التوظيف المعرفي لمخرجات المعالجة الآلية للغة العربية
دراسة تحليلية في ضوء الفكر الحاسوبي المعاصر

د.محمد رأفت محمود

مدرس علم اللغة الحاسوبي

كلية الآداب، جامعة بني سويف

mraafat19821982@gmail.com

Doi: 10.21608/jfpsu.2023.214744.1274

التوظيف المعرفي لمخرجات المعالجة الآلية للغة العربية
دراسة تحليلية في ضوء الفكر الحاسوبي المعاصر

مستخلص

يسعى البحث إلى تقديم قراءة جديدة للفكر الحاسوبي المعاصر من خلال منظومته التقنية التي يُعول عليها في تحديد ملامحه وطبيعة معالجاته للظواهر المعرفية خصوصًا ما يتعلق باللغة بوصفها وسيلة المرء في التعبير عن المعاني والأفكار، ويتطلع البحث في ضوء ذلك إلى الإسهام في الوصول إلى رؤية علمية واضحة تُمهد الطريق إلى وضع إطار تنظيمي سليم يُسهم في معالجة أفضل للغة العربية تقوم على الإلمام بالاحتياجات اللغوية المطلوب إنجازها حاسوبيًا ومدى قدرة الحواسيب الآلية على تنفيذها، وبتلك الرؤية يتم تناول مخرجات المعالجة الآلية للغة العربية وتتبع توظيفها المعرفي وتقييم وضعها الراهن انطلاقًا من تصنيف مسارات المعالجة الحاسوبية للمستويات اللغوية وحصر مجالات التوظيف المعرفي لكل منها بالإضافة إلى اقتراح مجالات توظيفية جديدة.

الكلمات المفتاحية : المعالجة الآلية للغة العربية، منظومة الفكر الحاسوبي المعاصر، التوظيف المعرفي، معالجة البيانات اللغوية، المخرجات اللغوية.

Cognitive Recruitment for Outputs of Arabic Processing: An analytical Study in the Light of Contemporary Computational Thought

Dr. Mohammed Raafat Mahmoud
Lecturer of Computational Linguistics
Faculty of Arts, Beni Suef University

Abstract

The research seeks to provide a new reading of contemporary computational thought through its technical system, which is relied upon to determine its features and the nature of its treatments of cognitive phenomena, especially with regard to language as a way of expressing meanings and ideas, In light of this, the research looks forward to contributing to reaching a clear scientific vision that paves the way for the development of a sound regulatory framework that contributes to a better treatment of the Arabic based on familiarity with the linguistic needs required to be accomplished computerically and the ability of computers to implement them, With this vision, the outputs of Arabic processing are addressed, its Cognitive employment is tracked, and its current situation is evaluated, based on the classification of processing paths for linguistic levels, and the inventory of areas of Cognitive employment for each of them, in addition to proposing new employment areas.

***Keywords*:** Arabic Processing, The system of contemporary computational thought, Cognitive recruitment, Linguistic information's processing, Linguistic outputs.

❖ المقدمة :

حظيت الدراسات الحاسوبية لعلوم العربية في الآونة الأخيرة باهتمام ملحوظ من قبل الباحثين ومطوري التقنيات التكنولوجية الحديثة، وبفضل توظيف التقنيات الهائلة للذكاء الاصطناعي ووجود الكادر البشري المتخصص في هذا المجال العلمي ارتقت تلك الدراسات وتقدمت بصورة مكنتها من تقديم معالجات نوعية مهمة للظواهر اللغوية جعلت الآلة تقتحم ميادين لغوية معقدة كان في الماضي مجرد التفكير في دراستها حاسوبيًا وتفهمها بالآلة ضربًا من الخيال، ومع مرور الوقت حققت تلك المعالجات نجاحات مهمة وإنجازات ملموسة من خلال ما تمخضت عنه من تطبيقات نوعية تتعلق بفهم اللغة وإنتاجها سواء أكانت في صورتها المكتوبة أم في صورتها المنطوقة.

ومع كل ما تحقق من إنجازات؛ تظل الحاجة إلى وضع نظرية لغوية خاصة بمعالجة اللغة العربية حاسوبيًا مطلبًا أساسيًا يسعى إلى تحقيقه الجميع من أجل أن تنضبط الرؤية صوب وجهتها الصحيحة ويكون الغرض هو الارتقاء باللغة نفسها وليس لمجرد الارتقاء بالآلة وتطبيقاتها لتحقيق منافع مؤقتة، وبمعنى آخر فإن الغرض المنشود هنا لابد أن ينطلق من مبدأ تطويع الآلة للغة وليس تطويع اللغة للآلة؛ وبهذا المبدأ تستقيم أي معالجة آلية للغة العربية.

وفي إطار ما سبق يأتي هذا البحث ليُسهم – ولو بالقليل – في تلك المحاولات الجادة لمعالجة اللغة العربية آليًا من خلال تتبع مخرجات تلك المعالجة وإلقاء الضوء على مراحل تطورها وسُبل توظيفها معرفيًا عبر منظومة الفكر الحاسوبي المعاصر، ولتكتمل الرؤية يوظف البحث أدوات المنهج التحليلي في دراسته لعناصر منظومة الفكر الحاسوبي وتصنيف مخرجاتها التطبيقية، ومن ثمَّ جاء البحث في قسمين، تناولت في القسم الأول ملامح الفكر الحاسوبي المعاصر وطبيعة معالجاته للظواهر المعرفية من خلال دراسة عناصر منظومته التقنية، أما القسم الثاني فقد جعلته لتناول مسارات التوظيف المعرفي لتطبيقات المستويات اللغوية والمتمثلة في مسارات معالجة البيانات والمعلومات والمعارف اللغوية.

❖ ملامح الفكر الحاسوبي المعاصر وطبيعة معالجاته للظواهر المعرفية:

يُعد الفكر الحاسوبي المعاصر الركيزة الأساسية في تطوير تقنيات رقمية ومعالجات منطقية تمكن الحاسوب من الوصول إلى المعرفة بصورة تُحاكي العقل البشري في الوصول إليها، وفي إطار هذا الفكر يسعى مطورو الحواسيب الآلية والمتخصصون في مجال معالجة اللغات الطبيعية إلى إعمال الذهن لفهم طبيعة السلوك الإنساني من أجل بناء أنظمة حاسوبية ذكية تمتلك القدرة على محاكاة أداء المهام العقلية للإنسان بعملياتها المتعددة.

وبفضل توظيف الفكر الحاسوبي المعاصر في صناعة الإلكترونيات الرقمية خلال السنوات القليلة الماضية تمكنت الأنظمة الحاسوبية من تحقيق إنجازات مهمة أحدثت نقلة نوعية في مجالات كثيرة: كالتعليم، والاتصالات، والطب، والطيران، والبنوك، والصناعات العسكرية والزراعية، وغير ذلك من المجالات، وصارت الحواسيب الإلكترونية بصورها المتنوعة[١] رمزًا للحضارة الإنسانية الحديثة(١)، وعنصرًا ضروريًا لاستمراريتها، ورافـدًا

---

[١] تتنوع الحواسيب الآلية وتُصنف تصنيفات متعددة حسب حجمها أو الغرض من استعمالها أو قدرتها على معالجة البيانات، فمن حيث الغرض من الاستعمال تُصنف الحواسيب الآلية إلى : (انظر مقدمة في علم الحاسب الآلي : ٤٦، ٤٧)

- **حاسبات ذات أغراض خاصة (Special purpose computers) :** وهي أجهزة تُستعمل لغرض محدد، وتتميز بالسرعة والكفاءة، ومنها تلك الأجهزة التي تُستعمل لأغراض حربية أو في نظم توجيه الطائرات والصواريخ أو تلك التي تُستعمل لقياس درجة الحرارة.
- **حاسبات ذات أغراض عامة (General purpose computers) :** وهذا النوع هو الأكثر انتشارًا لكونه متعدد الأغراض، ويُستعمل في التطبيقات التجارية والعلمية والإدارية .. إلخ.

ومن حيث الحجم والقدرة على معالجة البيانات تُصنف الحواسيب الآلية إلى: (انظر مقدمة في علم الحاسب الآلي : ٤٧، ٥١)

- **حاسبات كبيرة (Mainframe) :** هي عبارة عن خادم مركزي قوي العتاد يحتوي على أكثر من حدة معالجة والعديد من وسائط التخزين، وهذا النوع من الحاسبات باهظ الثمن تستعمله المؤسسات والشركات الكبيرة ذات العديد من المستخدمين في أنحاء مختلفة من العالم، وتسمح تلك الحاسبات لأكثر من مستخدم بالاتصال بها عبر أجهزتهم الخاصة ومعالجة البيانات الموجودة بها في الوقت نفسه.
- **حاسبات متوسطة (Minicomputers):** وهي أجهزة أصغر حجمًا وأقل كفاءة وسرعة من الحاسبات الكبيرة، وتستعملها المؤسسات والإدارات التي لها تطبيقات متوسطة الحجم .
- **حاسبات مصغرة (Microcomputers):** وهي الحاسبات الأكثر انتشارًا؛ نظرًا لما تقوم به من مهام متعددة (Multitasking)، وتتميز بصغر حجمها ذات معالج دقيقي (Microprocessor) رخيص الثمن، و يُستخدم هذا النوع من قبل مستخدم واحد، ولهذا النوع من الحاسبات صور متعددة منها:
  - **الحاسوب الشخصي (Personal Computer) :** تم إنتاجه لأول مرة بواسطة شركة (IBM) عام ١٩٨١م، وهو يتكون من دوائر إلكترونية قادرة على استقبال البيانات ومعالجتها للحصول على نتائج معينة، وله قدرة على القيام بالمهام الهندسية والتجارية والإدارية بالإضافة إلى الألعاب والإنترنت، وقد يكون هذا النوع من الحاسبات مكتبي (Desktop Computer) يتطلب مكان ثابت لتعدد مكوناته وكبرها إلى حد ما، وهناك النوع المحمول ويُطلق عليه (Laptop) يمكن حمله والتنقل به لصغر مكوناته التي تعمل ببطارية.

مــن روافد تقدمها لا يقل بأي حال عــن اكتشاف الجاذبية والكهرباء؛ لذلك ازدهرت صناعة الحواسيب الآلية في الآونة الأخيرة وأصبحت من أبرز الصناعات التي عرفتها البشرية وأكثرها تطورًا لمواكبة متطلبات العصر وتلبية احتياجات المستخدمين.

وهكذا فإن هناك ثمة علاقة تربط بين الفكر الحاسوبي المعاصر والتطور الهائل الذي يشهده العالم حاليًا في صناعة الحواسيب الآلية سواء على صعيد المكون المادي (Hardware) أم على صعيد المكون البرمجي (Software)؛ وذلك من أجل الوصول إلى أنظمة ذكية أصغر حجمًا وأرخص ثمنًا وأقل استهلاكًا للطاقة، وفي الوقت نفسه تتسم بالسرعة والكفاءة والقدرة على تحليل البيانات ونمذجتها منطقيًا بالإضافة إلى قدرتها على التخطيط وبناء الاستنتاجات والمحاكاة وغير ذلك من الأمور التي تسهم في وضع الحلول الملائمة لكثير من مشكلات الواقع المعاصر وتحدياته.

وفي مجال معالجة اللغات الطبيعية – وهو ما يُعنينا هنا – فإن توظيف الفكر الحاسوبي المعاصر في تتبع الظواهر اللغوية المختلفة ورصد خصائصها وتصنيفها يُسهم بصورة حاسمة في الوصول إلى نماذج رياضية ومنطقية تقبلها الأنظمة الرقمية وتتعامل معها بصورة تسمح للمطورين بإنشاء تطبيقات حاسوبية تُحاكي العقل البشري – قدر المستطاع – في معالجة القضايا المتعددة للغة سواء على صعيد صورتها المنطوقة أم على صعيد صورتها المكتوبة.

وبرؤية لغوية فاحصة؛ يتألف مصطلح "الفكر الحاسوبي" من مسارين أساسيين، **أولهما:** الفكر بوصفه نشاطًا ذهنيًا للعقل البشري يسعى إلى إعمال الخاطر في الأشياء للوصول إلى معرفتها، أو بمعنى آخر؛ إِعْمَال العقل فِي المَعْلُوم للوصول إِلَى معرفَة

- **الحواسيب الكفيّة:** وهي أجهزة لا يتعدى حجمها كف اليد، ويُطلق عليها أيضًا حواسيب الجيب (Pocket Computer)؛ لإمكانية وضعها في الجيب وتشغيلها بالبطارية، وهي ذات إمكانيات محدودة تُستعمل لإجراء بعض العمليات الحسابية البسيطة أو حفظ المواعيد والمعلومات الضرورية، وقد تم تطويرها مؤخرًا لتصبح ذات كفاءة عالية تمكن المستخدم من الاتصال بالإنترنت وتشغيل تطبيقات خدمية كثيرة، وقد تستعمل هذه الحواسيب لوحة مفاتيح ميكانيكية صغيرة، وقد تستعمل تقنية لمس الشاشة (touch screen) مثل أجهزة التابلت (Tablet Computer) والهواتف النقالة التي تُعد إحدى صور تلك الحواسيب .
- **الحواسيب المدمجة** (Embedded Computers): هي حاسبات موجودة في آلات كثيرة للقيام بمهام خاصة كتلك المدمجة في الطائرات والسيارات وأجهزة الصراف الآلي.

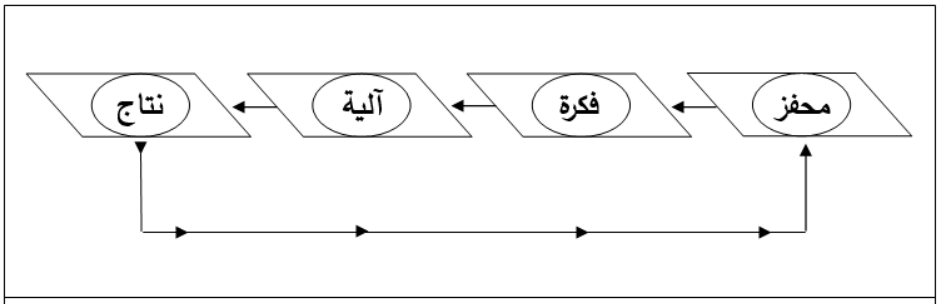
مَجْهُول[٢]، أما **المسار الثاني**: فيتمثل في الحاسوب[١] بوصفه آلة أو وسيلة لتحويل هذا النوع من الفكر من صورته المعنوية في الذهن إلى صورة واقعية ملموسة ذات نتائج عملية مجدية.

وبتلك الرؤية يكون الفكر الحاسوبي نوعًا من الفكر الإنساني المتعلق بمجال الحوسبة والمعلوماتية، وهكذا فإن هناك ثمة علاقة بين الفكر الحاسوبي وصناعة الحواسيب الآلية فلا تستقيم أي دراسة لرصد خصائص الفكر الحاسوبي وتطوره إلا بتتبع مراحل تطور صناعة الحواسيب الآلية نفسها، حيث توصف العلاقة بينهما بأنها علاقة تكاملية يتبادل كل منهما التأثير في الآخر، فمن جانب يُعد الفكر الحاسوبي جوهر التطور التكنولوجي لصناعة الحواسيب الآلية وتطبيقاتها البرمجية، ومن جانب آخر؛ فإن تطور تلك الصناعة كان له عظيم الأثر في توجيه هذا الفكر.

