

التعرف الآلي والمعالجة الرقمية للخط العربي بين الحد اللغوي والضبط التقني

Automatic recognition and digital processing of Arabic calligraphy between linguistic limitation and technical adjustment

حسام الدين تاويريت*

مركز البحث العلمي والتقني لتطوير
اللغة العربية. وحدة البحث اللساني
وقضايا اللغة العربية في الجزائر
dr.taouririt@gmail.com

إيمان شاشه

مركز البحث العلمي والتقني لتطوير
اللغة العربية. وحدة البحث اللساني
وقضايا اللغة العربية في الجزائر
Imane.chacha90@gmail.com

آمنة مناع

مركز البحث العلمي والتقني لتطوير
اللغة العربية. وحدة البحث اللساني
وقضايا اللغة العربية في الجزائر
menaa30@gmail.com

تاريخ القبول: 2023/05/09

تاريخ الاستلام: 2022/08/10

ملخص:

مما لا يخفى علينا دور اللسانيات الحاسوبية في ترقية الدراسات اللغوية العربية، وجعلها تواكب الدراسات اللسانية الغربية من حيث الرقمة وأرشفة التراث، هذا بالإضافة إلى استخدام التكنولوجيا في التعامل مع النصوص نخوضا بالبحث اللغوي وتطويره. وما لللسانيات الحاسوبية من أثر براغماتي كبير في تعليم اللغة العربية لأبنائها وغيرهم. الأمر الذي دفعنا إلى البحث في: " التعرف الآلي والمعالجة الرقمية للخط العربي بين الحد اللغوي والضبط التقني " وما يمكن استثماره في هذا المجال من معطيات تكنولوجية. في محاولة منا إلى تسليط الضوء على أهم البرمجيات الحاسوبية في التعرف الآلي والمعالجة الرقمية للكتابة والخط العربي، في محاولة منا الإجابة على الإشكالية التالية: ما هي أهم البرمجيات الحاسوبية في التعرف الآلي على الخط العربي، وماهي التحديات في ذلك أمام الضوابط اللغوية والقيود التقنية؟ والإجابة على ذلك تتمثل في عرض نماذج تجريبية في مجال لمعالجة الآلية للكتابة الإملائية، وعرض مفاهيم نظرية من خلال بيلوغرافيا بحثية تهتم بالتطبيقات الأساسية في مجال المعالجة الآلية للغة العربية واللسانيات الحاسوبية.

الكلمات المفتاحية: المعالجة الآلية - التعرف الآلي - اللسانيات الحاسوبية - الخط العربي - الكتابة الإملائية.

Abstract:

Computational linguistics has a clear role in promoting Arabic linguistic studies, and making it keep pace with Western linguistic studies in terms of digitization and heritage archiving, in addition to the use of technology in dealing with texts to advance linguistic research and development it. Moreover; computational linguistics has a great pragmatic impact on teaching Arabic to its native speakers and others. This prompted us to research the topic: " Automatic recognition and digital processing of Arabic calligraphy between linguistic limitation and technical adjustment " and the technological data that can be invested in this field. In an attempt to shed light on the most important computer software in Automatic recognition and digital processing of writing and Arabic calligraphy, in an effort to answer the following problem: What are the most important computer software in automatic recognition of Arabic calligraphy? and what are the most important challenges in light of language

* حسام الدين تاويريت.

controls and technical restrictions? The answer to this is represented in presenting experimental models in the field of automated processing of spelling, and presentation of theoretical concepts through a research bibliography concerned with basic applications in the field of automated processing of the Arabic language and computational linguistics.

Keywords: Automated processing - Automatic recognition - Computational linguistics - Arabic calligraphy - Spelling.

1. مقدمة

مما لا شك فيه أن معالجة اللغة العربية آليا، أمر يساعد على رقيها وتميزها بين اللغات. ومما لا يخفى أن اللسانيات الحاسوبية Computational Linguistics لها دور فعّال في الرفع من مستوى الدراسات اللغوية العربية وجعلها تلحق ركب الدراسات اللسانية الغربية من حيث الرقمنة وأرشفة التراث ، هذا بالإضافة إلى استخدام التكنولوجيا في التعامل مع النصوص نوحضا بالبحث اللغوي وتطويره. كما أن المستوى الإجرائي للحوسبة يُظهر الدور الفعلي للسانيات الحاسوبية بشكل كبير من خلال استثمارها في تعليم اللغة العربية لأبنائها وغيرهم Computer-based Training وعليه كان موضوعنا منصبا في هذا المجال على: " المعالجة الآلية للكتابة العربية" وذلك في البُعد التعليمي وما يمكن استثماره في هذا المنحى من معطيات تكنولوجية.

