو النحوية ، أو تعليم اللغة العربية...

أولا : التحليل و التركيب في مستوى اللغة المنطوقة:**1- مفهوم اللغة المنطوقة:**

فمجموع ما يصدره الإنسان من الأصوات يشكل اللغة الصوتية أو المنطوقة أو الشفوية أو اللغة المسموعة؛ إذ أن هذه اللغة تعتمد على عضوي النطق والسمع معا. وفق آلي إنتاج الصوت اللغوي و إدراكه فالأصوات اللغوية هي جمع كلمة الصوت اللغوي و هو ذلك " الأثر السمعي الذي يصدر طواعية عن تلك الأعضاء المسماة تجاوزا أعضاء النطق، والملاحظ أن هذا الأثر يظهر في صورة ذبذبات معدلة لصاحبها من حركات الفم بأعضائها المختلفة ويتطلب الصوت اللغوي وضع أعضاء النطق في أعضاء معينة ومحددة أيضا ومعنى ذلك أن المتكلم لابد أن يبذل مجهودا ما لكي يحصل على الأصوات اللغوية"¹.

فاللغة المنطوقة عند الإنسان هي ما يصدره من أصوات لغوية تدركها الأذن حيث " تصدر الأصوات من الإنسان فتنتقل أولا خلال الهواء الخارجي على شكل موجات حتى تصل الى الأذن الإنسانية منها إلى المخ فتترجم هناك و تفسر ، فالسمع هو الحاسة الطبيعية التي لابد منها لفهم تلك الأصوات"²

هذه اللغة انتقلت الى الحاسوب بفضل تطور التكنولوجيا و الآلات الرقمية التي بات من المفروض عليها أن تتعامل مع ما هو صوتي أو منطوق ، فلم تعد عملية إصدار الأصوات حكرا على الإنسان بل صارت الآلات تتكلم و تسمع في ضوء ثورة رقمية تقودها تطبيقات الذكاء الاصطناعي.

2- المعالجة الآلية للأصوات :

تهتم المعالجة الآلية للغة بدراسة الجوانب الحاسوبية للغة، والمشاكل اللسانية والحاسوبية التي تواجه هذه المعالجة، سواء كانت هذه اللغة منطوقة أو مكتوبة. و إذا أردنا التفصيل فإن مصطلح المعالجة الآلية يتكون من:

- المعالجة: و هي التطبيق الآلي على مجموعة من نصوص اللغة، وذلك بهدف تصويبها وتغييرها (كترجمتها، اختصارها...الخ)، وإبداع شيء جديد اعتمادا عليها، ويتم ذلك باستعمال معطيات لسانية وأخرى حاسوبية والنمذجة La modélisation، باستخدام تقنيات واستراتيجيات فعالة مستمدة من علم الحاسوب (المعلومات)، وهي وظيفة اللسانيات الحاسوبية.
- الآلية: و يقصد بها العمليات التي تقوم بها الآلة (الحاسوب)، وتقابلها العمليات التي يقوم بها الإنسان. فالحاسوب هو الآلة التي تستعمل في معالجة اللغة (وغيرها) وقد اخترع أساسا لإجراء العمليات الرياضية الصعبة والمعقدة، و يجب تطويره لمعالجة المعلومات ذات الصلة باللغة (أول ما استعمل في معالجة اللغة كان في مجال ترجمة نصوص من اللغة الإنجليزية).³

فالمعالجة الآلية للغة هي توظيف التقنيات الحاسوبية في تحليل البيانات اللغوية ومعالجتها، سواء كانت في صورتها المكتوبة أو المنطوقة، بهدف إنجاز مهام متعددة، مثل التعرف على الكلام، والترجمة الآلية، وتلخيص النصوص، واسترجاع المعلومات، والإجابة عن الأسئلة، وتوليد الكلام الاصطناعي. وتستند هذه المعالجة إلى نماذج لغوية وقواعد حاسوبية تمكّن الحاسوب من تمثيل الظواهر اللغوية بصورة قابلة للحوسبة

فالمعالجة الآلية هي نتاج تتابع عمليات حسابية، يقوم بها الحاسوب وفق تسلسل زمني، وبرنامج المعالجة الآلية يمكن أن يكون كلياً أو جزئياً:⁴

أ- نظام معالجة كلي: التي يتولى فيها الحاسوب تنفيذ جميع مراحل المعالجة بصورة مستقلة اعتماداً على قواعده ونماذجه الداخلية.

ب- نظام معالجة جزئي: التي يشارك فيها الإنسان في بعض مراحل التحليل أو المراجعة أو اتخاذ القرار، ولا سيما في التطبيقات التي تتطلب قدرًا من التفسير أو التحقق

من خلال التعريفات السابقة يمكننا أن نستنتج تعريفاً لمصطلح المعالجة الآلية للأصوات اللغوية؛ فهو عملية تطويع الأصوات اللغوية للآلة؛ أي الحاسوب من خلال برامج و أنظمة تدرس الصوت اللغوي نطقاً و كتابة. و تمثل المعالجة الآلية للأصوات أحد الفروع الرئيسية لمعالجة اللغات الطبيعية، وتهدف إلى تمكين الحاسوب من استقبال الإشارة الصوتية وتحليلها وفهمها أو إنتاجها اعتماداً على نماذج لغوية وحاسوبية متقدمة. ويجمع هذا المجال بين اللسانيات وعلم الأصوات وعلوم الحاسوب والذكاء الاصطناعي؛ بغية بناء أنظمة قادرة على محاكاة القدرات اللغوية للإنسان في التواصل الشفهي. كما تبني هذه الآلية (معالجة الصوت آلياً)، وفقاً لما تقدمه اللسانيات العصبية من نتائج تمكنها من محاكاة كل من التفكير والأداء البشري وطرق اشتغاله في فهم اللغة، فقامت الصوتيات المخبرية، بإنشاء برنامج يسمى (s.a) اختصاراً يدل على الآلية التي تقوم بتحليل الصوت إلى مكونات جزئية من شكل موجة صوتية ليستخرجها في شكل صورة طيفية.⁵

وعادة تنقسم نظم تحويل النص إلى كلام إلى جزأين أساسيين، يقوم الجزء الأول بتحويل النص إلى "وصيف لغوي" ويقوم الجزء الآخر بتحويل الوصيف اللغوي إلى إشارات الكلام، ويكون الجزء الأول معتمداً على اللغة ويحتاج إلى الكثير من الخبرة اللغوية في حين الجزء الآخر لا يعتمد على اللغة، وإنما يعتمد في الأساس على البيانات المسجلة (بالتعبير فإن البيانات المسجلة يجب أن تكون من اللغة المراد نطقها).⁶