ومن هنا يعتمد البحث في رصده لملامح الفكر الحاسوبي وطبيعة معالجاته للظواهر المعرفية على تحليل عناصر منظومة هذا الفكر؛ لتحديد أبعاده، وتتبع مراحل تطوره، وحصر أطواره، وبيان أهداف كل طور في ضوء العلاقة الوثيقة التي تربط هذا الفكر بتلك الصناعة.

وتتألف منظومة الفكر الحاسوبي – وفق رؤية البحث – من أربعة عناصر أساسية هي: (المحفز – الفكرة – الآلية – النتاج) شكل(١-١) وترتبط تلك العناصر فيما بينها بعلاقة تتكامل فيها الأدوار وتتضافر بصورة تُلبي الطموحات وتحقق الغرض المطلوب، ولتنتظم الصورة سيقتصر الحديث في هذا القسم من البحث على تناول ثلاثة عناصر فحسب من عناصر منظومة الفكر الحاسوبي، وهي :(المحفز – الفكرة – الآلية)، أما العنصر الرابع المتمثل في النِتاج فسيتم تناوله في القسم الثاني من هذا البحث لارتباطه بمسارات التوظيف المعرفي لتطبيقات معالجة المستويات اللغوية.

[١] الحاسوب أو الحاسب الآلي: هو مجموعة من الآلات الإلكترونية تعتمد في عملها على تلقي مجموعة من البيانات عبر وحدات إدخال معينة تمهيدًا لمعالجتها من خلال القيام ببعض العمليات الحسابية والمنطقية عليها؛ من أجل الحصول على نتائج محددة عبر وحدات الإخراج .. انظر مقدمة في علم الحاسب الآلي: ١٧ ، ١٨ .



شكل (١ – ١) ..... عناصر منظومة الفكر الحاسوبي

أولاً: المُحَفِّـز:

المُحفِّز في اللغة: اسم فاعل من الفعل (حفَّز) يُقال: (حَفَّزه إلى الأمر): أي دفعه إليه[٣]، وبمنظور سلوكي فإن المُحفزات تُطلق على تلك القوى المستقرة في التكوين الجسدي والنفسي للفرد وفي بيئته الخارجية والتي تثير عنده الرغبة أو الإحساس للقيام بسلوك معين[٤].

ويُقصد بالمُحفِّز هنا مجموعة المقومات التي تشكل بيئة حاضنة للأفكار المكونة للفكر الحاسوبي في فترة زمنية معينة، ولكون المُحفِّز الركن الأول في منظومة هذا الفكر؛ فهو الحاضنة الحقيقية للأفكار وموطن اكتمالها ونضجها تمهيدًا للوصول إلى فكر سليم متماسك يتسم بطابع رقمي معين.

ويُعد المُحفِّز الركيزة الأساسية لاستمرارية هذا النوع من الفكر والدافع له، وله دور مهم في تهيئة الذهن لابتكار تقنيات حاسوبية ذات مراحل تنفيذية وخطوات منطقية تمثل الفكر بصورة رقمية تقبلها الآلة من أجل الحصول على نتائج ملموسة تحقق الهدف، كما أن له أثرًا كبيرًا في توجيه الفكر، وتحديد المتطلبات وتصنيفها وفقًا لقابلية التطبيق، وتنظيم الأهداف وتنفيذها وفقًا للأولويات.

وتتنوع مقومات الفكر الحاسوبي وتتشابك بصورة تجعل من تتبعها وحصرها في نطاق محدد أمرًا بالغ الصعوبة حيث فقد يتجسد الفكر وتتضح رؤيته وتتحقق أهدافه بفضل مقوم واحد تنبثق منه مقومات أخرى فرعية، وقد يستمد الفكر ديمومته وتترسخ رؤيته وتتحقق أهدافه بفضل تضافر أكثر من مقوم معًا وحينئذٍ يكون تعدد تلك المقومات وتضافرها مبررًا لتماسك هذا الفكر والحفاظ على استمراريته.

ويمكن تقسيم المقومات الأساسية للفكر الحاسوبي وفقًا لطبيعة الغرض ومجالات التوظيف إلى:

المقومات الأيدولوجية: وهي التي تتعلق بالحفاظ على القيم والمعتقدات والثوابت الفكرية ونشـرها مـن خلال تقديم الخدمات التوعوية والإرشادات الدعوية.

- **المقومات السياسية:** وتتعلق بتطلعات الأمم والشعوب في بناء جسور التعاون بينها أو لفرض سيطرتها على الآخرين.
- **المقومات الاقتصادية:** وتلك المتعلقة بتحقيق المنافع المادية وزيادة الربح.
- **المقومات الاجتماعية:** وتتعلق بالارتقاء بمنظومة الاتصال والتواصل بين أفراد المجتمع عبر وسيط آلي.
- **المقومات النفسية:** المتعلقة بإثبات الذات وتحقيق رغباتها وإدراك هويتها التي تُمَيِّزها عـن غيرها.

وقد تنبثق من تلك المقومات الأساسية مقومات فرعية متعددة، منها المقومات التعليمية التي يعول عليها في بناء أنظمة للتعليم والتعلم تحفز المتعلم وتثير عنده الرغبة في التعلم دون رتابة أو ملل، وهناك المقومات الترفيهية المتعلقة بقضاء وقت الفراغ من خلال وسائل التسلية والألعاب الإلكترونية، وهناك أيضًا المقومات البحثية التي تتعلق بجهود الوصول إلى الحقائق العلمية لمحاولة إثباتها أو لنفيها أو لتطويرها.

وقد تكون أبرز مقومات الفكر الحاسوبي هي نفسها نتاج منظومة هذا الفكر، فيحدث التكامل والترابط بين أركان منظومة الفكر الحاسوبي، ويصبح نتاج تلك المنظومة دافعًا مهمًا ومحفزًا أساسيًا لإعادة توجيه هذا الفكر تمهيدًا لبناء آليات جديدة تسمح بتحسين النتاج وتطويره.

ثانيًا: الفكـرة:

الفِكرَة في اللغة كالفِكْر، لا فرق جوهري يُذكر بين اللفظتين، والمراد منهما: إعمال الخاطر في الشيء للوصول إلى حقيقته(٥)، ويرى المناطقة أن الفكرة تختص بحركة النفس في المعقولات أما إن كانت حركة النفس في المحسوسات فحينئذٍ لا تُعد فكرًا إنما تكون

تخييلاً؛ وبهذا المنظور يكون المقصود بالفكر أو الفكرة: ترتيب أمور معلومة(أي: معقولة) للتوصل بها إلى أمر مجهول(أي: نتيجة) (٦).

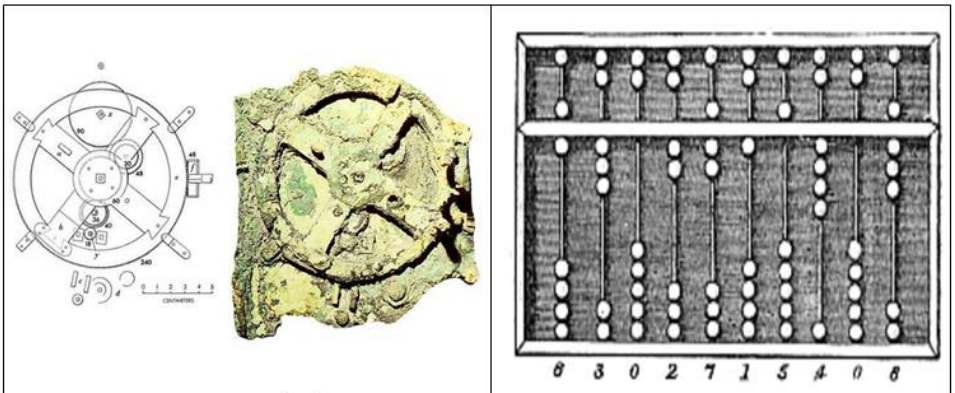
ويفرق البحث هنا– وفقًا لمنهجيته التحليلية – بين مصطلحي الفِكرَة والفِكْر، فالفِكْر: حالة معرفية وثقافية تتشكل عبر السنوات، أما الفِكرَة: فهي حصاد هذا الفكر وثمرته، فالفكر السليم يولد أفكارًا سليمة، والأفكار تُكوِّن الفكر وتصقله، ومن هنا فإن تتبع أطوار الفكر الحاسوبي والوقوف على خصائص تلك الأطوار يعتمد في المقام الأول على سرد أفكار العلماء والمطورين وتحليلها في ضوء تتابعها التاريخي.

وتعود إرهاصات الفكر الحاسوبي إلى عصور ما قبل الميلاد عندما لجأ الإنسان بدافع الحاجة إلى ابتكار طرق للعد والحساب لاستعمالها في تنظيم شئون حياته وإدارة موارده وثرواته، وكانت وسائله في البداية بسيطة كالعظام والحصى وأصابع اليد ومجالس العد، وبتَحَضُّر المجتمع الإنساني ابتكر الإنسان وسائل للعد والحساب أكثر فعالية كالمِعْدَاد[١] الذي استعمله قديمًا البابليون والسومريون والمصريون والصينيون والهنود والإغريق والرومان.

وقد برعت تلك الحضارات القديمة في تطوير المِعْدَاد شكل (٢-١) وابتكار طرق متنوعة وآليات جديدة لتسهيل العمليات الحسابية واختصار الوقت وتقليل الجهد المبذول في التفكير العقلي، وتشير الاكتشافات الأثرية الحديثة إلى أن بعض الحضارات القديمة توصلت إلى فكرة الميكنة في صناعة أدوات للعد والحساب تعتمد في طريقة عملها على التوجيه التلقائي وتقليص الاعتماد على التوجيه اليدوي قدر المستطاع، ومن أبرز هذه الأدوات الميكانيكية تلك المكتشفة في جزيرة أنتيكيثيرا (Antikithera) اليونانية عام ١٩٠١م وهي آلة للحساب مصنوعة من البرونز ابتكرها الإغريق في القرن الأول قبل الميلاد شكل (٢-١)، وهي مكونة من أقراص معقدة ورؤوس متحركة وصفائح محفورة ومسننات متداخلة، وتعتمد في عملها على تثبيت الأقراص المتحركة بواسطة مغزل موضوع على أحد الجوانب، وتوجد أغطية برونزية لحماية الرؤوس ومدون عليها شروحات ورموز معينة، وتختص تلك الآلة

[١] المِعْداد: اسم آلة من عَدَّ، وهو أداة يدوية للحساب والعد تتكوّن من إطار بداخله قضبان تتحرّك عليها كُريَّات إلى أعلى وأسفل .. معجم اللغة العربية المعاصرة: مادة (عدد): ٢/ ١٤٦٦ .

الميكانيكية بتحديد المواقع الفلكية، والتنبؤ بالخسوف أو الكسوف، وحساب التوقيت الزمني، ورصد حركة الشمس والقمر والكواكب، وكذلك حركة المد والجزر(٧).



المعداد الصيني — آلة أنتيكيثيرا

شكل (٢ – ١) آلات العد والحساب في الحضارات القديمة

وهكذا تواصلت إسهامات البشرية وتعاقبت عبر القرون لتطوير طرق وأدوات للحساب تُيسر العمليات الحسابية وتنفذها بصورة أكثر دقة وسرعة وكفاءة، ومع بداية القرن السابع عشر أفاد الأوروبيون من إسهامات الحضارات الأخرى المتعلقة بإجراء العمليات الحسابية ومعالجتها، وخصوصًا جهود العلماء العرب والمسلمين[١] في القرن السابع الميلادي وما بعده، يقول عالم الرياضيات جون ماكليش(John McLeish): "حدثت الإنجازات العربية الرئيسة في العلوم والرياضيات أثناء العصور الذهبية للتفوق الإسلامي. وقد حفظ برنامجهم الضخم لترجمة الأعمال العلمية إلى العربية،

[١] أسهمت جهود العرب والمسلمين بدءًا من القرن السابع الميلادي حتى القرن الخامس عشر في تيسير العمليات الحسابية، ومن أبرز تلك الإسهامات: ابتكار فروع جديدة لعلم الرياضيات كالجبر وحساب المثلثات، كما يُحسب للعرب والمسلمين وضع أسس الهندسة التحليلية وتحديد الأفكار الاساسية التي تعتمد عليها اللوغاريتمات، كما حافظ العلماء العرب والمسلمين على الهندسة اليونانية من الاندثار عن طريق ترجمة كتب مهمة ككتاب (الأصول) لإقليدس وكتاب (أريثمتكس) لجيراسا وديوفانطس، كما يرجع الفضل للعرب والمسلمين في تطوير النظام العشري للأعداد الذي يمكن في سياقه إخضاع الكسور والأعداد الصحيحة والأنواع الأخرى من الأعداد لقواعد هذا النظام بعد معالجتها بطريقة مناسبة، كما أوضح العلماء العرب والمسلمين أن النظم العددية يمكن إحلال كل منها مكان الآخر والحصول على النتائج نفسها، ويذكر بعض الباحثين أن تلك الإسهامات العلمية للعرب والمسلمين قد أحدثت ثورة أيديولوجية في الغرب استمرت لثلاثة قرون بين مؤيد لاستعمال هذا الفكر الحسابي الجديد ومعارض له، فأما المؤيد لاستعمال الحساب الجديد فتمثل في قوى التغيير التي رأت في نظام المراتب واستخدام عشرة رموز فحسب لتمثيل جميع الأعداد أمرًا ضروريًا ومهمًا لتيسير عمليات حسابية كثيرة، وأما المعارضون لاستعمال الحساب الجديد فكانوا أغلبية التجار والمحاسبين الذين اعتادوا على استخدام المِعْدَاد واستعمال الأرقام الأبجدية سواء كانت يونانية أم رومانية ... انظر العدد من الحضارات القديمة حتى عصر الكمبيوتر: ١٦٢ ، ١٨٠ ، ١٨٢ .

من اللغات البابلية والمصرية واليونانية والهندية والصينية، ما هو معلوم في تلك الحضارات، فأصبح متاحًا للعلماء الغربيين وكان هذا أساس الثورة العلمية الغربية في القرن الخامس عشر والسادس عشر."[٨].

وأدرك الغرب أن فكرة المِعْدَاد بصورتها القديمة لم تعد تناسب متطلبات تلك الفترة ولاسيما بعد توظيف الأرقام والخوارزميات العربية بالإضافة إلى المنازل العشرية واللوغاريتمات التي أسهمت في تيسير الحساب وجعله بسيطًا[٩]، وهكذا تهيأت الظروف للأوروبيين في تلك المرحلة لتطوير طرق أخرى للعد والحساب أكثر قدرة وكفاءة، ففي أوائل القرن السابع عشر تمكن العالم الاسكتلندي جون نابيير (John Napier) من تطوير فكرة الجداول اللوغاريتمية – بوصفها أبرز طرق الحساب السريع – التي يتم توظيفها في وصف الظواهر الطبيعية وصفًا رياضيًا دقيقًا، وفي عام ١٦٢٤م تمكن العالم الألماني فيلهلم شيكارد (Wilhelm Schickard) من اختراع آلة لإجراء عمليات الجمع لعدد مكون من (٦) منازل شكل(٣-١)، وأكمل تطوير تلك الآلة العالم الفرنسي بليز باسكال(Blaise Pascal) في عام ١٦٥٢م لتقوم بعمليات الجمع والطرح لعدد مكون من (٨) منازل شكل (٣-١)، وفي نهاية القرن السابع عشر تمكن العالم الألماني جوتفريد فيلهلم ليبنتز(Gottfried Wilhelm Leibniz) من تطوير آلة شكل (٣-١) لإجراء العمليات الحسابية الأربع [١٠].