وهذا بغرض الإجابة على الإشكالية التالية: إلى أي مدى استطاعت البرامج الحاسوبية والهندسة اللغوية المتاحة تقديم خدمة علمية وتعليمية في التعرف الآلي على الخط العربي بين ضوابط اللغة وقيود التقنية؟ ونحن بذلك نهدف إلى تسليط الضوء على أهم البرمجيات الحاسوبية في التعلم الحاسوبي الموجه وتقييم ما عرضه الباحثون والدراسات الحديثة في مجال الكتابة العربية الآلية.

اعتمدنا المنهج الوصفي في ضبط تعريف مصطلحات الدراسة والتعريف بالمعالجة الآلية للكتابة العربية، حيث وقفنا على أهمية المورد اللغوي في تحقيق التعرّف الآلي على الخط العربية، بيد أن هذا لا يتم إلا من خلال توافق الحاسوب مع النظام العربي وشفراته وأكواده الخاصة. وإذا تحقق ذلك تحقق الهدف المرجو في التعلم الحاسوبي الموجه.

تعالج هذه الدراسة ما جاءت به الدراسات في تسليط الضوء على التعرّف الآلي على الخط العربي والصعوبات التي تواجهه، علما أن هذا الأمر لا يتم إلا من خلال جهدين يجمع بين الهندسة الحاسوبية واللسانيات العربية.

2. اللسانيات الرتائية: تحديد المصطلح والتعريف بالمفهوم

(علم اللغة الحاسبي) أو (اللسانيات الحاسوبية) Computational Linguistics أو (اللسانيات الإعلامية) أو (اللسانيات الرتائية). والمقصود بها توجيه الأنظمة الحاسوبية إلى فهم اللغات الطبيعية ومحاكاة الذكاء البشري، واستثمار التقنية الحديثة، وخاصة الحاسوب بما يحتويه من إمكانيات رياضية خارقة، وسعة تخزينية هائلة في خدمة اللغة، حيث أشار مايكل زار تشناك (M.Zarechnak) إلى أن هذا العلم كانت بدايته في الخمسينيات من القرن العشرين، أين ظهر أول استخدام له في قسم اللسانيات بجامعة جورج تاون سنة 1954م، وذلك في حقل الترجمة الآلية من اللغات الأخرى إلى الإنجليزية¹.

أما البداية الفعلية - كما تشير الدراسات - فكانت لمركز التحليل الآلي للغة بإيطاليا، تحت إشراف روبرتوبوزا (Roberto Busa)، حيث وضع سنة 1962م الدعائم الأولى لاستخدام الحاسوب في دراسة اللغة.² يقول محمود إسماعيل صيني: « إن معالجة اللغات الطبيعية واحدة من أهم التطبيقات التي يسعى علم الحاسوب إلى التعامل معها (الجيل الخامس) إن معالجة هذه اللغات يمثل حلا لمشكلات الانفجار المعلوماتي في عصرنا. »³ كما يطلق عليها مصطلح (علم اللسانيات الآلي) الذي يربط مصطلح اللسانيات بالآلة ذلك أنها في تمثل العلم الذي : « يعمل على استخدام اللغة كأداة طيعة لمعالجتها في الحاسبات الإلكترونية، ويتألف من اللسانيات العامة، ومن علم الحاسبات الإلكترونية، ومن علم الذكاء الاصطناعي وعلم المنطق ثم علم الرياضيات، حيث تتناسق هذه الفروع وتتألف لتشكيل مبادئ علم اللسانيات الآلي. »⁴