أما في مجال معالجة الكلام، فتبدأ العملية باستقبال الإشارة الصوتية وتحويلها إلى تمثيل رقمي، ثم تحليل خصائصها الفيزيائية والصوتية، واستخراج السمات المميزة للأصوات اللغوية، قبل مطابقتها بالنماذج الصوتية واللغوية المخزنة داخل النظام. وتعد هذه المرحلة الأساس الذي تُبنى عليه تطبيقات التعرف الآلي على الكلام، إذ تعتمد جودة النتائج على دقة تحليل الإشارة الصوتية وقدرة النظام على التمييز بين الأصوات المختلفة، حتى في البيانات التي تنقسم بالضوضاء أو اختلاف أساليب النطق. وفي المقابل، تعتمد أنظمة تحويل النص إلى كلام على مسار معاكس؛ إذ تبدأ بتحليل النص المكتوب وتحويله إلى تمثيل لغوي يحدد البنية الصوتية للجملة، ثم تولد إشارات صوتية تحاكي النطق البشري من حيث مخارج الحروف، والتنغيم، والنبز، والإيقاع. وقد أسهمت تقنيات التعلم العميق والنماذج العصبية الحديثة في تحسين جودة الكلام الاصطناعي، حتى أصبح في كثير من التطبيقات قريباً من الصوت البشري الطبيعي. ومن ثم، فإن المعالجة الآلية للأصوات لم تعد تقتصر على تحويل الكلام إلى نص أو العكس، بل أصبحت منظومة متكاملة تجمع بين التحليل اللغوي والتمثيل الحاسوبي والتعلم الآلي، بما يسمح للأنظمة الذكية بفهم اللغة المنطوقة والتفاعل معها بكفاءة متزايدة.

3- أهمية معالجة اللغة المنطوقة:

لم تعد اللغة المكتوبة ترضي غرور العلماء و المتخصصين في الحاسوبيات و البرمجيات و الذكاء الاصطناعي، إذ سعت لتمكين الحاسوب من معالجة اللغة المنطوقة؛ للأهمية التي تضيفها هذه الأخيرة على الوسائل و الأجهزة الالكترونية . أدى التطور المتسارع في تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى انتقال الاهتمام من معالجة النصوص المكتوبة إلى معالجة اللغة في صورتها المنطوقة، باعتبارها الوسيلة الطبيعية الأولى للتواصل الإنساني. وقد أصبحت الأنظمة الحاسوبية الحديثة تعتمد بصورة متزايدة على التفاعل الصوتي، لما يوفره من سرعة وسهولة في الاستخدام، فضلاً عن إتاحتها فرصاً أوسع للتفاعل مع مختلف فئات المستخدمين .

وتكمن أهمية معالجة اللغة المنطوقة في أنها تتيح للحاسوب التعامل مع الإشارة الصوتية مباشرة، وتحويلها إلى تمثيل رقمي يمكن معالجته وتحليله واستثماره في تنفيذ مهام متنوعة. وتتميز هذه المعالجة بقدرتها على التعامل مع البيانات الصوتية في الزمن الحقيقي، الأمر الذي جعلها عنصراً أساسياً في تطوير التطبيقات الذكية القائمة على التواصل الطبيعي بين الإنسان والآلة. فالتناول الرقمي للغة من خلال صورتها الأصلية المتمثلة في الصورة الصوتية المنطوقة التي تستقبلها الحواسيب الآلية عبر أجهزة الإدخال و تحولها إلى إشارات كهربائية تماثل الصوت الطبيعي تمهيداً لتمثيلها في قيم رقمية يمكن من إجراء مئات الملايين من العمليات الحسابية والمنطقية عليها في الثانية الواحدة من أجل القيام بمهام محددة ، أما الرموز اللغوية المكتوبة فمهما بلغت من ضبط و إتقان فلن تكون قادرة على تمثيل اللغة تمثيلاً حاسوبياً صحيحاً ، لأن قيمها الرقمية في حقيقتها قيم افتراضية يتم وضعها وفق نظام توكيد معين coding system كنظام التطويد الأمريكي ASCII. و نظام الترميز الموحد unicode.⁷

وتتجلى أهمية معالجة اللغة المنطوقة في عدد من المجالات، من أبرزها: تعزيز التواصل الإنساني من خلال تسهيل التفاعل الصوتي بين الأفراد، أو بين الإنسان والأنظمة الذكية. دعم الترجمة الفورية عبر تحويل الكلام المنطوق إلى لغة أخرى في الزمن الحقيقي، بما يساهم في تجاوز الحواجز اللغوية. تمكين الأشخاص ذوي الإعاقة، ولا سيما ذوي الإعاقات السمعية أو البصرية أو الحركية، من الاستفادة من التطبيقات الرقمية التي تعتمد التعرف على الكلام أو توليد الصوت. تطوير التعليم الإلكتروني من خلال بناء أنظمة تعليمية تعتمد التفاعل الصوتي، وتصحيح النطق، وتقديم التغذية الراجعة الفورية للمتعلمين. الإسهام في الدراسات اللسانية عبر تحليل الأصوات واللهجات، ورصد الظواهر الصوتية، وبناء المدونات اللغوية المنطوقة. دعم التطبيقات الطبية في تشخيص

بعض اضطرابات النطق والكلام، ومتابعة تطور الحالات المرضية اعتماداً على تحليل الإشارات الصوتية. تطوير المساعدات الذكية التي تعتمد الأوامر الصوتية في تشغيل الأجهزة، وإدارة الخدمات الرقمية، والإجابة عن استفسارات المستخدمين. وقد ازدادت أهمية هذا المجال مع انتشار الهواتف الذكية، والمساعدات الصوتية، والسيارات المتصلة، والأجهزة المنزلية الذكية، التي أصبح التفاعل الصوتي فيها يمثل أحد أهم وسائل التشغيل. كما أسهمت النماذج اللغوية الحديثة وتقنيات التعلم العميق في رفع دقة أنظمة التعرف على الكلام وتوليد الصوت، الأمر الذي وسع نطاق استخدامها في مجالات التعليم، والإدارة، والإعلام، والرعاية الصحية، والخدمات الحكومية، وغيرها من القطاعات التي تتطلب تفاعلاً طبيعياً وسريعاً مع المستخدم. وبذلك غدت معالجة اللغة المنطوقة إحدى الركائز الأساسية للتحويل الرقمي، وأحد أهم المجالات التي يعول عليها في تطوير تطبيقات الذكاء الاصطناعي الموجهة لخدمة اللغة العربية، بما يحقق تفاعلاً أكثر كفاءة بين الإنسان والآلة، ويعزز حضور العربية في البيئة الرقمية.