ولعدة عقود تم توظيف آلة ليبنتز في إجراء العمليات الحسابية الأساسية من جمع وطرح وضرب وقسمة، وكان يقوم على تشغيلها متخصص يُطلق عليه كمبيوتر (Computer) وهو المسئول عن إدخال البيانات إلى تلك الآلة والحصول على النتائج وحفظها.

شكل (٣ –١) الآلات الحاسبة في القرن السابع عشر والقرن الثامن عشر

ومع كل ما أحدثته آلة ليبنتز من آثار طيبة إلا أنها كانت بطيئة نسبيًا في إجراء بعض العمليات الحسابية التي كانت تُنفذها على مراحل وليس مرة واحدة؛ وبمرور الزمن وسرعة إيقاعه أصبحت تلك الآلة لا تناسب مجالات كثيرة تتطلب سرعة في الحصول على النتائج لاتخاذ القرارات السليمة.

وفي بداية القرن التاسع عشر تمكن العالم البريطاني تشارلز باباج(Charles Babbage) من وضع تصور لآلة حاسبة أطلق عليها آلة الفروق (Difference Engine)[١] وهي آلة تستطيع إنجاز عمليات حسابية متتالية المراحل بصورة آلية دون تدخل أي عنصر بشري، وهكذا تتسم تلك الآلة بالسرعة والدقة حيث تختزل الوقت والجهد المبذول في تنفيذ العمليات المتكررة التي يقوم بها مشغلو الآلات السابقة بصورة يدوية.

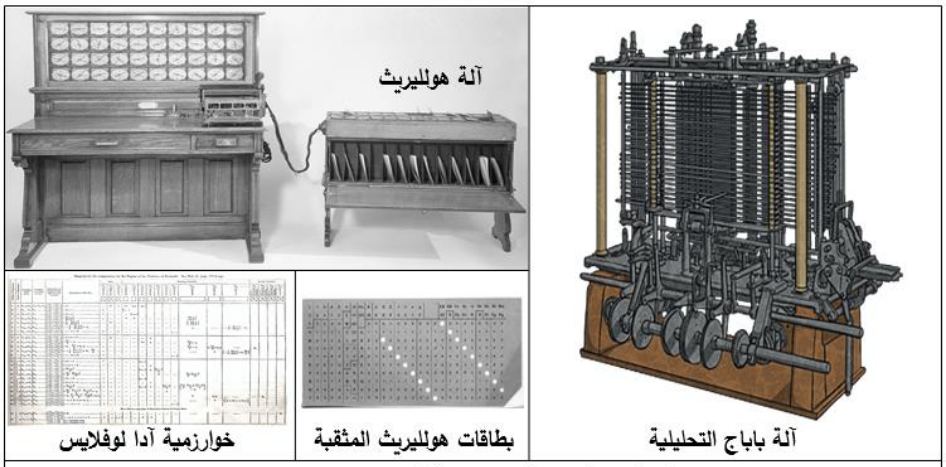
وقد عكف باباج على تصميم آلة أخرى أطلق عليها الآلة التحليلية شكل (٤-١) (Analytical Engine) وتقوم على مبدأ تعدد الوظائف وإمكانية التوجيه والبرمجة، ولتحقيق ذلك قام باباج باستعمال فكرة البطاقات المثقبة (Punched cards)[٢] التي استعملها العالم الفرنسي جوزيف ماري جاكار (Joseph Marie Jacquard) لضبط

[١] لم تر آلة الفروق النور على يد باباج لأسباب فنية ومادية، وقد قام معرض العلوم في لندن عام ١٩٩١ ببناء نسخة لتلك الآلة احتفالاً بمرور مائتي عام على ميلاد باباج.

[٢] البطاقات المثقبة: ورق بحجم خاص يُستعمل في تخزين المعلومات والتعليمات بواسطة الثقوب الموجودة على مواضع محددة فيه.

حركة الخيوط أوتوماتيًا في منسج ميكانيكي اخترعه عام ١٨٠١م، وتتكون آلة باباج التحليلية من ثلاثة مكونات أساسية هي: الذاكرة المتمثلة في المخزن (Store)، ووحدة الحساب المتمثلة في الطاحونة(Mill)، ووحدة التحكم المتمثلة في البطاقة المثقبة(Punched card) والتي يمكن من خلال تعديل ثقوبها تغير مسار عمل تلك الآلة لتقوم بمهام أخرى.

وفي منتصف القرن التاسع عشر نشرت الكونتيسة آدا لوفلايس (Ada Lovelace) خوارزمية (algorithm)[١] شكل (٤-١) يمكن أن تقوم بها آلة باباج التحليلية لتمكنها من القيام بأغراض ووظائف متعددة تتجاوز مجرد الحساب عن طريق إعطائها سلسلة من التعليمات الشرطية تسمح لها أن تعدل في أدائها وفقًا للحالات والمهام المتغيرة، وقبل انتهاء القرن التاسع عشر أفاد العلماء من جهود باباج وآدا لوفلايس وتمكنوا من ابتكار آلات متعددة الأغراض كالتي اقترحها اللورد كيلفن(Kelvin) عام ١٨٧٦م لحل المعادلات التفاضلية ذات المعاملات المتغيرة، وفـي عام ١٨٨٩م قدم العالم الأمريكي هيرمان هوليريث (Herman Hollerith) آلة كهروميكانيكية للإحصاء شكل (٤-١) تعتمد في عملها على البطاقات المثقبة التي تتحكم في وسائط كهرومغنيطية لتنفيذ حسابات محددة(١١).



شكل (٤- ١) الآلات الحاسبة في القرن التاسع عشر

[١] يُقصد بالخوارزمية: مجموعة متسلسلة من الخطوات المنطقية والرياضية لحل مشكلة ما، وسميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم العربي أبي جعفر محمد بن موسى الخوارزمي الذي ابتكرها .

وتتواصل مسيرة التطوير خلال القرن العشرين ويتمكن العلماء من تطوير الحواسيب الآلية بصورة جوهرية عن طريق إدخال المكون الإلكتروني[١] في هيكلية تصنيعها بديلاً عن المكون الميكانيكي وما صاحب ذلك من ابتكار تقنيات برمجية أكثر توافقًا مع الطبيعة الرقمية لعمل تلك الإلكترونيات القائمة على ثنائية الوصل(ON) والفصل(OFF).

وقد أحدث التطور السريع في تكنولوجيا الإلكترونيات خلال النصف الثاني من القرن العشرين نقلة نوعية مهمة تعاظمت معها آمال المطورين وطموحاتهم في الوصول إلى حواسيب إلكترونية يعول عليها بصورة فعلية في إنجاز الأعمال وإدارتها، وهكذا أصبحت فكرة التطوير لم تعد تقتصر على زيادة السرعة أو تعدد المهام فحسب بل امتدت لتشمل بناء حواسيب أصغر في الحجم وأقل في التكلفة واستهلاك الطاقة وفي الوقت نفسه تتسم بجودة التصنيع والكفاءة في أداء المهام وسهولة الاستعمال.

وبالفعل تحققت إنجازات مهمة منذ بداية النصف الثاني من القرن العشرين في صناعة الحواسيب الآلية وتطورت تطورًا ملحوظًا بفضل إسهامات بعض العلماء والمبتكرين؛ أبرزهم(١٢):

- **جورج بول (George Boole)**: عالم منطق ورياضيات إنجليزي أكمل رؤية تشارلز باباج وآدا لوفلايس الخاصة بإمكانية تعامل الآلة مع أي نوع من العمليات إن أمكن تحويل تلك العمليات إلى أرقام حيث توصل بول إلى فرع جديد من الرياضيات يُعرف بالجبر البولياني(Boolean Algebra) وهو نوع من الجبر المنطقي يسمح بالتمثيل الرياضي للعمليات المعقدة والحروف والفرضيات المختلفة مثلها مثل الأرقام تمامًا باستخدام متغيرين اثنين فحسب هما: الصواب ويرمز له بالرمز (1) والخطأ ويرمز له بالرمز(0)، أما عمليات الجبر البولياني

[١] المكونات الإلكترونية: يُقصد بها تلك العناصر المستخدمة للتحكم في الآلات الكهربائية وتحسين أدائها، وهي عناصر يتم تصنيعها من مواد شبه موصلة للتيار الكهربائي كالسيليكون والجرمانيوم، وتتميز تلك المواد بقابلية خصائصها الكهربائية للتغيير سواء بتنقيتها وفي تلك الحالة تكون غير موصلة للتيار الكهربائي أم بإضافة إحدى المواد الشائبة إلي بلوراتها النقية وفي تلك لحالة تكون موصلة للتيار الكهربائي بدرجة معينة، ومن أمثلة المكونات الإلكترونية: المقاومات والمكثفات والثنائيات والترانزستورات، وقد يتم تجميع تلك العناصر وتوصيلها بطريقة معينة مع بعضها على رقاقة سليكونية صغيرة ذات غلاف لدن له أرجل توصيل وذلك لبناء الدوائر المتكاملة .. انظر الإلكترونيات المعاصرة: ١٨: ٢٠ ، الإلكترونيات الرقمية وتطبيقاتها العملية: ٩، إلكترونيات القدرة وتطبيقاتها العملية: ٩ .

فله ثلاث عمليات أساسية هي: الوصل(And) ويرمز له بالرمز (∧) والفصل(Or) ويرمز له بالرمز (∨) والنفي(Not) ويرمز له بالرمز (¬).

- **كلود إلوود شانون (Claude Elwood Shannon)**: عالم رياضيات أمريكي أسهم في تأسيس نظرية المعلومات وله جهود محورية في مجال الاتصال والتشفير، ولعل أبرز أعماله تتمثل في محاولته توظيف مبادئ الجبر البولياني كهربائيًا للتحكم في الآلات وتوجيهها عن طريق تركيب المفاتيح الكهربائية وتنظيمها بصورة تبادلية اعتمادًا على مبدأ ثنائية الوصل(ON) والفصل(OFF)، وهكذا تمكن كلود شانون من تطبيق أفكار جورج بول ونظرياته بصورة عملية ملموسة في بناء الآلات الكهربائية(١٣).

آلان ماثيسون تورنج(Alan Mathison Turing): عالم رياضيات بريطاني، يُلقب بأب علوم الحاسوب والذكاء الاصطناعي حيث أثمرت أبحاثه عن صياغة الأسس العامة للخوارزميات المنطقية، وقد توصل بواسطة آلته التي ابتكرها في منتصف عقد الثلاثينيات من القرن العشرين والمعروفة بآلة تورنج إلى أن تنفيذ العمليات الحسابية بواسطة الآلات يتوقف على إمكانية تمثيلها كخوارزميات(١٤)، وقد تتبع آلان تورنج تلك العمليات ودرسها بصورة تفصيلية وخلُص إلى أن هناك بعض العمليات يتعذر على الآلة التعامل معها لاستحالة تمثيلها خوارزميًا، كعمليات التنبؤ بالمستقبل حيث لا يمكن صياغة خوارزميات خاصة بها؛ لكونها ذات خطوات مجهولة.

كما تُعد عمليات القسمة التي لا تنتهي إحدى تلك العمليات التي يتعذر على الآلة التعامل معها، وهذا النوع من العمليات يمكن صياغة خوارزمياته، ولكن تنفيذها يجعل الآلة تعمل باستمرار دون توقف؛ لأن ناتج تلك العملية من الأعداد إلى ما لا نهاية.

وهناك نوع آخر من العمليات تُنفذها الآلة لإمكانية تمثيلها خوارزميًا عبر خطوات محددة، ولكن مشكلاتها تكمن في كونها تستغرق وقتًا أطول من اللازم في التنفيذ، وحينئذٍ تكون النتائج عديمة الفائدة، ومن أمثلة هذا النوع عمليات التنبؤ التي تتأخر نتائجها لفترات زمنية طويلة بحيث تكون تلك النتائج عديمة

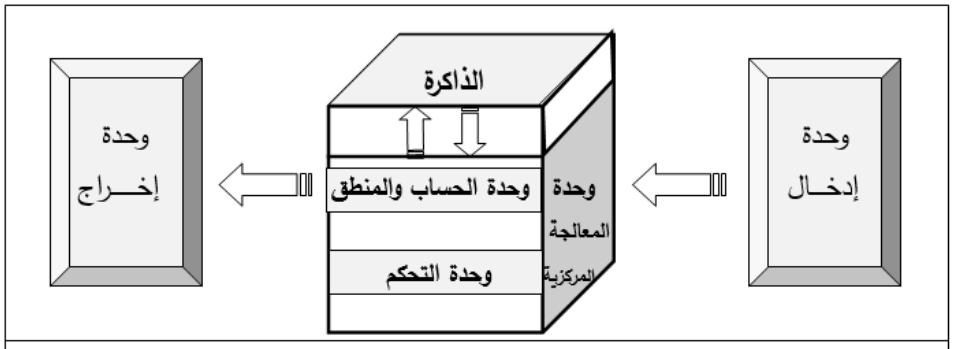
الفائدة بالنسبة لمتخذي القرار كالتنبؤ بالمرض بعد وفاة المريض أو التنبؤ بسعر الأسهم في البورصة بعد بيعها ..الخ.

وهكذا قدم آلان تورنج عبر آلته الحسابية نموذجًا تطبيقيًا يستخدم للحكم على قابلية تنفيذ العمليات الحسابية من عدمه، كما يُستخدم للمفاضلة بين عملية وأخرى في التنفيذ(١٥).

- **جون ماوكلي (John Mauchly)، وجون بريسبر إيكيرت(J. Presper Eckert)**: عالمان أمريكيان ابتكرا أول حاسوب إلكتروني رقمي متعدد الأغراض بجامعة بنسلفانيا تلبية لاحتياجات الجيش الأمريكي خلال الحرب العالمية الثانية، ويُسمى (Electronic Numerical Integrator And Computer)شكل (٦-١) ويعرف اختصارًا بـ(ENIAC)، وقد تم الانتهاء من تصنيعه عام ١٩٤٦م، ويعتمد في بنائه على الصمامات المفرغة حيث تألف من (١٨٠٠) صمامًا مفرغًا مما ترتب عليه استهلاكه لطاقة كبيرة بلغت (١٤٠) كيلو وات، وبلغ وزنه (٣٠) طنًا في مساحة بلغت (١٥٠) مترًا مربعًا، ويقوم مبدأ تشغيل هذا الحاسوب وبرمجته على فكرة تبديل الأسلاك والمفاتيح حيث كان يتطلب لكل عملية حسابية يقوم بها تبديل الأسلاك بصورة معينة، أما ذاكرته فقد اشتملت على (٢٠) مسجلاً يمكن لكل مسجل منها تخزين رقم عشري مكون من (١٠) خانات، ويمكن لهذا الحاسوب القيام بـ (٥٠٠٠) عملية جمع بالنظام العشري خلال الثانية(١٦).