انطلاقاً مما سبق فإن اللسانيات الحاسوبية تعد فرعاً من الدراسات اللغوية التي توظف فيها التقنيات والمفاهيم الحاسوبية، بهدف توضيح المشكلات اللغوية والصوتية، كما تهتم بتحويل اللغة الطبيعية إلى الآلة ومعالجتها إلكترونياً، كونها تبحث « في اللغة البشرية كأداة طيعة لمعالجتها في الآلة (الحاسبات الإلكترونية - الكمبيوتر) وتتألف مبادئ هذا العلم من اللسانيات العامة بجميع مستوياتها التحليلية: الصوتية، والنحوية، والدلالية، ومن علم الحاسبات الإلكترونية (الكمبيوتر) ومن علم الذكاء الاصطناعي، وعلم المنطق، ثم علم الرياضيات. »⁵

إن اللسانيات الحاسوبية مهما تعددت تعريفاتها إلا أن المتفق عليه بين المنظرين والمتخصصين في هذا المجال أنها دراسة علمية للغة الطبيعية من منظور حاسوبي.

3. المعالجة الآلية اللغوية

المعالجة الآلية للغة العربية نمط حوسبي يتوخى فتح حوار علمي بين الحاسوب وتطبيقاته والإنسان العربي بوساطة اللغة العربية بوصفها لغة طبيعية قابلة للمعالجة الآلية للنظام العربي في جميع مستوياته الصرفية، والنحوية، والدلالية، والمعجمية، والبلاغية من قبيل التوليد الآلي، والتحليل الآلي للنصوص، وغيرها من المتطلبات الحاسوبية في المعالجة الآلية للغة.

فالسانيات الحاسوبية نظام يبني يجمع بين اللسانيات والحاسوب، يُعنى بحوسبة جوانب الملكة اللغوية، وفي هذا الصدد يقول عبد الرحمن الحاج صالح: "إن من أقدم الاختصاصيين في الحاسوبيات الذين شعروا بأهمية التزويج الفعلي بين علوم الحاسوب وعلوم اللسان هو الباحث الأمريكي د.ج.هايس (D.G.Hays) ثمف. إينجف (V.Yngve) ويصرح هذا الأخير (وهو من زملاء تشومسكس اللغوي في ال M.L.T) أن الترجمة الآلية المناسبة هي التي تعتمد على أوصاف بنوية مناسبة للغات المترجم منها وإليها. ومنذ ذلك الوقت اهتم الباحثون بالنظريات اللغوية كأساس للعلاج الآلي للغات.⁶

وبالتالي فإن المعالجة لآلية للغات الطبيعية تتطلب الإلمام بعلمين، وتضافر جهدين يقوم بهما كل من اللساني والحاسوبي كلٌّ في مجال اختصاصه: هذا ما يؤكد ازدواجية علمي اللسانيات والحاسوبية في ترسيم علم اللسانيات الحاسوبية، حيث تتقاطع اللسانيات مع شفرات ورموز رياضية تتطلبها المعلوماتية والعلوم الحاسوبية.

والعلوم الحاسوبية نوع من الهندسة اللغوية -إن صح التعبير- يقول عمر مهديوي بأن: " الهندسة اللغوية أو اللغويات الحاسوبية (Computational Linguistics) مجالها البحثي دقيق وجديد يعرض لآخر النظريات والتطبيقات الحاسوبية المجربة على اللغات الطبيعية، لأنه ميدان أقرب إلى العلوم الصلبة منه إلى العلوم الإنسانية، أطلق عليه اسم العلوم الإنسانية الصلبة في مقابل العلوم الإنسانية المرنة، حيث يلتقي فيه الجانب النظري اللساني بكل خلفياته المعرفية والمنهجية بالجانب التقني المعلوماتي بكل تطورات، ليشكلا معا ما يسمى بالهندسة اللغوية (Linguistic engineering) أو تكنولوجيا اللغة (technologyLanguage) التي أصبحت تمثل اليوم المعرفة البشرية التي تقوم على أساس هندسة المعرفة، وهندسة الإدراك، وغيرها.⁷