4 : تمثيل المنطوق آلياً وتطبيقاته

يقصد بتمثيل المنطوق طريقة فهم الآلة للكلام البشري المنطوق (الصوت الإنساني)، والذي يتمثل في مجموعة برامج تيسر التواصل بين الإنسان والآلة. وهو يشتمل على آليتي التركيب الاصطناعي والفهم الآلي.

• 1-4 التركيب الاصطناعي للكلام

التركيب الاصطناعي ببساطة هو أن نتكلم الآلة ؛ يقول عبد الرحمان الحاج صالح : "إن التعرف الآلي على الأصوات هو ميدان آخر تماماً له قوانينه الخاصة به . وقد توصل العلماء في التركيب الاصطناعي إلى نتائج رائعة إذ أصبح من الممكن أن تنطق الآلة والآلة "robt" ⁸ . و يقول نبيل علي عن عملية التركيب الاصطناعي بأنها عملية توليد الكلام و "يقصد بتوليد الكلام آلياً عملية تحويل البيانات اللغوية المكتوبة ،كلمات أو أرقام أو جمل ،إلى مقابلها المنطوق بصورة تلقائية . ويعرف تمييز الكلام أيضاً بأنه عملية استخلاص سلسلة الفونيمات من الإشارة الكلامية المغذاة وتحويلها إلى مقابلها المكتوب ، و يقول آخر ميكنة عملية قراءة السيكنوغراف (المطياف الصوتي) ⁹.

فالتركيب الاصطناعي للكلام هو عملية يقوم من خلالها الحاسوب بصناعة و تركيب الكلام ؛و يمكن توليد الكلام بعدة طرق ،أهمها ¹⁰:

- أ- توليد الكلام سابق التسجيل.
- ب- توليد الكلام سابق التحليل.
- ج - توليد الكلام من خلال القواعد.

تعد عملية التمييز بسيطة مقارنة بما يسمى بالفهم الأتوماتي للكلام أو ما يسمى إدراك وفهم المنطوق: و "يقصد بعملية الفهم الأتوماتي للكلام المتصل استغلال جميع المصادر الممكنة للمعرفة اللغوية والموضوعية والمقامية لفض اللبس الشديد الذي تنسم به الإشارة الكلامية..." ¹¹

4- : تطبيقات التركيب الاصطناعي:

- لمعالجة الكلام آلياً تطبيقات عديدة ، نذكر منها ¹²:
- أ/- الآلات القارئة.
- ب/- الآلات السامعة.
- ج/- الآلات القارئة - السامعة.
- د/- تمييز المتكلمين.
- ه/- البريد الصوتي.

تحويل المنطوق إلى مكتوب (الإملاء الآلي):

تحتوي الشبكة على العديد من المواقع والبرامج التي يمكن من خلالها تحويل المنطوق إلى مكتوب أو ما يعرف بالإملاء الآلي، إلا أن برنامج (dragon) وهو الأحسن في هذا الميدان يتميز بالدقة وقدرته على التماسي مع كل إصدارات النظام المعلوماتي (windows)، ومن خلاله يمكن إملاء بسهولة وتحويل الكلام مكون أساساً من الفونيمات إلى نص مكتوب بجرافيمات ماثلة أمام القارئ، كما يمكن تثبيت برامج أخرى أحدثها وأشهرها: ¹³

• (live transcribe): تطبيق يتيح التعرف تلقائي على الكلام وعرض الكلمات، يدعم أكثر من سبعين لغة من بينها اللغة العربية، كما يملك خاصية تحويل المكتوب إلى منطوق في حالة الرد على المحادثات.

• برنامج تحويل الكلام إلى كتابة (apk): يحول هو الآخر الكلام إلى كتابة تظهر على الشاشة لكنه يتخطاها إلى أمكانية ترجمتها إلى اللغات الأخرى في صورتها المنطوقة أو المكتوبة، فهو يشغل في خطين متوازيين أحدهما الإملاء الآلي والآخر الترجمة الآلية.

4- 2 الفهم الآلي للكلام :

لقد أشار العالم عبد الرحمن الحاج صالح منذ سنوات الى ضرورة تمكين الآلات من فهم الكلام البشري ليتسنى لها معالجة اللغة الطبيعية معالجة حقيقية و فعالة ، خاصة في مجال معالجة اللغة العربية التي لاتزال الجهود المبذولة بعيدة عن المأمول .
للغة العربية خصوصية فنولوجية تختلف عن لغات العالم مما يخلق تحديا جسيما أمام العلماء و مراكز الباحث ، " ومما يجب أن ينتبه إليه هو التصويت الفيزيولوجي الذي يحتوي على عدة تغيرات نغمية ونبرية من حيث السمع ومما يمكن الأذن من الكشف عن نوعية الصوت، لذلك وجب على العلماء في زماننا أن يعيد النظر في جميع الفونولوجية وعلى أساس نظرية جديدة تعتمد على مفهوم الحركة الفيزيولوجية لا الفونيم.¹⁴

أ.تعريف آلية الفهم الآلي :

هو نظام يقوم بتحويل الكلام المنطوق إلى نصوص يمكن كتابتها كملف في محرر النصوص أو مستند نصي في البريد الإلكتروني، وكذلك يقوم بتحويل الأوامر الصوتية التي يعطيها المستخدم للحاسب إلى أوامر وظيفية مثل فتح الملفات أو الوصول إلى القوائم وغيرها.¹⁵

كما " يعرف التعرف التلقائي على الكلام بأنه عملية تحويل الموجات الصوتية(الإشارات الصوتية للكلام) إلى كلمات و وحدات صوتية - و يظهر التعرف الآلي للكلام في مجالات كثيرة بما في ذلك التطبيقات التي تشجع الاستغناء عن احتياج الأيدي في التعامل معها - و التفاعل مع الأجهزة الذكية، الترجمة التلقائية الشفوية، أدوات دعم المعاقين سمعيا...¹⁶

ب.خطواته:

تخضع عملية فهم الكلام إلى ثلاث مراحل:¹⁷

- **مرحلة إدخال الصوت:** تدخل الأصوات مباشرة من الميكروفون المدمج في الحاسوب الملحق به، و قد تدخل للتخزين كما كانت تخزن الموسيقى و الوسائط الشبيهة ، أو ذات الصلة ، و لكن إدخال الأصوات مباشرة أيضا .
- **مرحلة التعرف على الأصوات:** و هي مرحلة التعرف على الكلام
- **مرحلة تحليل الأصوات و تحويلها:** و تنقسم الى نوعين ؛ الصنف الأول يهتم بالجانب اللساني و تطوير الجوانب اللسانية ، و الصنف الثاني يهتم بتحليل الأصوات و تركيبها في منظومات تفاعل بين الانسان و الآلة