- **جون فون نيومان(John Von Neumann)**: عالم رياضيات مجري أسس هيكلية لتصميم الحواسيب الآلية عُرفت بهيكلية فون نيومانشكل (٥-١)، وقد أحدثت تلك الهيكلية نقلة نوعية في تطور الحواسيب الآلية حيث تحولت آلية عملها من الاعتماد على فكرة تبديل الأسلاك في المقابس إلى الاعتماد على فكرة وحدة التخزين أو الذاكرة المسجل بها كل الأوامر والتعليمات والمعطيات بنظام الترقيم الثنائي، وبدلاً من تغيير الأسلاك الكهربائية في كل مرة للقيام بعملية حسابية معينة يتم هنا تغيير محتوى وحدة التخزين بتعليمات مكتوبة بالنظام الثنائي يتم تنفيذها بصورة تتابعية، وتتألف هيكلية فون نيومان من عدة عناصر، هي: (وحدة

الحساب والمنطق، ووحدة التحكم، ووحدة التخزين، ووحدة الإدخال والإخراج)، وهكذا جمع فون نيومان بتلك المعمارية الفكر المنطقي والفكر الحسابي والبرنامج المُخزن(١٧).



شكل (٥-١) هيكلية فون نيومان للحواسيب الآلية

وقد أسفرت جهود هؤلاء العلماء في الوصول إلى بناء حواسيب أكثر كفاءة وقدرة على القيام بالمهام المتعددة كالحاسوب (EDVAC) الذي طوره جون ماوكلي (J.Mauchly)، وجون إيكيرت(J.Eckert) ليعمل بالنظام الثنائي بدلاً من النظام العشري الذي يعمل به الحاسوب (ENIAC)، وهناك الحاسوب (SEAC) الذي طورته الوكالة الوطنية الأمريكية للمعايير عام ١٩٤٩م، وفي العام نفسه طور العالم البريطاني موريس ويلكس (Maurice Wilkes) وفريقه في مختبر جامعة كامبريدج الحاسوب (EDSAC1) كأول حاسوب ببرنامج داخلي، ومع بداية النصف الثاني من القرن العشرين تحول مسار صناعة الحواسيب الآلية من ميدان البحث العلمي إلى ميدان التسويق التجاري وذلك بظهور الحاسب (LEO) الذي طورته شركة (Lyons) الفرنسية عام ١٩٥٣م، وفي عام ١٩٥٤م طورت شركة (IBM) الأمريكية الحاسوب(IBM 650) وباعت منه أكثر من ألف جهاز(١٨).

وبإدخال الترانزستور في صناعة الحواسيب الآلية بدلاً من الصمامات المفرغة ظهر الجيل الثاني عام ١٩٥٦م، ومن أبرز حواسيبه الحاسب (IBM 1620) والحاسب (IBM 3070 STRETCH) شكل (٦-١)، وقد تميزت حواسيب هذا الجيل بصغر حجمها بالمقارنة بحواسيب الجيل الأول، كما تميزت بقلة استهلاكها للطاقة وزيادة

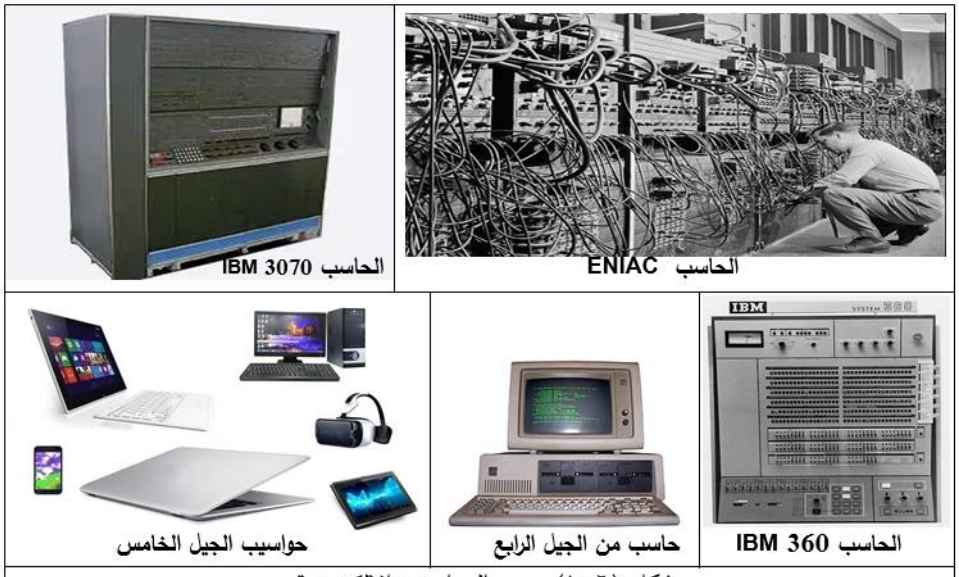
معدل تنفيذ العمليات في الثانية الواحدة، وقد ظهرت مع هذا الجيل لغات متعددة للبرمجة عالية المستوى كلغة كوبول(COBOL) وفورتران(Fortran).

ومع ظهور الجيل الثالث في عام ١٩٦٤م أُستعملت الدارات المتكاملة (Integrated Circuits) في صناعة الحواسيب الآلية مما أدى إلى صغر حجم الحواسيب وزيادة سرعتها بصورة كبيرة، ومن أبرز حواسيب هذا الجيل الحاسب (IBM 360) شكل (٦-١).

وفي عام ١٩٧١م كانت إرهاصات الجيل الرابع من الحواسيب الآلية شكل (٦-١) بإدخال المعالجات الميكروبية(Microprocessors) في صناعتها، وتُعد شركة إنتل (Intel) بمعالجها (Intel 4004) أول شركة تدخل تلك المعالجات في صناعة الحواسيب الآلية مما أدى إلى زيادة سرعة الحواسيب بمعدل تنفيذ أكثر من (٦٠٠٠٠) عملية في الثانية الواحدة، وقد تزامن مع ظهور هذا الجيل ظهور لغات برمجية أكثر سهولة وكفاءة كلغة بيسك(BASIC) ولغة باسكال (Pascal).

ومع بداية العقد التاسع من القرن العشرين ظهرت إرهاصات الجيل الخامس شكل (٦-١) بالتزامن مع إدخال الدارات المتكاملة فوق الكبيرة (Ultra Large Scale Integration) في صناعة الحواسيب الآلية؛ مما جعل حواسيب هذا الجيل ذات سرعات هائلة وقدرات معالجة فاقت التوقعات مكنتها من القيام بمهام كثيرة ومتعددة، وقد دفعت تلك التطورات النوعية إلى تصاعد طموح المطورين والانتقال بمسار الفكر الحاسوبي لوجهة أخرى تتعدى فكرة الوصول إلى بناء حواسيب أسرع في تنفيذ العمليات وأصغر في الحجم وأقل في التكلفة واستهلاك الطاقة إلى فكرة بناء حواسيب ذكية يمكنها محاكاة القدرات العقلية والحسية للإنسان والتعامل مع لغته الطبيعية سواء بفهمها أم بتوليدها، ويُعد هذا التحول الفكري بمثابة بثورة حاسوبية جديدة ونقلة نوعية مهمة في تاريخ تطور الحواسيب الآلية، يقول إدوارد فايجنباوم (Edward Feigenbaum): " ونحن نرى أن الثورة الحاسوبية المهمة هي الانتقال من المعالجة الإجرائية للمعلومات إلى المعالجة الإجرائية للمعرفة، ومن الحواسيب التي تجري الحساب على البيانات وتخزينها إلى الحواسيب التي ترشد وتعلم "[١٩] .

وبالفعل شهد المجتمع الإنساني خلال العقدين الأخيرين من القرن الحادي والعشرين إنجازات نوعية مهمة على صعيد توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي لجعل الحواسيب قادرة على القيام بعمليات التنبؤ والاستنتاج والتصنيف والتحليل وتمثيل المعرفة؛ مما أسهم في إنتاج تطبيقات حاسوبية لفهم الكلام وتوليده، والترجمة الآلية، والرؤية بالحاسب، وتشخيص الأمراض، وإدارة الأعمال، وتحليل النصوص اللغوية وفهم مكنونها.. وغيرها من التطبيقات الحاسوبية المهمة.



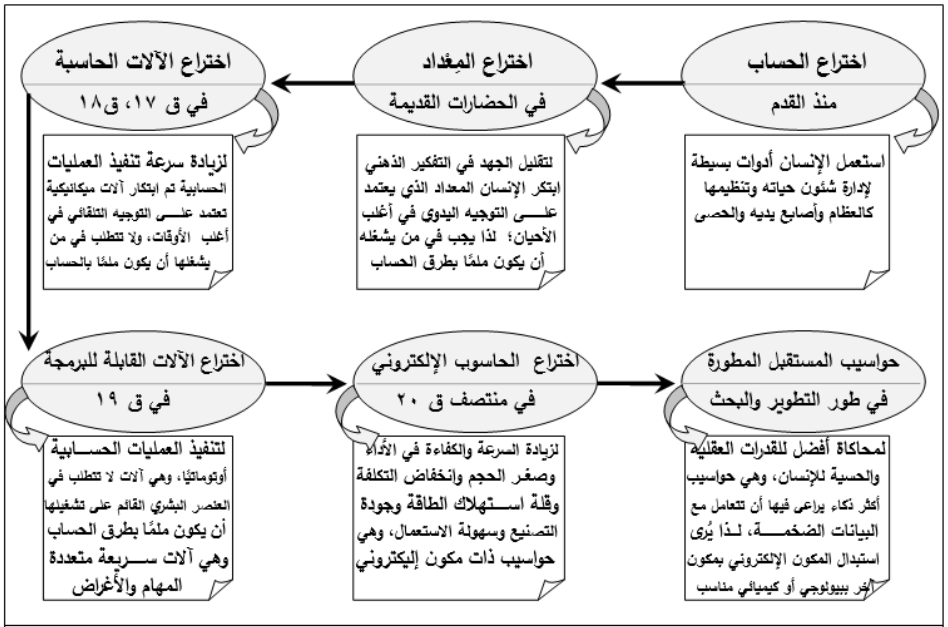
شكل (٦-١) الحواسيب الإلكترونية

ومع كل ما تحقق من إنجازات في هذا الشأن يطمح المطورون إلى المزيد من النجاحات في ظل التقدم التكنولوجي الهائل لتقنيات صناعة الحواسيب ومحاولة استبدال المكون الإلكتروني بمكون آخر[١] أكثر قدرة وكفاءة من أجل التعامل مع البيانات الضخمة (Big data) ومصادرها المتعددة.

وهكذا فإن الفكر الحاسوبي يمكن وصفه من خلال ست مراحل أساسية تمثل مسار تطوره الحقيقي شكل (٧-١) حيث بدأ هذا الفكر منذ القدم عندما شعر الإنسان بحاجته إلى **أدوات تعينه على الحساب** لإدارة شئون حياته المختلفة فاستعمل العظام وأصابع يديه والحصى، ثم اخترع بعد ذلك **العدادات** لتقليل الجهد في التفكير العقلي لعمليات الحساب

[١] هناك من يرى استبدال المكون الإلكتروني بمكون آخر بيولوجي أو كيميائي أو ضوئي .

المختلفة، وفي القرنين السابع عشر والثامن عشر اخترع الأوروبيون **الآلات الحاسبة** لتنفيذ العمليات الحسابية بصورة ميكانيكية لا تتطلب – في أغلب الأحيان – أن يكون المشغل لتلك الآلات ملمًا بطرق الحساب المختلفة، وفي القرن التاسع عشر توصل العلماء إلى ابتكار **آلات حاسبة قابلة للبرمجة** ومتعددة المهام والأغراض، ومع بداية منتصف القرن العشرين ظهر **الحاسوب الآلي ذو المكون الإلكتروني** الذي يتسم بالسرعة والكفاءة وصغر الحجم وانخفاض التكلفة وقلة استهلاك الطاقة وجودة التصنيع وسهولة الاستعمال، ومع ظهور **الجيل الخامس للحواسيب الآلية** أصبح الفكر الحاسوبي يدور حول كيفية بناء حواسيب ذكية يمكنها محاكاة القدرات العقلية والحسية للإنسان، ويتضح مسار تطور الفكر الحاسوبي من خلال المخطط الآتي:



شكل (٧ – ١) مسار تطور الفكر الحاسوبي

ثالثًا: الآلية:

يرد مصطلح (الآليَّة) في اللغة بمعنى فن اختراع الآلات واستعمالها[٢٠]، ولكونه مصدرًا صناعيًا تمت صياغته من كلمة (آلة)؛ فإنه يتصف بصفات هذه الكلمة التي صيغ منها فيدل بذلك على مجموعة الخصائص والسمات الموجودة في (الآلة)، ومن ثمَّ استعمل البحث مصطلح (الآلية) وأطلقه على العنصر الثالث من عناصر منظومة الفكر

الحاسوبي، ويُقصد به هنا الوسيلة أو الأداة التي ابتكرها الإنسان لتحويل الفكرة من صورتها المعنوية في الذهن إلى صورة واقعية ذات نتائج ملموسة.

ويلقي البحث – في تناوله لعنصر الآلية – الضوء على عاملين أساسيين لهما أثر واضح في تطور الآلية والارتقاء بمنظومة الفكر الحاسوبي بجوانبها المختلفة، يتمثل العامل الأول في العتاد ومكوناته الأولية، أما العامل الثاني فيتمثل في طبيعة المعالجات ونسقها البرمجي.

- **العامل الأول: العتاد ومكوناته الأولية:**

يُطلق مصطلح العتاد (Hardware) على مجموعة الأجزاء المادية(الملموسة) الصلبة التي يتكون منها أي نظام حاسوبي وفقًا لهيكلية(Computer architecture) معينة[١]، وتُسهم تلك البنية المادية بدور مؤثر في تحسين عمل الآلية وتعزيز قدرتها على تنفيذ المهام المطلوبة منها بسرعة وكفاءة(٢١).

وترتبط بنية العتاد[٢] وهيكلية تصميمه ارتباطًا وثيقًا بوظيفة الآلية نفسها[٣]والمهام التي من المفترض أن تقوم بها، ويتضح ذلك من خلال تتبع مراحل تطور العتاد، ففي البداية استعمل الإنسان وسائل طبيعية بسيطة تعينه في العد والوصول إلى النتائج السليمة كأصابع يديه، والحصى، والعظام، وعقد الحبال، والعلامات الخشبية، وغيرها من وسائل العد التي وظفها منذ القدم بصورة مستقلة غير معقدة لتساعد العقل في إيجاد نتائج العمليات الحسابية، ومن ثم تنظيم شئون الحياة وإدارتها بصورة أفضل.

وبظهور الحضارات الإنسانية القديمة ارتقى المجتمع وتطور اقتصاده وتشابكت شئونه الحياتية وباتت أكثر تعقيدًا؛ مما فرض استحداث وسائل أخرى للحساب ذات قدرة وكفاءة للقيام بالعمليات الحسابية فابتكر الإنسان المِعْدَاد؛ لاختصار الوقت وتقليل الجهد

---

[١] هيكلية الحاسوب: يُقصد بها المعمارية التي يعول عليها في وصف المكونات الأساسية المكونة لنظام حاسوبي معين، ويفرق بعض الباحثين بين هيكلية الحواسيب وتنظيمها، فالهيكلية عندهم تلك الصفات التي لها تأثير مباشر على التنفيذ المنطقي للعمليات كفئة التعليمات والأوامر، وعدد الخانات المستعملة في تمثيل البيانات المختلفة، وآليات إدخال البيانات وإخراج النتائج، وتقنيات المعالجة، أما التنظيم فيختص ببيان سمات المكونات المادية للحواسيب والتي لا يرصدها المبرمج في أغلب الأحيان كإشارات التحكم والربط بين الأجهزة الطرفية وتقنيات الذاكرة المستخدمة .. انظر مقدمة في معمارية الحاسوب: ١٨ ، 1 p: Principles of Computer Hardware

[٢] يُقصد بالبنية هنا: الطريقة التي تتصل بها مكونات الآلية ببعضها، أما الوظيفة: فهي عمل كل مكون من تلك المكونات بوصفه جزءًا من الهيكل البنائي الكامل لتلك الآلية.