فالسانيات الحاسوبية تهتم بمعالجة اللغات الطبيعية وهندستها. وبالتالي تتوخى فتح حوار علمي بين الحاسوب وتطبيقاته والإنسان العربي بوساطة اللغة العربية بوصفها لغة طبيعية قابلة للمعالجة الآلية للنظام العربي في جميع مستوياته الصرفية، والنحوية، والدلالية، والمعجمية، والبلاغية من قبيل التوليد الآلي، والتحليل الآلي للنصوص، وغيرها من المتطلبات الحاسوبية في المعالجة الآلية للغة. وهو ما يمكن استنباطه من تعريف نهاد الموسى للسانيات الحاسوبية الذي يعتبرها نظاما بينيا بين اللسانيات وعلم الحاسب الذي يُعنى بحوسبة جوانب الملكة اللغوية. يقول عبد الرحمن الحاج صالح في هذا الصدد بأن العلماء والاختصاصيون: " يحاولون أن يجدوا أحسن الطرق وأقصرها للوصول إلى صيغ وأنماط رياضية لغوية تمكّنهم من استعمال الرتّاب (الحاسب الإلكتروني) لمعالجة النصوص اللغوية بكيفية آلية. وميادين التطبيق بالنسبة لهذه المعالجة كثيرة ومشهورة، كالتوثيق الآلي على الكلام الخ. إلا أن المشاكل التي تعترض طريقتهم كثيرة وعويصة. وذلك على قدر استعصاء التحليل اللغوي من جهة، وصعوبة إيجاد الأنماط والبرانيم أو البرمجيات (Logiciels) المناسبة لهذا التحليل اللغوي⁸

تعد تقنيات المعالجة الآلية للغات البناء التحتي الأساسي (Basic Infrastructure) الواجب توفيره، أو هي النتيجة الحتمية النهائية التي ينبغي الوصول إليها، تتم قبلها بناء معظم التطبيقات الأخرى، فلا تقف

تقنيات المعالجة الآلية حالياً عند حد إدخال البيانات واستخراجها، بل إلى التطبيقات اللغوية التخصصية من تدقيق لغوي شاملاً كل المستويات النحوية، والصرفية، والمعجمية، والدلالية، وغيرها. إضافة للترجمة الآلية للغه، وتقانات التحليل الضوئي للكلمة وغيرها من تقنيات ينبغي توافرها في أثناء المعالجة الآلية للغات الطبيعية.

4. حوسبة الخط العربي

الحوسبة السحابية **cloud computing** من المصطلحات التابعة للثورة المعلوماتية وعلم اللغة الحاسوبي، والنموذج المثالي الثالث للتطور التكنولوجي بعد الحاسبات والانترنت، تقوم على الشبكة العنكبوتية، والاستخدام الافتراضي لجميع معطيات الحوسبة من عتاد وبرمجيات وغيرها « تقوم فكرتها على (السحابة **cloud**) وهي عبارة عن شبكة ضخمة **Huge Network** مترابطة من الخوادم **Servers** أو أجهزة الحاسبات الفردية **Individual Computers** التي تعمل معا في شكل متوازي يجمع بين موارد الحوسبة مما يؤدي إلى توليد طاقة حوسبة **Computing Power** فائقة، كما تعتمد في عملها على تقنية المحاكاة الافتراضية **Virtualization** التي تساعد على تحقيق الاستفادة القصوى من هذه الموارد وزيادة مرونتها أو تقليلها حسب حمل العمل **Workload** وفوترتها **Invocing** تبعا لحجم الاستخدام **Usage Size**. « (9)

يعود أول ظهور لمصطلح الحوسبة السحابية إلى سنة 1997م من خلال محاضرة ألقاها العالم رامناث شيلابا **Ramnath Chellappa** في جامعة تكساس التي اقترح فيها أهمية وجود نمط للحوسبة يُحُدُّه المنطق الاقتصادي بدلا من المنطق التقني بمفرده (10).

تعرفه الموسوعة البريطانية بأنه « طريقة تشغيل البرمجيات التطبيقية **Application Software** وتخزين البيانات ذات الصلة بها في نظم حاسبات مركزية **Central Computers Systems** وتوفير وصول العملاء **Costomers** أو المستخدمين **Users** إليها عبر شبكة الإنترنت. « (11)

وما النظم الإلكترونية والحوسبة الخطية للكتابة العربية إلا امتداد تاريخي لتقنيات الطباعة عبر تاريخها التعاقبي "فقد أدخل العثمانيون آلات الطباعة مبكراً إلى حاضرتهم المركزية (الآستانة) في النصف الثاني من القرن الخامس عشر، وهناك اختلاف عما إذا كانوا سبقوا إليها بشكل مستقل أو نقلوها عن الأوروبيين الألمان؛ حيث استطاع (جوتنبرج) إنشاء أول مطبعة في (مينز) عام 1448م، وبغض النظر عن ذلك فإن الأمر المهم هو أن العثمانيين وقتذاك كانوا يخطون اللغة التركية (لغة دولتهم المركزية الرسمية) بالحرف العربي (واستمر ذلك حتى ثلاثينيات القرن العشرين الميلادي) كما أن اللغة العربية نفسها كانت لغة سائدة في العلم والثقافة يتقنها جل المتعلمين الأتراك." 12