ج. مستويات التعرف الآلي:¹⁸

- أ- الصوتية (Phonetic): تمثيل خواص جميع الأصوات الواردة في الجملة
 - ب- الفنولوجية (phonological): القواعد التي تحكم اختلاف نطق الأصوات باختلاف السياق ، و تتعلق هذه القواعد بظواهر مثل الادغام، و التقخير.
 - ت- الصرفية (morphonic): القواعد التي تحدد كيف تتحدد الصرفيات لتكون الكلمات و تشمل قواعد الجمع و تصريف الأفعال...
 - ث- التطريزية (prosodic): و القواعد التي تصف الاختلاف في النبر و التنغيم
 - ج- التركيبية (syntactic): القواعد التي تحكم تركيب الجمل
 - ح- الدلالية (semantic): القواعد استخدام الكلمات و الجمل لاستبعاد العبارات و الجمل الصحيحة التي قد تكون صحيحة نحويا و لكن غير محتملة الوجود
 - خ- برجماتية (pragmatics): القواعد التي تحكم الكلام و التي تمكن السامع من استنتاج نوايا المتكلم..
- و قد تم تلخيص خطوات عملية الفهم الآلي في المخطط الآتي:
- (Speech Input) اللغة المنطوقة

1. التقاط الإشارة الصوتية (Audio Capture) (تسجيل الصوت، تحويله إلى إشارة رقمية)

2. المعالجة الأولية للإشارة (Signal Processing) (إزالة الضوضاء، استخراج السمات الصوتية)

3. التعرف الآلي على الكلام (ASR) (تحويل الإشارة الصوتية إلى نص)

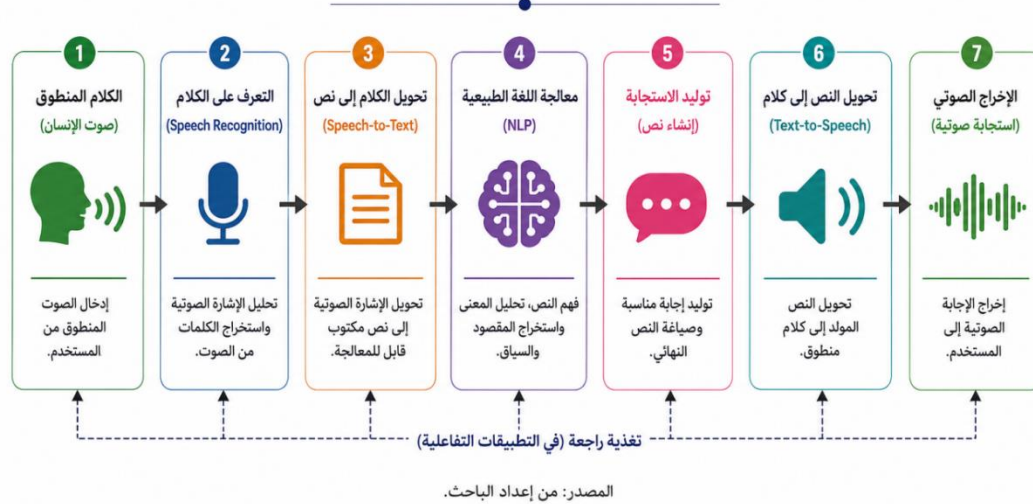
4. المعالجة اللغوية الطبيعية (NLP) (التحليل اللغوي وفهم المعنى والسياق)

5. تمثيل اللغة داخل النموذج (Language Representation) (تحويل الكلمات إلى متجهات وبناء التمثيل السياقي) |

6. اتخاذ القرار أو توليد الاستجابة (AI Inference) (تنفيذ المهام: ترجمة، إجابة، تلخيص...)

7. إنتاج المخرجات (Output Generation) (نص مكتوب أو تحويل النص إلى كلام)

الشكل (1): مراحل معالجة اللغة المنطوقة باستخدام الذكاء الاصطناعي



د. تطبيقات التعرف على الكلام:

تعد وسائل الإدخال جزءاً من أجزاء تقنية المعلومات التي يتم السعي دائماً إلى جعلها أكثر سرعة لنقل البيانات إلى الحاسب لمعالجتها و لذلك تعتبر وسيلة النقل الصوتية أسهل الطرق في الاتصال على الإطلاق. فمن هذا المنطلق نشأت فكرة التعرف على الكلام كوسيلة لإدخال البيانات و التفاعل مع الحاسب في شتى التطبيقات ، و من بين هذه التطبيقات (أنظمة التعرف على الكلام)¹⁹.

- البرامج التعليمية: يبرز أهمها في تطبيقات التعلم والتعليم عن بعد للناطقين بالعربية و الناطقين بغيرها من اللغات ، فبسبب جائحة كورونا لجأ العالم إلى تطوير تطبيقات التعلم الإلكتروني . بل استعملت الحكومات العربية الحاسوب في التعليم الرسمي للغة العربية .
- الإملاء الصوتي : فكثير من التطبيقات تحول الكلام الشفوي إلى مكتوب ؛ كتطبيقات القراءة الكريم و التجويد
- الإرسال الهاتفي :تسمح أغلب الهواتف باستعمال الإرسال الشفوي التي تسمح بتحويل كلام المرسل إلى كتابة مقروءة على الشاشة.