[٣] يُقصد بالوظيفة: عمل كل مكون من تلك المكونات بوصفه جزءًا من الهيكل البنائي الكامل لتلك الآلية

في التفكير الذهني، وهو عبارة عن تكوين هندسي له طابعه الخاص في ترتيب مكوناته وتنظيمها وترابطها ببعضها وفقًا لمبادئ حسابية معينة، ويتألف المعداد من عدد محدد من الحبوب أو الخرز أو الحجارة الصغيرة تتحرك على بعض القضبان أو الأسلاك أو الخيوط وقد تتحرك في أخاديد على الرمال أو الشمع أو على ألواح من الخشب أو المعدن.

ومع مطلع القرن السابع عشر تزايد اهتمام الأوروبيين بتطوير آليات جديدة للحساب عبر توظيف فكرة الميكنة في بناء أنظمة قادرة على تمثيل الأعداد بحركة ميكانيكية، وبقيام الثورة الصناعية في أوروبا خلال القرن الثامن عشر تطورت الفكرة وترسخت أكثر وتمكن العلماء من ابتكار آلات ميكانيكية تعتمد على العنصر البشري في تشغيلها، ويمكنها تنفيذ العمليات الحسابية الأساسية من جمع وطرح وضرب وقسمة بصورة تلقائية دون أن يُشترط في القائم على تشغيلها معرفته التامة بطرق الحساب وخطواته التنفيذية، وبنظرة تحليلية لعتاد تلك الآلات يُلاحظ أنه يتكون – في أبسط صوره – من **مقبض** حركة لاستقبال الطاقة اللازمة للتشغيل، ويتصل هذا المقبض **بأسطوانة** دائرية مثبت عليها **أسنان** ذات أطوال مختلفة تُدير **ترسًا** بمقدار معين يتناسب مع طول تلك الأسنان، ومن ثمَّ يندفع **القضبان** المتصل بتلك الأسنان مُحركًا **عجلات** مدون عليها رموز وأرقام معينة، وتعمل تلك العناصر الميكانيكية من مقابض وأسطوانات وأسنان وتروس وقضبان وعجلات وفق منظومة ميكانيكية محددة تسمح بتطبيق أسس قوانين الحركة الفيزيائية لتمثيل الأرقام وتنفيذ العمليات الحسابية وفقًا لمبادئ رياضية معينة.

وقد عكف العلماء على تطوير تلك الآلات الحاسبة الميكانيكية خلال القرن التاسع عشر؛ نظرًا لما أحدثته من آثار إيجابية في تنظيم الأعمال وإدارتها، وشمل تطوير الآلات الحاسبة في هذا القرن جانبين مهمين هما : بنية تلك الآلات وطريقة عملها، فعلى صعيد البنية أصبحت العناصر الميكانيكية أكثر تعقيدًا وفعالية عن مثيلاتها في الآلات السابقة، وعلى صعيد طريقة العمل فقد تحولت تلك الآلات من الاعتماد على العنصر البشري في توجيهها إلى الاعتماد على التوجيه الذاتي(التلقائي) في تنفيذ العمليات المختلفة عن طريق جعلها آلات قابلة للبرمجة متعددة المهام؛ مما كان له المردود الإيجابي على أداء تلك الآلات وكفاءتها.

أما الطفرة النوعية في تطور الحواسيب الآلية فقد حدثت مع إدخال العناصر الإلكترونية كمكون أساسي في صناعة العتاد الصلب بداية من النصف الثاني للقرن العشرين، وقد شمل التطور ركيزتين أساسيتين من ركائز منظومة صناعة الحواسيب الآلية، وهما: البنية والوظيفة، فأما ما يتعلق بالركيزة الأولى المتمثلة في بنية الحواسيب فقد أحدث إدخال العناصر الإلكترونية تغييرًا جوهريًا في صناعة الحواسيب الآلية حيث أصبحت المكونات المادية[١] أصغر حجمًا وأقل تكلفة واستهلاكًا للطاقة، بالإضافة إلى سهولة صيانة تلك المكونات أو استبدال أي منها بمكون آخر لتحسين الأداء أو لزيادة السعة، كما يسهم العنصر الإلكتروني في ضبط عمل العناصر الأخرى المكونة للعتاد المادي الصلب كالعنصر المغناطيسي والعنصر الكهروميكانيكي وذلك وفقًا لآلية مبنية على أساس حساب المنطق الثنائي المشترك بين جميع أنظمة الحواسيب الإلكترونية(٢٢).

وعلى صعيد الركيزة الثانية المتمثلة في الوظيفة فيعد قيام الحواسيب بتنفيذ البرنامج المكون من سلسلة من التعليمات المتتالية والمخزنة في الذاكرة المهمة الأساسية المطلوبة من تلك الحواسيب، ومن الضروري للقيام بتلك الوظيفة أن تشمل الحواسيب على قدرات نوعية أكثر تطورًا تُعزز النفع في مجالات كثيرة، وتنحصر تلك القدرات في الآتي(٢٣):

- استقبال البيانات بصورها المختلفة سواء كانت بيانات رقمية أم بيانات نصية أم صوتية .. إلخ، وتمثيلها كهربائيًا تمهيدًا لمعالجتها وفقًا لنظام رقمي ثنائي يتفق مع طبيعة الحواسيب الإلكترونية القائمة على ثنائية الوصل(ON) والفصل (OFF).
- تخزين البيانات والاحتفاظ بها لمدى قصير أو لمدى طويل وإمكانية استرجاعها وقت الحاجة إليها.
- نقل البيانات داخليًا بين مكونات تلك الحواسيب أو خارجيًا بينها وبين المحيط الخارجي المتصل بها.

[١] تتنوع المكونات المادية للحواسيب الآلية بين مكونات أساسية وأخرى إضافية، وتدخل المكونات الأساسية في تركيب جميع أنواع الحواسيب وتضم ثلاث وحدات رئيسة هي: وحدة إدخال البيانات وتجميعها كالميكروفون ولوحة المفاتيح والفأرة .. وغيرها، ووحدة المعالجة المركزية التي تقوم بتوجيه إجراءات العمليات وتنفيذها، ووحدة الإخراج المسئولة عن جلب النتائج كشاشات العرض والطابعات.. وغيرها، وأما المكونات المادية الإضافية فتتمثل في كل ما يمكن إضافته للحواسيب من وحدات للقيام بمهام خاصة كالأقراص المغناطيسية اللازمة لزيادة سعة الذاكرة ومرونتها.. انظر مهارات الحاسوب : ١٨ ، ١٩ ، ٢٩

- التحكم في مدخلات عمليات المعالجة ومخرجاتها عبر إدارة الأجزاء التنفيذية للحواسيب وتنظيم العمل بينها.

ومع بدايات القرن الحادي والعشرين أصبحت الحواسيب الآلية أداة أصيلة لا غنى عنها للإنسان في إدارة شئونه الحياتية وتنظيمها، وقد تزايد الطموح للارتقاء بصناعة تلك الحواسيب بالتزامن مع الثورة الهائلة في تطور صناعة الإلكترونيات وتقنيات الذكاء الاصطناعي، ولكن لازال هناك عائق يتمثل في كفاءة المكون الإلكتروني لتلبية طموحات المطورين المتزايدة للوصول إلى حواسيب أكثر ذكاءً وما قد يفرضه ذلك من سرعة فائقة في التعامل مع البيانات الضخمة (Big Data) لمحاكاة أفضل لطبيعة المهام العقلية والحسية للإنسان.

وفي الوقت الحالي يسعى العلماء والمطورون إلى بناء حواسيب مستقبلية متطورة ذات مكون آخر يكون بديلاً عن المكون الإلكتروني المعتاد وأكثر منه كفاءة وسرعة في التعامل مع البيانات الضخمة ومصادرها المتعددة كالمكون البيولوجي[١] أو الكيميائي أو الضوئي، وهناك إنجازات مهمة تتعلق ببناء حواسيب كمية تعتمد في عملها على مبادئ ميكانيكا الكم وظواهرها المختلفة للقيام بالمعالجات المتعددة(٢٤) .

- **<u>العامل الثاني: طبيعة المعالجات ونسقها البرمجي:</u>**

تضطلع المعالجة (Processing) بالدور المحوري في تنظيم عمل الآلية وتوجيهها عبر مجموعة من الإجراءات (Procedures) التي من شأنها أن تُسهم في تحويل التعليمات والأوامر إلى صورة تقبلها الآلية وتنفذها(٢٥)، وتُصنف طبيعة المعالجات ونسقها البرمجي وفقًا لمراحل تطور الفكر الحاسوبي في ستة أقسام كالآتي:

- **<u>معالجات ذهنية</u>:** يُقصد بها تلك النماذج الذهنية المستخدمة في تفسير العمليات الحسابية وإيجاد نتائجها، وقد عرف الإنسان هذا النوع من المعالجات منذ القدم[٢]

---

[١] يرى الدكتور نبيل علي أن تطور مكون البناء الأساسي للحواسيب المنتظر حدوثه في المستقبل يتمثل في الانتقال من استخدام العناصر الإلكترونية إلى العناصر البيولوجية؛ لأن السرعة التي يمكن الوصول إليها عبر المكون الإلكتروني اقتربت من حدودها القصوى، ولا سبيل لتحقيق المزيد سوى باستخدام العناصر البيولوجية ثنائية الحالة (Bi-state) لتكون العنصر الاساسي في بناء عتاد الحواسيب الآلية.. انظر حصاد القرن (المعلوماتية) : ٣/ ٣٠١ .

[٢] استخدم الإنسان بعض الوسائل الطبيعية كأصابع اليد، والحصى، والعظام، وغيرها من الوسائل الطبيعية لتحفيز الذهن ومساعدته في القيام بالعمليات الحسابية المختلفة.

ووظفه في إدارة شئون حياته وتنظيمها، وتتفاوت المعالجات الذهنية وتتشابك عناصرها بصورة يصعب معها وضع أسس ثابتة أو نسق محدد لوصف تلك المعالجات بدقة؛ لذلك يحرص البحث في تناوله لتلك المعالجات على تأكيد أهمية دراسة سلوك العقل في التفكير وحل المشكلات واستنباط النتائج، وأثر توظيف بعض الوسائل والأدوات لتحفيز الذهن من أجل الوصول إلى الغرض المطلوب.

- **معالجات بيانية:** توصلت البشرية إلى المعالجات البيانية بظهور المِعْداد في الحضارات الإنسانية القديمة، ويُقصد بهذا النوع من المعالجات تمثيل العمليات الحسابية في إطار نموذج هندسي يعتمد في تفسيره على رؤية العناصر المكونة له أو تصورها ذهنيًا وفق ترتيب نمطي معين، وبنشأة هذا النوع من المعالجات يكون الإنسان قد انتقل من الاعتماد على الوسائل البدائية في العد والحساب إلى الاعتماد على النماذج البيانية في تمثيل العمليات الحسابية وحلها، ولازالت بعض البلدان تستخدم المعالجات البيانية في مجال تعليم الرياضيات حتى اليوم؛ لدورها الأبرز في تنشيط العقل وتنمية مهاراته التحليلية مما يُسهم في تبسيط العمليات الحسابية وإيجاد نتائجها بصورة أسرع وأدق.
- **معالجات ميكانيكية:** تختص المعالجات الميكانيكية بإدارة الآلات وتشغيلها من خلال منظومة مُحْكمة تُنظم العمل بين العناصر المكونة لتلك الآلات من أجل تمثيل الأعداد وعملياتها الحسابية بحركة ميكانيكية معينة، وتعود إرهاصات توظيف فكرة الميكنة لإجراء العمليات الحسابية في أوروبا مع مطلع القرن السابع عشر، وخلال القرن الثامن بالتزامن مع قيام الثورة الصناعية ترسخت الفكرة أكثر في ضوء التجارب والاكتشافات الجديدة التي أسهمت في ابتكار المزيد من الآلات والوسائل الحسابية التي كان لها عظيم الأثر في تأسيس مرحلة جديدة في التاريخ البشري أصبحت فيها الآلة جزءًا أصيلاً ورافدًا مهمًا لا يمكن الاستغناء عنه في مجالات كثيرة(٢٦).
- **معالجات مُؤَتْمَتَة:** أحدثت أَتْمَتَة (Automation) العمليات الحسابية نقلة نوعية مهمة في صناعة الآلات الحاسبة التي تحولت من العمل بطريقة تعتمد على التوجيه اليدوي إلى العمل بطريقة ذاتية التوجيه عبر سلسلة من الأوامر

والتعليمات الشرطية المتتالية التي يتم تنفيذ مراحلها بصورة آلية دون تدخل العنصر البشري، وقد وضع تصور هذا النوع من المعالجات العالم البريطاني تشارلز باباج(Charles Babbage) مع بداية القرن التاسع عشر عندما فكرة في آلته التحليلية (Analytical Engine) التي تعتمد في عملها على البطاقة المثقبة (Punched card) التي يمكن من خلال تتبع ثقوبها تحديد مسار عمل الآلة، كما يمكن من خلال تعديل تلك الثقوب تغير مسار عمل الآلة لتقوم بمهمة أخرى، وهكذا أسست تلك المعالجات لنسق برمجي يمكن الاعتماد عليه في توجيه عمل الآلات الحاسبة؛ مما يمنحها قدرة على تعديل أدائها وفقًا للمهام المتغيرة المطلوبة منها، ولعل ذلك ما أشارت إليه الكونتيسة آدا لوفلايس (Ada Lovelace) عندما نشرت خوارزمية في منتصف القرن التاسع عشر لتطوير آلة باباج من أجل أن تقوم بمهام متعددة تتجاوز العمليات الحسابية من خلال القيام بتنفيذ مجموعة من الأوامر الشرطية المتتالية.

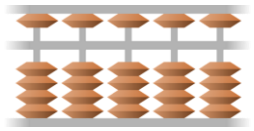
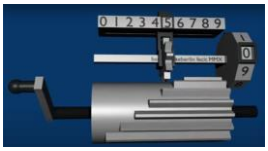
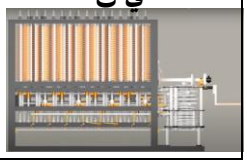
- **<u>معالجات رقمية:</u>** تُعد المعالجة الرقمية أبرز المعالجات الآلية وأهمها على الإطلاق، وتقوم فكرتها على تمثيل البيانات المختلفة في صورة رقمية[١] تقبلها الآلة وتنفذها بدقة وكفاءة(٢٧)، وقد ظهر هذا النوع من المعالجات خلال النصف الثاني من القرن العشرين بالتزامن مع إدخال المكون الإلكتروني بديلاً عن المكون الميكانيكي في صناعة عتاد الحواسيب لآلية، وقد استحدثت المعالجات الرقمية مجموعة من الأنساق البرمجية كان لها عظيم الأثر في تحسين أداء الحواسيب الآلية والارتقاء بتطبيقاتها المختلفة، ومن أبرزها: البرمجة الخوارزمية، والبرمجة الاحتمالية، والبرمجة بالشبكات العصبية الاصطناعية، والبرمجة الوراثية، والبرمجة الأوتوماتية، والبرمجة باللغات الطبيعية.