ومع دخول الطباعة إلى العالم العربي أخذت في الانتشار والتوسع عبر ربوع الوطن العربي برقمته، بيد أن الحوسبة الرقمية للكتابة والخط العربي تواجه تحديات كبيرة مقارنة مع الخطوط الأجنبية الأوروبية التي تتميز مثلاً بالانفصالية بينما الحروف العربية اتصالية.¹³

ومن وجهة نظر أية آلية حاسوبية للتعرف على الأنماط الحاسوبية، فإنه مع تثبيت جميع الظروف الأخرى يكون التعرف على الأنماط وهي منفصلة أيسر من التعرف عليها وهي متصلة ببعضها البعض، حيث يتوجب في حالة الاتصال حل مسألة تعيين حدود كل رمز رسومي (جرافيم) وهو ما يطلق عليه الباحثون في هذا المجال اسم (التقطيع) **segmentation** إضافة بالطبع إلى مسألة (التعرف) **recognition** على الحرف الذي يرمز إليه كل جرافيم.¹³

وبالتالي فإن من بين أكبر التحديات التي تواجه رقمنة الخط العربي تتمثل في مسألة التعرف والتقطيع، وكلاهما مقترنة بالأخرى؛ فالتعرف الصحيح يتطلب التحديد السليم لحدود الجرافيم.

وعلى الرغم مما تعانيه المعالجة الآلية للكتابة العربية من تحديات إلا أنها تحظى بأهمية بالغة في المجال التعليمي؛ حيث تستخدم في مساعدة المتعلمين كباراً كانوا أو صغاراً على تعلم الكتابة والخط العربي بشكل أيسر، خاصة مع تنوع أنماط التعرف الآلي على الخط العربي.¹⁴ حيث تعرض مثل هذه البرمجيات مسارات الكتابة اليدوية النموذجية لأمثلة من النصوص وتطلب من المستخدم أن يتتبع هذه المسارات بقلم مخصوص في يده على لوح حساس للمس أثناء مرحلة التدريب، كما يُطلب أثناء مرحلة تقييم الأداء من المستخدم أن يخط على اللوح الحساس أمثلة نصية، ومن ثمّ تقوم هذه البرمجيات بمقارنة مسارات الكتابة اليدوية للمستخدم مع المسارات النموذجية لكتابة أمثلة التدريب أو تقييم الأداء وبناء على نتيجة المقارنة يُفاد المتعلم بالتصحيحات المطلوبة لتحسين أدائه.¹⁴ والكتابة من المهارات اللغوية الأربعة لا تقل أهمية عن غيرها من المهارات الأخرى (السماع، الحديث، القراءة) وهي من المهارات الإنتاجية بما يقوم الفرد محصولة اللغوي وكفاءته اللسانية.

وبناء على تلكم الأداءات المتكررة الخاطئة منها والصواب نشأت ما يسمى بنظرية (التعلم الحاسوبي) (**Machine Learning**) التي تنبثق من مبدأ إمكانية التعلم " عبر تكرار التعرض للأمثلة الصحيحة والخطئة، أو عبر التعرض للأسئلة وأجوبتها حول جزئيات المسألة المطلوب مقاربتها؛ فالطفل مثلاً قد يجيد قراءة النص المكتوب بلغته الأم قبل أن يتعلم أسس وقواعد اللغة وذلك عبر تقليد الأكبر سناً وعبر محاولات الصواب والخطأ مع تصويب الأخطاء حيث يتحسن الأداء مع معاودة ذلك كله مراراً وتكراراً.¹⁵ فمبدأ التعلم الحاسوبي يتم من المحاولات التي يقوم بها الفرد أثناء الكتابة الحاسوبية، والأسئلة التي يتعرض لها أثناء برمجيات التعرف الآلي على الخط العربي.