- الأوامر و التحكم : يمكن التحكم في الآلات عن طريق الصوت الشفوي ، و هذه التقنيات سهلت على الكثير استعمال الحواسيب و الهواتف و أجهزة الأندرويد
- 5- صعوبات التعرف على الكلام:

تكمّن صعوبة مسألة تعرف الكلام في تنوع شكل الإشارة الكلامية الموافقة للكلمة نفسها و يمكن تصنيف هذه التغيرات كما يأتي:²⁰

- تغيرات تتعلق بالمتحدث نفسه
- تغيرات بين المتحدثين
- اختلاط محيط المتحدث
- تغير طريقة الكلام
- اختلاف نطق الصوت الواحد

ثانياً : تمثيل اللغة العربية المنطوقة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي

1- تحديات تمثيل اللغة العربية المنطوقة

يعرف الذكاء الاصطناعي بأنه "علم يهتم بصناعة آلات تقوم بتصرفات يعتبرها الإنسان تصرفات ذكية"²¹ و "يعد الذكاء الاصطناعي دراسة للسلوك الذكي (في البشر و الحيوانات و الآلات) كما أنه يمثل محاولة لإيجاد السبل التي يمكن بها إدخال مثل هذه هذا السلوك على الآلات الاصطناعية"²²

يهدف علم الذكاء الاصطناعي إلى فهم طبيعة الذكاء الإنساني عن طريق عمل برامج للحاسب الآلي قادرة على محاكاة السلوك الإنساني المتمسم بالذكاء. و تعني قدرة برنامج الحاسب على حل مسألة ما، أو اتخاذ القرار في موقف ما...بالرجوع إلى العديد من العمليات الاستدلالية المتنوعة التي غذي بها البرنامج"²³

لقد استرعت قضية تقنية إدخال اللغة العربية في الحاسوب، و إنشاء تطبيقات باللغة العربية مشافهة و كتابة ، منذ بداية السبعينات، اهتمام العديد من الأخصائيين في تقانة المعلومات والإلكترونيات وكذا اللسانيات من مختلف أقطار العالم العربي، بالإضافة إلى العديد من الشركات المعلوماتية الغربية. و قد تلخصت المجهودات القائمة في ثلاثة عناصر تمثلت في: التعريب ، و التوصيف ، و النمذجة:

1- التعريب:

شملت عملية التعريب في مجال المعلوماتية: تعريب خدمات الإدخال والإخراج بالحرف العربي، ويتمثل ذلك في إدخال البيانات وتشغيلها وتخزينها وإظهارها على الشاشة وأخيرا طبعها. وكذلك تعريب التطبيقات الحاسوبية أو البرمجيات وذلك بطريقتين تعتمد إحداها البرمجيات الموضوعة باللغة العربية أصلا وتعتمد الطريقة الثانية برمجيات موضوعة بلغات أخرى ولكنها تشغل بالحرف العربي.²⁴ كما تشمل العملية تعريب نظم تشغيل الحواسيب حسب أحجامها.

● التوصيف:

التوصيف في اللغة هو مصطلح مأخوذ من الفعل (وصّف) الدال على مضاعفة فعل الوصف، ما يدلّ على أنّ التوصيف ينطلق من الوصف ثمّ يضيف عليه. "والوصف ما وقع للعرب من قواعد مستنبطة من الأداء اللغوي الواقعي، أما التوصيف فينتظم الوصف مضافا إليه كلّ الاحتمالات التي ليس بمقتور الحاسوب تعرّفها دون توصيف دقيق".²⁵

ولأن الحاسوب -كما يراه الدكتور نهاد الموسى- آلة حمقاء أو ذاكرة ببضاء تفتقر للكفاية اللغوية والحدس البشري فهو يحتاج إلى توصيف دقيق يركز على أدلة محددة إضافية أكثر وأدق تمكنه من تعويض عنصر الحدس، فقد يوهم الحاسوب أن "الـ" في (ألم) أو "يا" في (ياسر) على أنها ال التعريف ويا النداء.²⁶

فمن أوائل من تحدث عن التوصيف هو العالم الباحث نهاد الموسى في كتابه العربية نحو توصيف جديد في ضوء اللسانيات الحاسوبية حيث يرى "أن رسم صورة العربية للإنسان يكتفي بالوصف ويدع للحدس الذي يتمتع به العقل الإنساني أن يقدر وبقيس، أما رسم صورة العربية للحاسوب فلا يكتفي بالوصف بل يقتضي التوصيف ليعوض الحاسوب عن عنصر الحدس الذي ينفرد به الإنسان"²⁷ قدم الموسى نماذج توصيفية للبنية و الإعراب و حروف الجر و النظم اللغوية أخرى ،

كما يمكن للسانيين و المتخصصين في اللغة العربية تطوير جهود الموسى و مواصلة البحث في توصيف العربية للحاسوب و جعلها لغة قابلة للبرمجة لخدمة العربية في جميع المجالات و التخصصات كالترجمة الآلية و إنشاء المعاجم و تعليم اللغة العربية و تعلمها...

فمهمة اللساني هي توصيف اللغة للحاسوب و من دون هذا التوصيف لا يتأتى للحاسوب فهم اللغة ، فبفضل عملية التوصيف يتمكن الحاسوبي من تحويل الرموز اللغوية إلى رموز و معادلات رياضية يمكن للحاسوب تمثيلها و فهمها.

● النمذجة:

يعتمد البحث في اللسانيات الحاسوبية على النمذجة، والتي هي مجموعة من الفرضيات المقترحة لمستويات التمثيل اللغوي ، يفسر بها الباحث مظهرها حاسوبيا للغة ويطور فيها نماذج نظرية لتفاعل تلك المستويات، وتظهر جليا في المستوى الثالث من مستويات التجريد في الدراسة الحاسوبية للغة.²⁸

إذن النظرية اللسانية الحاسوبية تتبع النمذجة، وهي نظرية للحسابات اللسانية، تضع فرضيات وتقترب مبادئ وقواعد لتلك الحسابات ولمواضيعها. بصفة عامة، إن أطروحة اللسانيات الحاسوبية تقتض وجود معجم يمكن أن توصف فيه بنية السيرورات الذهنية الخاصة باللغة أي اللغة الضرورية للتعبير عن الخوارزميات.²⁹

فمن خلال هذه النمذجة يتم تركيب اللغة وتحليلها، بالإضافة إلى تحليل المشاكل في مستواها الحاسوبي، "والمقصود بالنمذجة صياغة نماذج أي نظام عملياتي تحاكي بنيتها العلائقية سيرورة معينة كسيرورة اللغة".³⁰

و عليه فقد انصب اشتغال الباحثين اللسانيين على نمذجة العمليات اللغوية، حيث عمل أمثال هاريس (Harris) وهوكيت (Hockett) على تطوير بنية رياضية للغات الطبيعية، تتمثل في صياغة نموذج تحويلي يقوم بإنتاج الجمل انطلاقا من جمل نووية.

كما عمل تشومسكي أيضا بالموازاة مع مهندسي العالم والاتصال على تطوير نماذج أولية لمجموعة متناهية من الحالات، وهي تشبه الآلة الحاسبة حيث يتم فيها الانتقال من حالة أولية إلى حالة نهائية مروراً بحالات وسطي، وفي كل مرة يجري استبدال رمز بآخر.³¹ أما في العالم العربي، فقد سعى عدد من الباحثين، من بينهم مازن الودع، وعياشي، وعز الدين المجذوب وغيرهم إلى صوغ الدرس اللغوي العربي وتربيته، من خلال بناء نماذج تمثل البنى اللغوية العربية وقواعدها. غير أن هذه الجهود ظلت، في معظمها، مرتبطة بالنحو والصرف التقليديين، ولم تنجح في بناء نماذج صورية متكاملة تعكس آليات اشتغال اللغة العربية في الاستعمال الحقيقي....