[١] تعتمد الآلات الإلكترونية على نظام العد الثنائي (Binary Number System) في تمثيل البيانات المختلفة بوصفه النظام الرقمي الأكثر ملاءمة لطبيعة بناء تلك الآلات القائمة على ثنائية الوصل والفصل(Yes/NO)، ويتكون النظام الثنائي من متغيرين فحسب هما: (الصفر والواحد) .. انظر علم إلكترونيات الحاسب : ١٠ .

- **<u>معالجات مستقبلية مطورة</u>:** نظرًا لصعوبة تحديد ماهية تلك المعالجات وطبيعتها [١] لكونها في طور البحث والتطوير؛ يقتصر البحث هنا على توضيح ملامحها العامة اعتمادًا على الهدف المأمول من تلك المعالجات في الوصول إلى محاكاة أفضل لطبيعة القدرات العقلية والحسية للبشر في القيام بالمهام المختلفة، ولعل أبرز تلك الملامح يتمثل في القدرة على التعامل مع البيانات الضخمة (Big Data) للارتقاء بالآلة وجعلها أكثر ذكاء في الوصول إلى المعرفة القائمة على الاستنتاج المنطقي، بالإضافة إلى تعزيز قدرة الآلة على التواصل اللغوي باستخدام اللغات الطبيعية، واكتساب المهارات من محيطها الخارجي، والقيام بالمهام الأدائية والأعمال المهنية على نحو ما يقوم به الإنسان.. وغير ذلك من الأمور.

ويتبين مما سبق أن الدور المنوط تحقيقه من الآلية بوصفها العنصر الثالث من عناصر منظومة الفكر الحاسوبي هو الخروج بالفكر من رحاب الذهن إلى رحاب الواقع المادي الملموس، ونظرًا لتلك الأهمية تناول البحث الآلية من خلال منظور علمي اعتمد على تتبع مسار تطورها سواء على صعيد العتاد أم على صعيد طبيعة المعالجات ونسقها البرمجي، وذلك كما يوضحه الجدول الآتي:

[١] هناك محاولات جادة من قبل الباحثين لاستحداث معالجات آلية متعددة أكثر جدوى من المستعملة حاليًا كالمعالجات الكمية والمعالجات البيولوجية والكيميائية والضوئية .

عناصر التكوين / مراحل التطور	مُكوِّن العتاد	طبيعة المعالجات	النسق البرمجي
اختراع الحساب منذ القدم	وسائل طبيعية كالحصى، والعظام، وأصابع اليد، وعقد الحبال، والعلامات الخشبية.	معالجات ذهنية	التفكير
اختراع المعداد في الحضارات القديمة 	تكوين هندسي يتألف من إطار به عدد محدد من الحبوب أو الخرز أو الحجارة الصغيرة تتحرك بنظام معين وفق مبادئ رياضية محددة.	معالجات بيانية	الرؤية التصور
اختراع الآلات الحاسبة في ق ١٧ ، ق ١٨ 	آلات ميكانيكية تعتمد على العنصر البشري في تشغيلها، وتعمل العناصر الميكانيكية المكونة لتلك الآلات من مقابض وأسطوانات وأسنان وتروس وقضبان وعجلات وفق منظومة ميكانيكية محددة تسمح بتطبيق أسس قوانين الحركة الفيزيائية لتمثيل الأرقام وتنفيذ العمليات الحسابية وفقًا لمبادئ رياضية معينة.	معالجات ميكانيكية	الحركة
اختراع الآلات القابلة للبرمجة في ق ١٩ 	عناصر ميكانيكية أكثر تعقيدًا وفعالية عن مثيلاتها في الآلات السابقة، وتعتمد في عملها على التوجيه الذاتي(التلقائي) بدلاً من الاعتماد على العنصر البشري في	معالجات مُؤَتْمَتَة	الثقوب

	توجيهها، وهي آلات قابلة للبرمجة ومتعددة المهام.		
اختراع الحاسوب الإلكتروني في منتصف ق ٢٠	عناصر إلكترونية تعتمد في عملها على نظام رقمي ثنائي لتمثيل جميع أنواع البيانات تمثيلاً كهربائيًا تمهيدًا لمعالجتها بصورة تتفق مع طبيعة الحواسيب الإلكترونية القائمة على ثنائية الوصل(ON) والفصل (OFF).	معالجات رقمية	منطق خوارزمي منطق احتمالي منطق شبكي منطق وراثي منطق أوتوماتي منطق لغوي
الحواسيب المستقبلية	آلات أكثر ذكاء ذات مكون بيولوجي أو كيميائي أو ضوئي، ويُعد هذا المكون بديلاً عن المكون الإلكتروني المعتاد وأكثر منه كفاءة وسرعة في التعامل مع البيانات الضخمة ومصادرها المتعددة.	معالجات مستقبلية مطورة	الكمي البيولوجي الكيميائي الضوئي

❖ مسارات التوظيف المعرفي لتطبيقات المستويات اللغوية:

بظهور الحواسيب الإلكترونية متعددة المهام في منتصف القرن العشرين تعددت مجالات عمل تلك الحواسيب وكثرت ميادين توظيفها، ولم يعد استعمالها مقتصرًا على عمليات العد والحساب فحسب بل امتد ليشمل مجالات أخرى كالمجال العسكري والطبي والهندسي والتعليمي بالإضافة إلى ميادين التسوق وإدارة الأعمال والخدمات والاتصالات والترفيه.. وغيرها.

ويهتم البحث هنا بتناول نِتَاج منظومة الفكر الحاسوبي، والنِّتاج في اللغة: ثمرة الشيء والعائد منه[٢٨]، يُقال: (نِتَاج التعليم/ الفكر/ العمل): أي مُحصلته وما يُسفر عنه من مخرجات ونتائج، ويُقصد به هنا ذلك العنصر الرابع من العناصر المكونة لمنظومة الفكر الحاسوبي والمتمثل في حصيلة التوظيف المعرفي للتطبيقات الحاسوبية المختلفة.

ويُعد التوظيف المعرفي للتطبيقات الحاسوبية من الأمور التي يجب مراعاتها في الدراسات الحاسوبية المعاصرة خصوصًا في مجال معالجة اللغات الطبيعية بوصفه مجال اختصاص الدراسة وأبرز ميادين الذكاء الاصطناعي أهمية على الإطلاق؛ لدوره المؤثر في الارتقاء بالآلة سواء على صعيد التواصل معها أم على صعيد توجيه عملها، وذلك من خلال العمل على إكسابها قدرات معينة تمكنها من فهم اللغة وإعادة إنتاجها بصورة تُحاكي – قدر المستطاع – العقل البشري.

ولا شك أن اللغة العربية بوصفها إحدى اللغات الطبيعية تتطلب مزيدًا من إلقاء الضوء على ظواهرها المختلفة من أجل معالجتها حاسوبيًا بمنظور يجعلها تُستخدم بصورة أفضل كأداة في التواصل الفعال مع الآلة مثلها مثل باقي اللغات الأخرى، ويسعى البحث في إطار ذلك إلى حصر نِتاج منظومة معالجة اللغة العربية على أساس التوظيف المعرفي للتطبيقات الحاسوبية المتنوعة؛ ليكون هناك خريطة طريق أمام الباحثين تُسهم في تحديد معالم التطوير والأهداف المراد تحقيقها وفق مراحل معينة، ومن ثمَّ بلورة رؤية مشتركة لمعالجة اللغة العربية حاسوبيًا قائمة على تصنيف مسارات التوظيف المعرفي لتطبيقات معالجة اللغة العربية وحصر الإنجازات التي تم إحرازها على صعيد المستويات اللغوية كافة، بالإضافة إلى المقترحات والرؤى المطلوب تنفيذها مستقبلاً.

وهناك ثلاثة مسارات أساسية لتوظيف التطبيقات الحاسوبية للغة معرفيًا، ينفرد كل مسار منها بنوع محدد من المعالجات، وتختص كل معالجة من تلك المعالجات بمخرجات لغوية معينة، وكل مُخرج من تلك المُخرجات له طبيعته الخاصة في القيام بالمهام اللغوية المختلفة، وذلك على النحو الآتي:

التصنيف المعرفي / المستوى اللغوي	معالجة البيانات	معالجة المعلومات	معالجة المعارف	
			فهم اللغة	إنتاج اللغة
المستوى الصوتي	المحادثات الصوتية تشغيل الأصوات وتسجيلها رسم الصوت طيفيًا	التحليل الفيزيائي للصوت التحليل اللغوي للصوت تحسين جودة الصوت بصمة الصوت	البحث الصوتي التمييز الصوتي التقييم الصوتي مضمون الكلام المَثِيل الصوتي	النطق الصوتي المحاكاة الصوتية
المستوى الصرفي	فهرسة الألفاظ وتصنيفها صرفيًا قواعد بيانات الصرف العربي	التحليل الصرفي التوليد الصرفي التتبع الصرفي البحث	التدقيق الإملائي فك الالتباس الصرفي	التنبؤ النصي على مستوى الكلمة

		النمطـــــــــي تشكيل بنيـــة الكلمات		
المستوى النحوي	قواعد بيانات النحو العربي	الإعراب النمطـــــــي البحث النمطي التركيبي التكوين النمطي للجمـل التتبع النحـــــــــوي التشكيل الإعرابـــــــي	التدقيق النحـــــوي الإعراب التتبعـــي	التنبؤ الإعرابـــي
المستوى الدلالي	قـواعد البيانات المعجمية	البحث النمطي الدلالـي توليد البنيـــة الدلالية التنقيب المعجمـــــي	التنقيب الدلالـــي الاقتباسات الأدبيـة	التنبؤ الدلالـــي التكوين النمطي الدلالي التلخيص الآلـــي الترجمة الآليـــة التدقيق السياقـي

أولاً: مسار معالجة البيانات اللغوية:

يقصد بالبيانات اللغوية هنا مجموعة المعطيات الموضوعية المتمثلة في الرموز الحاملة للمعنى سواء أكانت رموزًا لفظية (كالأصوات المنطوقة أو العلامات المكتوبة) أم كانت رموزًا غير لفظية (كالإشارات والإيماءات والحركات والألوان.. إلخ)، وعقب استقبال تلك المعطيات من خلال وحدات الإدخال المختلفة يتم تمثيلها بصورة رقمية تتوافق مع طبيعة الحواسيب الآلية تمهيدًا لمعالجتها بواسطة التطبيقات الحاسوبية المختلفة التي يقتصر دورها هنا على إدارة تلك المعطيات وتنظيمها من أجل القيام بمهام محددة لا تتعدى التخزين والاسترجاع والحصر والترتيب .. وغير ذلك من المهام المتواضعة التي لا يتطلب القيام بها تقنيات حاسوبية معقدة، فهي لا تحتاج في الحاسوب سوى قدرته الكبيرة في التعامل السريع مع تلك المعطيات التي تتسم – غالبًا – بضخامة حجمها(٢٩).

وقد تم توظيف تطبيقات معالجة البيانات – بوصفها أقدم التطبيقات الحاسوبية استعمالاً – لتحقيق أهداف جوهرية تمتد لتشمل نتائجها جميع المستويات اللغوية، فعلى صعيد المستوى الصوتي أسهم هذا النوع من المعالجات في الارتقاء بمنظومتي نقل الأصوات اللغوية وتسجيلها من خلال استبدال التقنيات التناظرية بتقنيات رقمية أكثر جودة وكفاءة في تمثيل تلك الأصوات؛ مما كان له عظيم الأثر في إنتاج تطبيقات للمحادثات الصوتية والاستدعاء الصوتي وتطبيقات لتسجيل الأصوات وتشغيلها بالإضافة إلى تطبيقات رسم الصوت طيفيًا.

وعلى صعيد المستوى الصرفي تمكن المطورون من إنشاء تطبيقات لفهرسة الألفاظ وتصنيفها صرفيًا، بالإضافة إلى بناء قواعد بيانات لأبواب الصرف العربي يعول عليها كثيرًا في تعلم القواعد الصرفية وفهمها.

وقد اقتصرت تطبيقات معالجة البيانات على صعيد المستويين النحوي والدلالي على الجانب التعليمي فحسب من خلال قواعد البيانات النحوية والمعجمية، كما امتدت تطبيقات معالجة البيانات لتشمل علومًا لغوية متعددة كالعروض والبلاغة والأسلوب والنقد والأدب، وتم توظيف هذا النوع من المعالجة في الجانب التعليمي لتلك العلوم.

ثانيًا: مسار معالجة المعلومات اللغوية:

تقوم معالجة المعلومات في الأساس على تتبع العلاقات التي تربط البيانات بعضها ببعض بغرض استخلاص الكليات والمؤشرات والتحليلات المختلفة(٣٠)، وفي ضوء هذا الإطار فإن عمليات معالجة المعلومات اللغوية لابد وأن ترتكز في المقام الأول على بيانات لغوية؛ حتى يتسنى الوصول إلى المعلومات والنتائج واستخلاصها من بين تلك البيانات الضخمة التي يتم فرزها واستبعاد عديم الفائدة والاكتفاء بالمؤثر منها فحسب تمهيدًا لتحديد العلاقات وأوجه الصلة بينها، وفي الوقت نفسه قد تعتمد معالجة المعلومات على معلومات لغوية حيث قد يتم التوصل إلى معلومة من خلال تتبع معلومات أخرى، ولعل من أبرز تطبيقات معالجة المعلومات اللغوية على صعيد الجانب الصوتي:

- **تطبيقات التحليل الفيزيائي للصوت:** ويأتي على رأس أولوياتها قياس شدة الصوت وتردده وبعض خصائصه الموجية الأخرى كالطول الموجي والسعة والكثافة.. إلخ .
- **تطبيقات التحليل اللغوي للصوت:** ويهتم هذا النوع من التطبيقات بتصنيف الأصوات اللغوية من حيث مخارجها وصفاتها النطقية، كما تهتم تلك التطبيقات بقضية الإدراك الآلي للظواهر الصوتية المختلفة كالإدغام والإعلال والإبدال والإمالة والإشمام .. وغيرها.
- **تطبيقات تحسين جودة الصوت:** تتطلب عمليتا نقل الأصوات وتسجيلها في بعض الأحيان إلى تلك النوعية من التطبيقات لتنقية الصوت أو تكبيره أو لإضافة مؤثرات معينة تغير من طبيعته.
- **تطبيقات بصمة الصوت:** تُستعمل تلك التطبيقات لتأمين المعاملات الشخصية للأفراد، وتعتمد في عملها على إدراك السمات النطقية المميزة للكلام والتي من خلالها يمكن التعرف على شخص بعينه من بين عدة أشخاص.