إن الرقمنة **Digitization** في أبسط تعريف لها هي تحويل النص من حالته الخطية إلى صفة رقمية ومعالجته حاسوبياً وعليه ينضوي التعرف الآلي على النص المكتوب تحت ما يسمى بالتعرف الآلي على الأنماط وهو علم يتم فيه تحويل " الإشارات التناظرية **Analog Signals** المقابلة للأنماط المطلوب التعرف عليها (وهي النصوص المكتوبة/ المخطوطة في حالتنا هذه) إلى إشارات رقمية **Digital Signals** ومن ثمّ تزويد الحاسوب بها، ثم يجري تجهيزُ ابتدائي **Preprocessing** لهذه الإشارات الرقمية (وذلك مثل استبعاد بعض الأنساق النمطية من الشوشرة) ثم يأتي بعد ذلك استخلاص بصمات هذه الإشارات (أي مجموعة الصفات الرياضية المميّزة لها).¹⁶

فالتعرف الآلي على النص الخطي العربي لا يتم إلا من خلال تلك العملية التحويلية للأنظمة اللغوية العربية إلى الحاسوب حتى يصبح التعرف عليها آلياً في المرات اللاحقة، وكأن ذلك بمثابة تخزين حاسوبي لشفرات الحرف والنظام العربي، ولأجل ذلك كان لابد من مادة لغوية واسعة تخزن حاسوبياً لدعم ما يسمى بالتعلم الحاسوبي الموجه " ويطلق على عملية تشغيل هذه الأساليب الرياضية على المادة اللغوية من أجل بناء النماذج الاحتمالية الرياضية اسم التدريب **Training** كما يُطلق على الوعاء الممتلئ بتلك المادة اللغوية اسم المورد اللغوي **LanguageResource** وبطبيعة الحال فإن النماذج الاحتمالية سوف تحمل الخصائص الإحصائية للمورد اللغوي الذي تكوّنت منه، والذي عليه بدوره أن يحمل خصائص النصوص العربية المكتوبة الذي يعبر عنها.¹⁷

وبالتالي فإنه على أساس قوة وجودة المورد اللغوي يوجد التعرف الآلي على الخط العربي، وتصح الكتابة العربية الرقمية، ويتحقق التعلم الحاسوبي الموجه على أصح وجه، الأمر الذي يتطلب لغويين ولسانيين عرب مؤهلين حاسوبياً لإنجاز مثل هذا العمل الضخم على نحو يؤتي أكله أثناء الممارسة الفعلية للكتابة الحاسوبية.

5. خاتمة

انطلاقاً من خصوصية الحرف العربي وامتنال التقنية الحاسوبية لمادة لغوية أجنبية كان لابد من لسانين عرب يكتفون النظام العربي ويكسرون قيوده وفق ما يتماشى مع متطلبات التقنية في حدود التعلم الحاسوبي الصحيح والتعرف الآلي على الخط العربي بشكل لا يتنافى مع تلك الخصوصية والسمات العربية المتأصلة فيها .

وإذا كان التعرف الآلي على النص العربي المكتوب يتم عن طريق تحويل الرموز العربية إلى الحاسوب فإن هذا العمل يواجه تحديات كبيرة من بينها اتصال الحرف العربي أثناء الكتابة، وعليه تطلب تماشي عمليتين هما التقطيع أو ضبط حدود الرمز الجرافيكي، ثم التعرف الصحيح عليه حاسوبياً. وعلى أساس ذلك يكون الآخر.

تجري رقمنة الكتابة العربية من خلال توفير مورد لغوي يقوم به لسانيون عرب مؤهلون تقنيا لاستخدام برمجيات الحاسوب فيما يخدم الخط والكتابة العربية وفقا لخصائصها وسمتها المميّزة لها عن غيرها من الأنظمة اللغوية.

يساعد المردود اللغوي على النسج على منواله أدوات لغوية تساعد في تحقيق ما يسمى بالتعلّم الحاسوبي الموجه، الأخير الذي يتم من خلال الأداءات المتكررة من قبل المستخدم، سواء كانت تلك الأداءات صحيحة أو خاطئة، والأسئلة المتكررة أثناء الاستخدام الفعلي لبرمجيات الخط العربي الرقمية.