يُعد غياب نظرية لسانية عربية موحدة من أبرز العوامل التي أعاقَت تطوير نماذج حاسوبية متكاملة للغة العربية؛ إذ أدى تعدد الاتجاهات اللسانية، واستمرار الجدل بين أنصار النحو العربي التقليدي ودعاة تبني النظريات اللسانية الحديثة، إلى تشتت الجهود البحثية، وانعكس ذلك سلبيًا على مسار حوسبة اللغة العربية وتطور تطبيقاتها.

2- خصائص منظومة اللغة العربية من منظور معلوماتي

تمتلك اللغة العربية منظومة لغوية تتميز بخصائص تجعلها من أكثر اللغات ثراءً وتعقيداً في الوقت نفسه، وهو ما ينعكس مباشرة على آليات معالجتها حاسوبياً. فنجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التعامل مع العربية لا يرتبط بقوة الخوارزميات فحسب، وإنما يتوقف أيضاً على مدى قدرتها على استيعاب الخصائص البنيوية والصوتية والدلالية لهذه اللغة، وتحويلها إلى نماذج حاسوبية قابلة للمعالجة. ومن أبرز الخصائص التي تميز العربية في البيئة المعلوماتية ما يأتي:³²

1- الثراء الصرفي: تتميز العربية بنظام اشتقائي واسع يقوم على الجذور والأوزان، إذ يمكن اشتقاق عدد كبير من الكلمات من جذر واحد مع اختلاف المعاني والوظائف النحوية. وتمثل هذه الخاصية تحدياً أمام أنظمة المعالجة الآلية، لأنها تتطلب تحليلاً صرفياً دقيقاً يمكنها من التعرف إلى البنية الأصلية للكلمة واستخراج معناها في السياق.

2- المرونة النحوية: تتمتع العربية بقدر كبير من المرونة في ترتيب عناصر الجملة، إذ يمكن أن تتقدم بعض المكونات أو تتأخر دون أن يخل المعنى الأساسي. ويستلزم ذلك تصميم نماذج لغوية قادرة على تحليل العلاقات النحوية بعيداً عن الاعتماد على ترتيب الكلمات وحده.

3. الانتظام الصوتي: على الرغم من غنى النظام الصوتي للعربية، فإنه يتسم بدرجة عالية من الانتظام، إذ توجد علاقة وثيقة بين معظم الأصوات ورموزها الكتابية، الأمر الذي يساهم في تحسين أداء تطبيقات التعرف على الكلام وتحويل النص إلى كلام متى توفرت الموارد الصوتية المناسبة.

4- ظاهرة الإعراب: يمثل الإعراب إحدى السمات المميزة للعربية، إذ يؤدي تغير الحركة الإعرابية إلى تغير الوظيفة النحوية، وأحياناً إلى تغير المعنى. ولذلك تحتاج الأنظمة الذكية إلى مراعاة البنية الإعرابية عند تحليل النصوص أو تفسير الكلام المنطوق

5- الحساسية السياقية: تعتمد العربية، شأنها شأن اللغات الطبيعية، على السياق في تحديد كثير من المعاني، وقد تحمل الكلمة الواحدة أكثر من معنى بحسب المقام الذي ترد فيه. ومن ثم فإن معالجة العربية لا تكتمل بالتحليل الصرفي أو النحوي وحده، بل تتطلب تحليلاً دلاليًا وتدوالياً يراعي سياق الاستعمال

6- تعدد طرق الكتابة وغياب عناصر التشكيل: تكتب غالبية النصوص العربية المعاصرة دون حركات، وهو ما يؤدي إلى تعدد القراءات المحتملة للكلمة الواحدة، ويزيد من صعوبة التحليل الآلي، سواء في تطبيقات التعرف على الكلام أو في أنظمة الفهم الآلي والترجمة.

7- ثراء المعجم واعتماده على الجذور. تبني معظم مفردات العربية من الجذور اللغوية، وغالباً ما تكون ثلاثية أو رباعية، ومن خلال تطبيق أوزان صرفية مختلفة على هذه الجذور تتولد كلمات متعددة؛ مما يحقق الثراء المعجمي و يمنح اللغة قدرة كبيرة على إنتاج ألفاظ جديدة.

8- التعدد اللهجي: تمثل اللهجات العربية أحد أبرز التحديات أمام تطبيقات الذكاء الاصطناعي؛ إذ تختلف في أصواتها ومفرداتها وتراكيبها من منطقة إلى أخرى، بينما تعتمد معظم الموارد اللغوية المتاحة على العربية الفصحى. ولذلك أصبح تطوير نماذج قادرة على التعامل مع اللهجات المختلفة من أولويات البحث في معالجة اللغة العربية. وتؤكد هذه الخصائص أن نجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعي في معالجة العربية يتطلب تكامل الخبرة اللسانية مع التقنيات الحاسوبية الحديثة، بما يضمن تمثيلاً دقيقاً للبنية اللغوية في مختلف مستوياتها

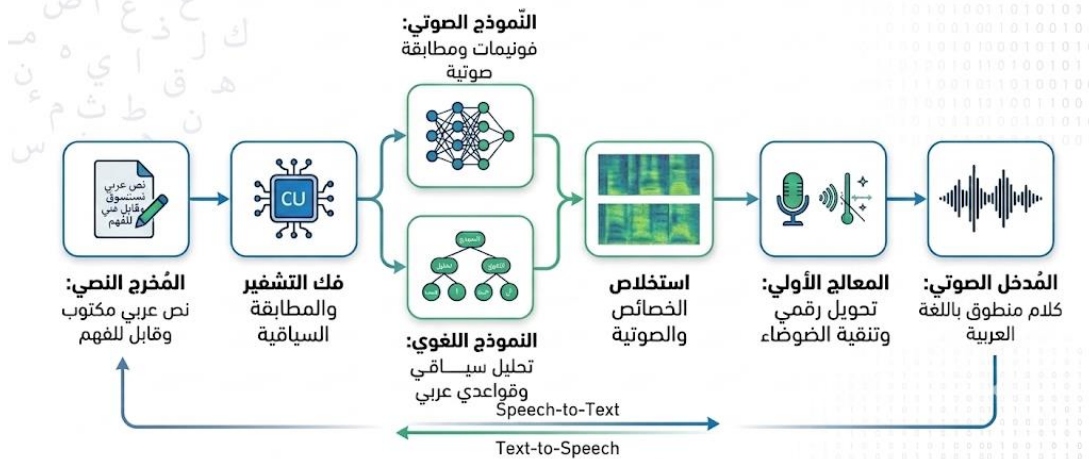
وتؤكد هذه الخصائص أن نجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعي في معالجة العربية يتطلب تكامل الخبرة اللسانية مع التقنيات الحاسوبية الحديثة، بما يضمن تمثيلاً دقيقاً للبنية اللغوية في مختلف مستوياتها