وعلى صعيد المستوى الصرفي تبرز أهمية تطبيقات معالجة المعلومات في تتبع الظواهر الصرفية التي تعتري الألفاظ اللغوية وحصر نتائج دراستها، ولعل من أبرز تلك التطبيقات التي تُعالج المعلومات الصرفية:

- **تطبيقات التحليل الصرفي:** يختص هذا النوع من التطبيقات بتحليل بنية الكلمة العربية وتفكيكها إلى مكوناتها الأساسية التي تتألف منها، وتتصل بجِذْع(Stem) الكلمة– في كثير من الأحيان – بعض اللواصق (Affixes) كالسوابق(Prefixes) التي تأتي في بداية الكلمة واللواحق (Suffixes) التي تأتي في نهايتها، وهكذا فإن لتطبيقات التحليل الصرفي دورًا مهمًا في تحديد المكونات الأساسية للكلمة، والكشف عن الوحدات الصرفية وأحوالها، والتعرف على اللواصق المركبة، وضمان عدم التنافر بين أي زوجين من المكونات الأساسية للكلمة، ومراعاة التأثير المتبادل بين تلك المكونات حال اجتماعها في الكلمة بالإضافة إلى مراعاة التوافق مع قوانين الفونولوجيا العربية عبر الإعلال والإبدال والحذف .. إلخ(٣١).
- **تطبيقات التوليد الصرفي:** لتلك التطبيقات ثلاث وظائف أساسية، تتمثل الوظيفة الأولى في تكوين جذوع الكلمات بمختلف أشكالها من خلال تركيب جذرها اللغوي المجرد مع أنماط الصيغ الصرفية المتعددة، أما الوظيفة الثانية فتتمثل في تقديم جميع الاحتمالات لتلك الجذوع مع اللواصق المختلفة، وتتمثل الوظيفة الثالثة لهذا النوع من التطبيقات في تتبع الكلمات المولدة في سياقات النصوص اللغوية لتحديد المستعمل منها والأكثر انتشارًا واستبعاد المهمل غير المستعمل.
- **تطبيقات التتبع الصرفي:** تعتمد تلك التطبيقات في عملها على صياغة منطقية للظواهر الصرفية من خلال خوارزميات برمجية تمكن الحاسوب من التعرف على تلك الظواهر واستخلاصها من واقع النصوص اللغوية المختلفة.
- **تطبيقات البحث النمطي:** تُستخدم تلك التطبيقات للاستعلام عن الأنماط الصرفية داخل نص لغوي ما، ويُقصد بالأنماط هنا تلك القوالب الترميزية التي يندرج تحتها مجموعة غير محدودة من الكلمات، وهكذا يكون مفهوم النمط الصرفي مرادفًا لمفهوم الصيغة الصرفية الذي أطلق عليه النحاة مسميات أخرى كالبنية والبناء والوزن والهيئة والمثال والشكل والصورة والقالب، ويتم ترميز كل نمط من تلك الأنماط برموز معينة يمثل كل رمز منها مجموعة من الحروف الهجائية التي تشترك في خصيصة صرفية أو صوتية معينة، فعلى سبيل المثال يمكن إعطاء

حروف العلة(ا – و – ي) الرمز (~) وإعطاء الحروف الصحيحة (أ – ئ – ؤ – ء – ب – ت – ث – ج – ح – خ – د – ذ – ر – ز – س – ش – ص – ض – ط – ظ – ع – غ – ف – ق – ك – ل – م – ن – هـ) الرمز (&)، وبناء على ذلك لو تم البحث عن النمط الصرفي للفعل (& ~ &) سيتم الحصول على كل الأفعال الثلاثية معتلة الوسط كالفعل: (صام) .

- **تطبيقات تشكيل بنية الكلمات:** يعول على تلك التطبيقات بصورة كبيرة في المعالجة الحاسوبية للغة العربية المعاصرة التي تُكتب كلماتها دون تشكيل غالبًا، وتعمل تلك التطبيقات – في معظم الأحيان – على أساس استخلاص النتائج والتنبؤ بها عبر مقارنة المعطيات بما يرد في مدونة نصوص لغوية يتم إنشاؤها وضبطها بالشكل ضبطًا تامًا(٣٢).

ويتم توظيف تطبيقات معالجة المعلومات على صعيد المستوى النحوي؛ لرصد التراكيب اللغوية، وتتبع العلاقات بين عناصرها، وحصر التغييرات التي قد تطرأ على الوظيفة النحوية لكل عنصر من تلك العناصر، وتختلف طبيعة عمل تلك التطبيقات عن بعضها حسب الغرض منها، كالآتي:

- **تطبيقات الإعراب النمطي:** تسعى تلك التطبيقات إلى تحديد الوظيفة النحوية للعناصر اللغوية المكونة للجمل مع الأخذ في الاعتبار إشكالية تعدد الوظائف النحوية للكلمة الواحدة حسب التراكيب اللغوية الواردة فيها، فعلى سبيل المثال ترد كلمة (الولد) في (ضرب الولد زميله) فاعلاً في حين أنها لو تقدمت على الفعل أُعربت مبتدأ، وللوصول إلى أدق النتائج تعتمد تلك التطبيقات في عملها على قاعدتي بيانات(Database)، تختص إحداهما بحصر الأنماط التركيبية المتعددة مع بيان إعراب كل منها، وتختص القاعدة الأخرى بتصنيف الكلمات في حقول(Fields) حسب خصائصها اللغوية التي تشترك فيها مع ترميز كل حقل من تلك الحقول برمز خاص، ومن ثمَّ يقوم التطبيق – بعد إدخال النص المراد إعرابه – بتفكيك النص إلى عناصره(كلماته) المكونة له تمهيدًا للاستعلام عن حقل كل عنصر (كلمة)؛ لتشكيل نمط تركيبي يتألف من سلسلة من الرموز المتتابعة والتي يمثل كل رمز فيها حقل معين، ثم تأتي الخطوة الأخيرة في عمل

تلك التطبيقات والمتمثلة في البحث عن النمط (الذي تم تشكيله) داخل قاعدة الأنماط التركيبية وعرض إعرابه.

- **تطبيقات البحث النمطي التركيبي**: يقتصر الغرض من تلك التطبيقات على أمرين: **أولهما:** يتمثل في حصر تكرار الأنماط التركيبية الواردة في نص لغوي ما، وتحديد عدد مرات ورود كل منها بالإضافة إلى بيان نسبته المئوية بالنظر إلى بقية الأنماط، **وثانيهما:** البحث عن جميع الجمل المناظرة لنمط تركيبي بعينه في نص لغوي ما، فعلى سبيل المثال إن تم البحث عن النمط التركيبي (فعل + فاعل + مفعول) ستكون النتائج المتوقعة عبارة عن جميع الجمل الواردة في النص المحدد والتي تتوافق مع هذا النمط التركيبي مثل (كتب محمد الدرس، أكل الولد التفاحة، ضرب الطالب زميله .. إلخ) .. وتعتمد تلك التطبيقات في عملها على محلل إعرابي كلما كان قويًا كلما كانت نتائج تلك التطبيقات أكثر دقة.
- **تطبيقات التكوين النمطي للجمل والعبارات**: تسمح تلك التطبيقات بتوليد جمل غير محدودة تتوافق مع نمط تركيبي معين، فعلى سبيل المثال، يضم النمط التركيبي: [مبتدأ(علم) + خبر(مشتق)] جملاً لا حصر لها كـ(محمدٌ نشيطٌ – مصطفى كريمٌ – زيدٌ صادقٌ .. إلخ)، وهذا النوع من التطبيقات له دور جوهري في التطبيقات المتعلقة بالتلخيص الآلي وضبط الصياغة.
- **تطبيقات التتبع النحوي**: تسعى تلك التطبيقات إلى رقمنة ظواهر النحو والعربي وتمثيلها منطقيًا عبر خوارزميات برمجية معينة تسمح للحاسوب بتحديد تلك الظواهر وتتبعها في النصوص اللغوية المختلفة، ومن أبرز تلك الظواهر التي يمكن معالجتها حاسوبيًا تمهيدًا لإدراكها آليًا ظاهرة التنازع، وظاهرة الاشتغال، والحذف، والتقديم والتأخير، والإسناد المجازي .. وغير ذلك من الظواهر.
- **تطبيقات التشكيل الإعرابي**: تختص تلك التطبيقات بتناول علامات الإعراب والبناء في آخر الكلمات المكونة لتركيب معين، وذلك من حيث ضبطها بالحركات الأصلية (الكسرة – الضمة – الفتحة – السكون)، وتشترك تلك التطبيقات مع تطبيقات تشكيل البنية في حل إشكالية التعامل الحاسوبي مع اللغة العربية المعاصرة التي تُكتب – غالبًا – دون تشكيل، وعند نطقها يتم تسكين آخر

الكلمات فيها، وتعتمد تلك التطبيقات في عملها على نوعين من المحللات اللغوية، أحدهما صرفي؛ لتفكيك بنية اللفظ المركب إلى عناصره الأولية، والآخر إعرابي؛ لتحديد الوظيفة النحوية لكل عنصر من تلك العناصر.

أما تطبيقات معالجة المعلومات الدلالية، فهي الأبرز دورًا في معالجة المعلومات اللغوية حيث يتم من خلالها حصر الأنماط الدلالية للسياقات اللغوية المختلفة تمهيدًا لتحليل عناصرها والتعرف على العلاقات الدلالية التي تربطها ببعضها، ومن أبرز تلك التطبيقات:

- **تطبيقات البحث النمطي الدلالي:** ترتكز تلك التطبيقات (المقترحة) في عملها على قواعد بيانات معجمية(Lexical Databases) يتم فيها تصنيف الكلمات تبعًا لحقلها الدلالي مع إعطاء ترميز خاص لكل حقل، ليقوم التطبيق بعد ذلك بالاستعلام عن النمط الدلالي المطلوب حصر سياقاته داخل نص معين من خلال تفكيك هذا النص إلى عناصره التركيبية، وتحديد الحقل الدلالي لكل عنصر من هذه العناصر، ومن ثم تكوين الأنماط الدلالية للنص تمهيدًا لاستخلاص السياقات المطابقة للنمط الدلالي المراد البحث عنه، فعلى سبيل المثال إن تم البحث عن النمط الدلالي [فعل(حركة) + فاعل(بشري) + مفعول(جماد)] فمن المفترض أن تكون النتائج سياقات نحو: (حرك الولد الكرسي – نقل الرجل المتاع – دفع محمد الباب).
- **تطبيقات توليد البنية الدلالية:** يُعد هذا النوع من التطبيقات (المقترحة) نموذجًا تطبيقيًا لمحاكاة ما ذهب إليه العالم الأمريكي نعوم تُشُومِسْكِي (Noam Chomsky) من إمكانية توليد بنيات سطحية غير محدودة من بنية عميقة واحدة عبر قواعد تحويلية معينة، وهنا يتم تحديد معطيات التطبيق من خلال نمط دلالي معين يسمح بتشكيل هيكل عام(بنية عميقة) يضم جملاً لغوية(بنيات سطحية) غير محدودة، فعلى سبيل المثال إذا أُريد تكوين جمل أسمية بسيطة مكونة من النمط الدلالي:[مبتدأ (بشري/علم) + خبر(عيوب خلقية)] فستكون النتائج سياقات نحو : (خالد أعرج – زيد أحول – أسامة أقرع)، وجميعها سياقات تدل على عيوب خلقية في أشخاص بعينهم.

- **<u>تطبيقات التنقيب المعجمي</u>:** لتلك التطبيقات وظيفتان أساسيتان، تتمثل الوظيفة الأولى في عمل فهرسة معجمية للألفاظ الواردة في نص معين، مما يُسهم في بيان الوحدات المعجمية الأكثر شيوعًا في هذا النص، وتتبع مواقعها السياقية، وحصر معانيها المختلفة، أما الوظيفة الأخرى لتلك التطبيقات تتمثل في إنشاء المعاجم الإلكترونية المطوَّرة التي تُتيح إمكانيات متقدمة في تصنيف المفردات اللغوية سواء حسب بنيتها أم حسب معانيها بالإضافة إلى عمل الاستعلامات والإحصائيات المختلفة، فعلى سبيل المثال يمكن حصر جميع الوحدات المعجمية التي تبدأ بحروف معينة أو أوزان معينة وتدل على شيء محدد، فعلى سبيل المثال يمكن الاستعلام عن وزن (انْفَعَل) والدال على المطاوعة مثل: (انكسر – انزعج – انفتح – انقطع).

<u>ثالثًا: مسار معالجة المعارف اللغوية:</u>

يُعد مسار معالجة المعارف تطورًا طبيعيًا لمساري معالجة البيانات ومعالجة المعلومات، وبفضل هذا النوع من المعالجات تتمكن الآلة من التعامل بصورة أكثر كفاءة مع المعارف التي توصف بالمزيج الغامض بين المعلومات والخبرات والقدرة على الحكم(٣٣)، يقول الدكتور نبيل علي: " المعارف تسمو فوق المعلومات باشتمالها بجانب المعلومات على الخبرات والقدرة على الاستنتاج واستخلاص الحكمة من قلب ضوضاء تلك المعلومات"(٣٤)، ومن هنا فإن المعالجة الحاسوبية للمعارف اللغوية تتطلب نوعًا من المحاكاة لطبيعة ذكاء البشر في القيام بالمهام العقلية وتنفيذ عملياتها المختلفة.

وللوصول إلى هذا الغرض تعتمد تطبيقات معالجة المعارف اللغوية على طرق الذكاء الاصطناعي في سعيها لامتلاك تقنيات أكثر ذكاء تُحاكي– قدر المستطاع – خصائص السلوك الإنساني في التعلم الذاتي عبر توظيف أساليب التدريب والاستقراء والاستنتاج المنطقي من أجل الوصول إلى المعارف الكامنة وسط ضوضاء المعلومات والبيانات الضخمة(٣٥).

وهكذا تسعى تطبيقات معالجة المعارف اللغوية إلى تحليل اللغة سواء بصورتها المرئية[١] أم بصورتها المسموعة بغرض إدراك مكوناتها وتحديد العلاقات التي تربط تلك المكونات بعضها ببعض؛ مما يمكن الحاسب الآلي من القيام بوظيفتين أساسيتين، تتعلق الوظيفة الأولى بفهم اللغة والتعرف على الكلام المنطوق والمرئي وفهمه والاستجابة له، أما الوظيفة الثانية فتتعلق بتوليد اللغة وإنتاج الكلام مسموعًا ومرئيًا(٣٦).

وبقيام الحواسيب الآلية بهاتين الوظيفتين المتمثلتين في فهم اللغة وإنتاجها تكون تطبيقات معالجة المعارف اللغوية قد أحدثت نقلة نوعية مهمة في حياة البشر لا تقل بأي حال من الأحوال عن تلك النقلة النوعية التي أحدثتها الجاذبية أو الكهرباء حيث تسهم مخرجات هذا النوع من المعالجات اللغوية في الارتقاء بالفكر الحاسوبي بصورة تُحقق الغرض من خلال إحراز عدة نتائج مهمة سواء على صعيد التطوير المأمول تحقيقه في المستقل أم على صعيد ما تحقق بالفعل في الواقع المعاصر.

فعلى صعيد التطوير المستقبلي أوشك المطورون أن يصلوا إلى تحقيق طموحاتهم في الوصول إلى الحاسوب اللغوي الشامل الذي كانت فكرته لعقود طويلة مجرد حلم يُراود الكثير، ويعول على هذا النوع من الحواسيب المستقبلية في دراسة اللغات الطبيعية بمنظور رقمي منطقي يسمح بالوصول إلى المشترك بينها تمهيدًا لوضع نظرية لغوية عامة تمتد أبعادها لتشمل جميع اللغات الطبيعية للبشر.