6. الهوامش

- ¹ - لتفاصيل أكثر ينظر: أحمد مختار عمر، صناعة المعجم الحديث، عالم الكتب، ط1، القاهرة: 1998م، ص168.
- ² - ينظر: عبد الرحمن بن حسن العارف، توظيف اللسانيات الحاسوبية في خدمة الدراسات اللغوية العربية (جهود ونتائج)، مجلة مجمع اللغة العربية الأردني، عمان - الأردن، ع 78، 2007م.
- ³ - محمود إسماعيل صيني، نحو معجم عربي للتطبيقات الحاسوبية، مجلة التواصل اللساني، ملحق: استخدام اللغة العربية تقنية المعلومات، ط1، فاس - المغرب: 1993، ص76/1.
- ⁴ - حافظ إسماعيل علوي ووليد أحمد العناتي، أسئلة اللغة أسئلة اللسانيات، الدار العربية للعلوم ناشرون، ط1، بيروت - لبنان: 2009م، ص110.
- ⁵ - مازن الوعر، قضايا أساسية في علم اللسانيات الحديث - مدخل - ، دار طلاس، ط1، دمشق - سوريا: 1988، ص406.
- ⁶ - عبد الرحمن الحاج صالح، المرجع نفسه، ص233-234.
- ⁷ - عمر مهديوي، الهندسة اللغوية والترجمة الآلية: المفهوم والوظيفة، <https://allissan.org/node/1316>.
- ⁸ - عبد الرحمن الحاج صالح، بحوث ودراسات في اللسانيات العربية، موفم للنشر والتوزيع، الجزائر: 2012م، ص84-85/1.
- ⁹ - نجلاء أحمد ياسين، الحوسبة السحابية للمكتبات: حلول وتطبيقات، العربي للنشر والتوزيع، ط1، 2014م، ص20.
- ¹⁰ - ينظر: نجلاء أحمد ياسين، المرجع نفسه، ص24.
- ¹¹ - نقلا عن: نجلاء أحمد ياسين، المرجع نفسه، ص21.
- ¹² - محسن رشوان و المعتز بالله السعيد، تطبيقات أساسية في المعالجة الآلية للغة العربية، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدولي لخدمة اللغة العربية، ط1، الرياض - السعودية: 2019م، ص: 24.
- ¹³ - المرجع نفسه، ص29.
- ¹⁴ - المرجع نفسه، ص38.
- ¹⁵ - المرجع نفسه، ص45.
- ¹⁶ - المرجع السابق، ص45.
- ¹⁷ - المرجع نفسه، ص51.

7.المراجع و المصادر

- أحمد مختار عمر، صناعة المعجم الحديث، عالم الكتب، ط1، القاهرة: 1998م.
- حافظ إسماعيل علوي ووليد أحمد العناتي، أسئلة اللغة أسئلة اللسانيات، الدار العربية للعلوم ناشرون، ط1، بيروت – لبنان: 2009م.
- عبد الرحمن الحاج صالح، بحوث ودراسات في اللسانيات العربية، موفم للنشر والتوزيع، الجزائر: 2012م.
- عبد الرحمن بن حسن العارف، توظيف اللسانيات الحاسوبية في خدمة الدراسات اللغوية العربية (جهود ونتائج)، مجلة مجمع اللغة العربية الأردني، عمان – الأردن، ع 78، 2007م.
- عمر مهديوي، الهندسة اللغوية والترجمة الآلية: المفهوم والوظيفة، <https://allissan.org/node/1316> (consulté le 25/01/2022).
- مازن الوعر، قضايا أساسية في علم اللسانيات الحديث: مدخل، دار طلاس، ط1، دمشق – سوريا: 1988م.
- محسن رشوان و المعتز بالله السعيد، تطبيقات أساسية في المعالجة الآلية للغة العربية، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز الدولي لخدمة اللغة العربية، ط1، الرياض-السعودية: 2019م.
- محمود إسماعيل صيني، نحو معجم عربي للتطبيقات الحاسوبية، مجلة التواصل اللساني، ملحق: استخدام اللغة العربية تقنية المعلومات، فاس-المغرب، ع1، 1993م.
- نجلاء أحمد ياسين، الحوسبة السحابية للمكتبات – حلول وتطبيقات – العربي للنشر والتوزيع، ط1، 2014م.