3- نماذج تمثيل اللغة العربية المنطوقة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي:

شهدت السنوات الأخيرة تطوراً ملحوظاً في التطبيقات المعتمدة على معالجة اللغة العربية المنطوقة، مدفوعاً بالتقدم في تقنيات التعرف الآلي على الكلام، والنماذج اللغوية الكبيرة، والتعلم العميق. وقد أسهم هذا التطور في انتقال التفاعل بين الإنسان والآلة من الاعتماد على النصوص المكتوبة إلى الحوار الصوتي الطبيعي، الأمر الذي أتاح ظهور تطبيقات متنوعة في مجالات التعليم، والترجمة، والخدمات الرقمية، وإدارة المحتوى، والمساعدات الشخصية. ومن أبرز هذه التطبيقات:

1. ChatGPT: يعد ChatGPT من أبرز تطبيقات الذكاء الاصطناعي المعتمدة على النماذج اللغوية الكبيرة، إذ يتيح للمستخدم إجراء حوار طبيعي بالنص أو بالصوت، مع القدرة على فهم الأسئلة، وتحليل المقصود منها، وتوليد إجابات مترابطة تراعي السياق. كما يمكن توظيفه في التعليم، وكتابة المحتوى، والترجمة، وتلخيص النصوص، والإجابة عن الاستفسارات، والمساعدة في البرمجة والبحث العلمي. وقد أسهم دعمه المتزايد للغة العربية في توسيع مجالات الإفادة منه في البيئات التعليمية والبحثية.
2. Google Gemini: يمثل Google Gemini نموذجاً متقدماً للذكاء الاصطناعي متعدد الوسائط، إذ يجمع بين معالجة النصوص والصور والصوت. ويتيح التفاعل الصوتي مع المستخدم، وفهم اللغة العربية بدرجات متفاوتة، مع الاستفادة من تقنيات التعرف على الكلام ومعالجة اللغة الطبيعية في تقديم الإجابات، والبحث، والترجمة، والمساعدة الرقمية.
3. Microsoft Copilot: يعتمد Microsoft Copilot على تقنيات الذكاء الاصطناعي التوليدي لمساعدة المستخدم في إنجاز الأعمال المكتبية والبحثية، ويتيح في عدد من منصات التفاعل الصوتي، وتحويل الأوامر المنطوقة إلى إجراءات عملية داخل تطبيقات الإنتاجية، فضلاً عن قدرته على تلخيص المستندات وإنشاء النصوص والإجابة عن الأسئلة.
4. Whisper: يعد Whisper من أكثر النماذج تطوراً في مجال التعرف الآلي على الكلام، إذ يعتمد على التعلم العميق لتحويل التسجيلات الصوتية إلى نصوص مكتوبة بدقة مرتفعة، مع قدرته على التعامل مع الضوضاء واختلاف اللهجات، ودعمه لعدد كبير من اللغات، ومنها اللغة العربية. وقد أصبح أساساً تعتمد عليه تطبيقات عديدة في التفريغ الصوتي والترجمة الفورية.
5. خامساً: التطبيقات العربية المتخصصة: شهدت البيئة الرقمية العربية ظهور عدد من التطبيقات التي تستهدف خدمة العربية المنطوقة بصورة مباشرة، ومن ذلك تطبيقات تحويل الكلام إلى نص، والتطبيقات التعليمية المعتمدة على تصحيح النطق، والبرامج الموجهة لخدمة ذوي الاحتياجات الخاصة، إضافة إلى الأنظمة المستخدمة في مراكز الاتصال والخدمات الحكومية الرقمية. مثل تطبيق (جيس jais)، (موزن mozn)، تطبيق (فانار FANAR AI) ورغم التقدم الذي حققته هذه التطبيقات، فإن أدائها في العربية ما يزال متفاوتاً، بسبب محدودية البيانات الصوتية العربية، وتنوع اللهجات، وقلة النماذج المدربة تدريباً متخصصاً على اللغة العربية مقارنة باللغات العالمية.

نظام معالجة اللغة العربية المنطوقة والمكتوبة باستخدام الذكاء الاصطناعي



الهوامش

¹ كمال بشر، علم الأصوات. دار غريب. القاهرة. د. ط. 2000 ص 119

² ابن حني، تح حسن الهنداوي، ص 14/13

- ³ () ينظر: بن عربية راضية: محاضرات في اللسانيات الحاسوبية، ط1/2017، ص: 38-39.
- ⁴ ينظر المرجع نفسه ، ص 39
- ⁵ ينظر: يمينه زكري "التطبيقات الآلية لمعالجة الصوت" مجلة المقري للدراسات اللغوية النظرية والتطبيقية ، مجلد 3، العدد2، 2020، ص:69
- ⁶ ينظر: محسن رشوان: تطبيقات أساسية في المعالجة الآلية للغة العربية ، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدولي لخدمة اللغة العربية ، برياض السعودية ط1، 1441هـ/2019م، ص:77.
- ⁷ ينظر ، محمد رأفت محمود فرج، مسار التمثيل الرقمي للصوت اللغوي -دراسة تحليلية في ضوء علم اللغة الحاسوبي، مجلة رسالة الشرق، مج 37 ع 2 يونيو 2022 السعودية ص49
- ⁸ عبد الرحمان الحاج صالح، بحوث ودراسات في اللسانيات العربية ، ج1، ص:92.
- ¹⁰ نبيل علي :اللغة العربية والحاسوب ، ص:440.
- ¹¹ المصدر نفسه، ص448
- ¹¹ نبيل علي، اللغة العربية والحاسوب، ص449
- ¹² المصدر نفسه، ص453.
- ¹³ ينظر: يمينه زكري "التطبيقات الآلية لمعالجة الصوت" مجلة المقري للدراسات اللغوية النظرية والتطبيقية ، المجلد 3، العدد2، 2020، ص:71.
- ¹⁴ ينظر: عبد الرحمان حاج صالح، بحوث ودراسات في اللسانيات الحاسوبية ، ج1، ص92/93.
- ¹⁵ نظام التعرف على الكلام، د.أفنان عرفات محمد أنور شاه ، 25 / 10/2020 ، <https://uqu.edu.sa/ccl/92915>
- ¹⁶ ينظر: تطبيقات الذكاء الاصطناعي في خدمة اللغة العربية، 2019، ط1، السعودية، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدليل لخدمة اللغة العربية ص079
- ¹⁷ سامية غشير، المعالجة الآلية للصوت اللغوي طاهرة التنعيم نموذجاً، مجلة الميادين للدراسات في العلوم الإنسانية المجلد الرابع- العدد الثاني- 2023
- ¹⁸ الان بارت ، الذكاء الاصطناعي افعه و مستقبله، ترجمة علي صبري فرغلي ، عالم المعرفة ع 172 ، 1993 الكويت ، ص، 67
- ¹⁹ ينظر، داود مسعود، التعرف الآلي على الكلام العربي المتصل ، أطروحة دكتوراه ، إشراف : مراد عباس جامعة الجزائر 2، 2016، ص:38
- ²⁰ ينظر المرجع نفسه، ص 39
- ²¹ مدخل الى عالم الذكاء الاصطناعي، عادل عبد النور بن عبد النور، 2005، السعودية، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، ص:7
- ²² بلاي ويتباي، دار الفاروق مصر، 2003، ص:15
- ²³ الان بارت
- ²⁴ ينظر؛ نزهة ابن الخياط، من قضايا اللغة العربية والحاسوب، مجلو نقد و فكر، ع29، ص، 25
- ²⁵ ينظر: نهاد الموسى، العربية.. نحو توصيف جديد في ضوء اللسانيات الحاسوبية، ص 21
- ²⁶ المرجع نفسه: ص 62

²⁷ ينظر : نهاد الموسيقى، نحو توصيف جديد في ضوء اللسانيات الحاسوبية، المؤسسة العربية للدراسات والنشر ، بيروت، ص.4

²⁸ ينظر ، عايض محمد السمري، الترجمة الآلية من منظور اللسانيات الحاسوبية: دراسة تحليلية مقارنة بين تطبيقي (Translate Google and Translator Microsoft)، مجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث العدد الثالث - المجلد الرابع سبتمبر 2018 م ص: 48

²⁹ المرجع نفسه، ص، 48

³⁰ المرجع نفسه، ص، 48

³¹ رضا بابا أحمد اللسانيات الحاسوبية: مشكل المصطلح والترجمة ، -cte.univ-
setif2.dz/moodle/pluginfile.php/110049/mod_resource/content/1

³² العرب و عصر المعلوماتية، نبيل علي، ص، 332

قائمة المصادر والمراجع

1. ابن جني، الخصائص، تحقيق: حسن الهنداوي، دار القلم، دمشق.
2. ابن الخياط، نزهة، "من قضايا اللغة العربية والحاسوب"، مجلة نقد وفكر، العدد 29، الرباط، المغرب.
3. بارت، آلان، الذكاء الاصطناعي. واقع ومستقبله، ترجمة: علي صبري فرغلي، سلسلة عالم المعرفة (العدد 172)، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، 1993م.
4. بشر، كمال، علم الأصوات، دار غريب للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر، ط2، 2000م.
5. بابا أحمد، رضا، "اللسانيات الحاسوبية: مشكل المصطلح والترجمة"، مخبر المعالجة الآلية للغة، جامعة تلمسان، الجزائر.
6. الحاج صالح، عبد الرحمن، بحوث ودراسات في اللسانيات العربية، المؤسسة الوطنية للفنون المطبعية (موفم للنشر)، الجزائر، 2007م.
7. رشوان، محسن، تطبيقات أساسية في المعالجة الآلية للغة العربية، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدولي لخدمة اللغة العربية، الرياض، السعودية، ط1، 1441هـ/2019م.
8. زكري، يمينة، "التطبيقات الآلية لمعالجة الصوت"، مجلة المقرري للدراسات اللغوية النظرية والتطبيقية، المجلد 3، العدد 2، جامعة تلمسان، الجزائر، 2020م.
9. السمري، عايض محمد، "الترجمة الآلية من منظور اللسانيات الحاسوبية: دراسة تحليلية مقارنة بين تطبيقي (Google Translate and Microsoft Translator) ، المجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث، المجلد 4، العدد 3، فلسطين، 2018م.
10. شاه، أفنان عرفات محمد أنور، "نظام التعرف على الكلام"، مركز اللسانيات الحاسوبية، جامعة أم القرى، السعودية، 2020م.
11. بن عبد النور، عادل عبد النور، مدخل إلى عالم الذكاء الاصطناعي، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الرياض، السعودية، 2005م.
12. بن عربية، راضية، محاضرات في اللسانيات الحاسوبية، منشورات جامعة الملائم متيجة، البليدة، الجزائر، ط1، 2017م.
13. علي، نبيل، العرب وعصر المعلوماتية، سلسلة عالم المعرفة (العدد 184)، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، 1994م.
14. علي، نبيل، اللغة العربية والحاسوب، دار تعريب للنشر والتوزيع، الكويت، 1988م.
15. غشير، سامية، "المعالجة الآلية للصوت اللغوي: ظاهرة التنعيم نموذجاً"، مجلة الميادين للدراسات في العلوم الإنسانية، المجلد 4، العدد 2، المركز الجامعي بريك، الجزائر، 2023م.

16. فرج، محمد رأفت محمود، "مسار التمثيل الرقمي للصوت اللغوي – دراسة تحليلية في ضوء علم اللغة الحاسوبي"، مجلة رسالة الشرق، المجلد 37، العدد 2، رابطة الأدب الحديث، القاهرة، 2022م.
17. مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدولي لخدمة اللغة العربية، تطبيقات الذكاء الاصطناعي في خدمة اللغة العربية، الرياض، السعودية، ط1، 2019م.
18. مسعود، داود، التعرف الآلي على الكلام العربي المتصل، أطروحة دكتوراه (إشراف: مراد عباس)، كلية اللغة العربية وآدابها، جامعة الجزائر 2، الجزائر، 2016م.
19. الموسى، نهاد، العربية.. نحو توصيف جديد في ضوء اللسانيات الحاسوبية، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت، لبنان، ط1، 2011م.
20. ويتباي، بلاي، الذكاء الاصطناعي، ترجمة: قسم الترجمة بدار الفاروق، دار الفاروق للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر، 2003م.