أما على صعيد الانجازات التي تحققت في الواقع المعاصر بفضل مخرجات معالجة المعارف اللغوية فتأتي على رأسها إدخال التواصل اللغوي كوسيلة جديدة في توجيه الحواسيب الآلية والتعامل معها بجانب الوسائل الميكانيكية[٢] والإلكترونية المعتادة[٣]،

---

[١] تشمل الصورة المرئية للغة جميع الرموز الحاملة للمعنى سواء كانت كتابات إملائية عادية أم كتابات بارزة(كطريقة برايل) أم حركات جسدية (كلغة الإشارة) .. إلخ.

[٢] تشمل الوسائل الميكانيكية التي تُستخدم للتعامل مع الآلات جميع وحدات الإدخال التي تحول الحركة الضاغطة إلى إشارات كهربائية تفهمها الآلة وتنفذ أوامرها ، ومن أبرز تلك الوسائل لوحة المفاتيح في الحاسب (keyboard) وأزرار التحكم المختلفة(Command button) .

[٣] تعتمد الوسائل الإلكترونية المستخدمة في توجيه الآلات على مستشعرات (Sensors) تسمح بالتعامل مع الآلة عبر اللمس أو الضوء أو الحرارة .. إلخ ، ومن أبرز تلك الوسائل شاشات اللمس (Touch screen) التي تتحسس حركات اليد عليها للكتابة وإعطاء الأوامر .

وأصبح التواصل مع تلك الحواسيب وتوجيهها يتم باللغة الطبيعية للإنسان نفسه[١] وليس بلغة الآلة[٢]؛ مما سمح بتعزيز استخدامات الحواسيب الآلية لتلبي احتياجات معظم فئات المجتمع وشرائحه حيث لم يعد استعمال تلك الحواسيب قاصرًا على الأسوياء فحسب بل امتد ليشمل أصحاب الإعاقات السمعية والبصرية؛ مما كان له عظيم الأثر في زيادة المحتوى اللغوي الفصيح المتاح رقميًا، كما أسهمت تطبيقات معالجات المعارف اللغوية في المحافظة على اللغة، وسلامتها من عيوب الفصاحة، ونشر تراثها الثقافي والعلمي على نطاق أوسع؛ مما أدى إلى تنمية المهارات اللغوية لدى أفراد المجتمع وزيادة حصيلتهم اللغوية.

وتتنوع تطبيقات معالجة المعارف اللغوية بين تطبيقات تُعالج اللغة على صعيد مستواها الصوتي، وأخرى تُعالجها على صعيد المستوى الصرفي، وهناك تطبيقات للمستوى النحوي بالإضافة إلى تطبيقات تُعالج اللغة دلاليًا، كما توجد تطبيقات تُعالج جوانب معرفية أخرى في اللغة كالتطبيقات البلاغية والأسلوبية والعروضية.

أما على صعيد المستوى الصوتي فتسعى تطبيقات معالجة المعارف اللغوية إلى تمكين الحاسوب من القيام بمهام معينة منها ما يتعلق بفهم الأصوات اللغوية ومنها ما يتعلق بإنتاجها، وتتمثل المهام المتعلقة بفهم الأصوات اللغوية في الآتي:

- **<u>البحث الصوتي</u>:** تختلف طبيعة عملية البحث هنا عن عمليات البحث المعتادة في النصوص المكتوبة حيث يتم البحث هنا عن لفظ محدد أو مقطع كلامي معين داخل محتوى صوتي مُسجل وتحديد موقعه تمهيدًا لفحصه وإعادة الاستماع إليه، ويوفر هذا النوع من البحث الوقت والمجهود المبذول في رصد الألفاظ وتتبعها داخل محتواها الصوتي المُسجل؛ مما يجعله يُستخدم في مجالات كثيرة كفحص المحادثات الهاتفية والرقابة على ما يُنشر من مقاطع صوتية للتأكد من

[١] يُقصد باللغة الطبيعية(Natural Language) هنا: كل الرموز الحاملة للمعنى ويفهما العقل الإنساني، وتشمل الرموز المرئية كالكتابة الأبجدية والصور والحركات التعبيرية كما تشمل الرموز المنطوقة كالأصوات اللغوية المسموعة .

[٢] يُقصد بلغة الآلة (Machine code) : تلك اللغة البرمجية منخفضة المستوى التي يمكن للحاسوب فهمها والتعامل معها عبر وحدة المعالجة المركزية (CPU)، وعبر المتغيرين (0 ، 1) يتم تمثيل جميع المعطيات من أحرف وعلامات وأرقام وصور وحركات وأصوات .. إلخ .

خلوها من الألفاظ القبيحة والكلام المُسْتَهْجَن المَعِيب، كما يُسهم البحث الصوتي في دراسة اللهجات ورصد ظواهرها الصوتية من خلال واقعها اللغوي المنطوق.

- **التمييز الصوتي:** يُقصد بالتمييز الصوتي هنا التعرف على الأشخاص وتحديد هويتهم من خلال استخلاص السمات المميزة(Feature extraction) لأصواتهم الكلامية من خلال خوارزميات الذكاء الاصطناعي التي تقوم بتحليل الخصائص الصوتية التي تُشكل الملامح المميزة لكل صوت من الأصوات اللغوية عند النطق به كالهمس أو الجهر، والشدة أو الرخاوة، والاستعلاء أو الاستفال، والإطباق أو الانفتاح، وغير ذلك من الصفات، وبهذه الرؤية يتضح الفرق بين التمييز الصوتي والبصمة الصوتية، فالتمييز الصوتي يسعى إلى إدراك السمات المميزة للأصوات الكلامية وتحديد أبعادها المختلفة ومقارنتها ببعضها عند النطق بها من شخص لآخر، أما تطبيقات البصمة الصوتية فتسعى إلى التعرف على شخص بعينه من بين عدة أشخاص عبر تتبع طابعه الصوتي الذي قد يتمثل في لكنة أو عيب نطقي كسرعة وتيرة النطق أو بطئها، ويتم توظيف التمييز الصوتي لدراسة الخصائص الصوتية للأصوات اللغوية وإيجاد أوجه التشابه والاختلاف عند النطق بها من شخص إلى آخر، كما يمكن أن يُوظف التمييز الصوتي قضائيًا في تتبع الأشخاص واكتشاف الانتحال(التقليد) الصوتي في التسجيلات المنسوبة لغير أصحابها الحقيقيين.
- **التقييم الصوتي:** يتم هنا توظيف تقنيات التدريب الآلي (Automated training) – بوصفها أبرز أساليب الذكاء الاصطناعي المستخدمة للارتقاء بمستوى ذكاء التطبيقات الحاسوبية – في تتبع الظواهر الصوتية في واقع الكلام اللغوي المنطوق؛ لحصر المعايير المطردة لكل ظاهرة من تلك الظواهر تمهيدًا لتطبيقها (Automated testing) على المعطيات الكلامية المختلفة، والحكم بصحة تلك المعطيات من عدمه، ويُستخدم التقييم الصوتي في مجالات كثيرة لعل أبرزها: مجال اكتشاف اضطرابات النطق ومعالجتها، كما يمكن توظيف التقييم الصوتي في تعلم القراءة الصحيحة بصورة تفاعلية أكثر كفاءة من خلال تطبيق معايير الفصاحة الصوتية على المنطوق من الكلمات، ويأتي في هذا

الإطار تعلم تلاوة القرآن الكريم وتجويده من خلال إدخال الآيات المطلوب تقييم نطقها إلى التطبيق الحاسوبي عبر وحدة الإدخال الصوتية(الميكرفون)، ليقوم التطبيق بتقييم ما يُنطق في ضوء المعايير المستنبطة سلفًا من قراءات سليمة صوتيًا للظواهر الصوتية المختلفة كالإعلال والإدغام والإمالة .. وغير ذلك.

- **مضمون الكلام الصوتي:** يُقصد بمضمون الكلام هنا التلخيص وإعادة ترتيب الكلام بصورة موجزة أو صياغته من جديد في قالب لغوي يوضح غرضه وفكرته العامة(٣٧)، وفي الحالتين يتطلب الإدراك الآلي لمضمون الكلام تقنيات أكثر ذكاء للتعرف على الكلام واستخلاص أفكاره عبر تحديد الكلمات والتراكيب الاساسية المؤثرة في المعنى واستبعاد غير المؤثر منها، ولازال التعامل الحاسوبي مع مضمون الكلام العربي المنطوق في حاجة للتطوير من خلال تجربة ما يطرأ من إسهامات في اللغات الأخرى على اللغة العربية، ويتم الاعتماد على الإدراك الحاسوبي لمضمون الكلام المنطوق في تتبع اقتباسات الأفكار، وتلخيص المحادثات الهاتفية والمقاطع الصوتية وتصنيفهما دلاليًا حسب الموضوعات المطروحة، كما يُستخدم الإدراك الحاسوبي لمضمون الكلام المنطوق في تطوير تطبيقات استطلاعات الرأي وتحديد ميول المجتمع ورغباته، وذلك من خلال طرق الاستعلام المتقدمة عن الأفكار الأكثر شيوعًا في المجتمع، ومن ثم توظيف تلك النتائج سياسيًا أو أيدولوجيًا أو اقتصاديًا[١] .
- **المَثيل الصوتي:** يُعد المثيل الصوتي أحد أبرز المهام اللغوية وأكثرها أهمية على الإطلاق؛ لذلك حظي بقسطٍ وافرٍ من التناول الحاسوبي الجدير بدوره المهم والحاسم في الارتقاء بمعالجة المعارف اللغوية بصورة عامة والصوتية منها بصورة خاصة، وينبثق مفهوم المثيل الصوتي من مبدأ التعرف الآلي على الكلام المنطوق (Automatic speech recognition) وتحويله إلى صور لغوية أخرى مناظرة له، ولعل أبرز تلك الصور:

[١] هناك أكثر من غرض لتوظيف نتائج الإدراك الآلي للأفكار الأكثر شيوعًا في المجتمع، فقد يتم توظيف ذلك لغرض سياسي من أجل تحديد النهج الدبلوماسي في التعامل بين الدول وبعضها، وقد يتم التوظيف لغرض أيدولوجي من أجل تعزيز اعتقاد معين أو مجابهته، وقد يتم توظيف تلك النتائج لأغراض اقتصادية من أجل تحديد الفئات المجتمعية التي تهتم بالحديث عن فكرة منتج معين تمهيدًا لتسويق هذا المنتج لهم إلكترونيًا .

- ✓ **تحويل الكلام المنطوق إلى كتابات نصية (Speech to text):** وهنا تتم عملية الكتابة بالصوت الطبيعي المنطوق وليس عن طريق وحدات الإدخال التقليدية كلوحة المفاتيح؛ مما يُسهم في توفير الوقت والمجهود، بالإضافة إلى الدور المهم في تعليم مهارة الكتابة لبعض الفئات ممن لا يتقنونها وتمكينهم من التعامل بها واستخدامها في التدوين والتواصل عبر التطبيقات الحاسوبية المتعددة.
- ✓ **تحويل الكلام المنطوق إلى أوامر تَحكُّم(Speech to commands):** ولتلك الصورة أثرٌ كبير في تسهيل التعامل مع الآلات المحوسبة والتحكم بها وتمكين فئات أخرى كأصحاب الإعاقات السمعية وبعض الإعاقات الحركية من استخدامها، بالإضافة إلى العمل على نشر النطق الفصيح للغة من خلال جعلها وسيلة التعامل مع الوسائل التكنولوجية الحديثة والتحكم فيها.
- ✓ **تحويل الكلام المنطوق إلى إشارات تعبيرية(Speech to Expressive Signs):** ويدخل ضمن الإشارات التعبيرية تلك الحركات الإشارية (Sign language) التي يستخدمها أصحاب الإعاقات السمعية كطريقة مرئية لتوصيل المعاني فيما بينهم؛ مما يمكنهم من التواصل مع محيطهم الخارجي.

ويتم الوصول إلى المثيل الصوتي المطلوب بأساليب متعددة لعل أكثرها دقة في النتائج تلك التي تعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي حيث يتم تدريب الآلة على كمية هائلة من المعطيات الصوتية المتنوعة[١] والمصنفة وفقًا لمدلولاتها ونتائجها المعرفية، ومن ثمَّ فحص تلك المعطيات واستخلاص السمات

[١] يُقصد بالتنوع هنا: أن يكون للكلمة أو العبارة الواحدة أكثر من صورة نطقية، تختلف كلٌ منها على حسب نوع المتحدث (ذكر/أنثى)، ولهجته، ومرحلته العمرية (طفل/شاب/عجوز).

المميزة لكل منها تمهيدًا لتوظيفها لاحقًا في التعرف على المعطيات نفسها ولكن لمتحدثين جدد ليسوا ممن تم تدريب الآلة عليهم.

وتتمثل المهام المتعلقة بإنتاج الأصوات اللغوية وتوليدها في الآتي:

- **النطق الصوتي:** يتمكن الحاسوب هنا من نطق الرموز اللغوية المرئية سواء كانت كتابات أبجدية أم إشارات تعبيرية عن طريق إنتاج الذبذبات الصوتية المناظرة لتلك الرموز من بعض الوحدات الصوتية بجودة تقترب من الكلام الطبيعي، وهكذا فإن طريقة عمل أنظمة النطق الصوتي تبدأ بتحويل الرموز اللغوية إلى توصيف لغوي من سلسلة فونيمات، ويعقب ذلك تحويل التوصيف اللغوي إلى إشارات كلامية(٣٨)، ويُسهم النطق الآلي بصورة مؤثرة في تمكين أصحاب الإعاقات البصرية من التعامل مع الآلات التكنولوجية الحديثة حيث يكون الصوت اللغوي هنا وسيلة التواصل مع تلك الآلات، كما يُسهم النطق الآلي في تطوير تطبيقات القارئ الآلي والرد الآلي وأنظمة الانتظار والنداء الآلي بالإضافة إلى دوره الملموس في تعزيز صناعة الروبوتات الناطقة.
- **المحاكاة الصوتية:** تتعلق المحاكاة الصوتية بتكوين أصوات كلامية ذات طابع صوتي يُحاكي – بدرجة ما – طابعًا صوتيًا معينًا، وتتم المحاكاة الصوتية بطريقتين:
  - ✓ **التوليف الصوتي:** وهنا يتم التغيير في الصوت الأصلي من خلال مؤثرات صوتية تضفي عليه طابعًا صوتيًا معينًا، ويختص عمل تلك المؤثرات هنا على ثلاث وظائف أساسية حيث قد تختص تلك المؤثرات بتحسين جودة الصوت عن طريق إضافة المعالجات الجمالية إليه كالصدى والتكرار وإزالة الضوضاء، وقد تختص المؤثرات الصوتية بتغيير الصوت الأصلي من الأساس وتحويله إلى صوت آخر مختلف عنه كتحويل صوت رجل إلى صوت امرأة أو طفل أو عجوز، وقد تعمل المؤثرات الصوتية على تحويل الصوت الأصلي للشخص(المراد تغييره) إلى صوت شخص بعينه (المراد تقليده) عن طريق إدراك الخصائص الصوتية لنطق الشخص المراد تقليد صوته لإعادة توليفها على الصوت الأصلي المراد تغيير صوته.

- ✓ **<u>الاستنساخ الصوتي</u>:** يتم العمل هنا على توليد المقاطع الصوتية وتأليف كلام مسموع ذي طابع صوتي يُحاكي – بقدر كبير – طابع صوتي لشخص بعينه من حيث الصفات والخصائص النطقية المميزة له، وتُستخدم تقنيات عديدة للاستنساخ الصوتي أبرزها تلك القائمة على تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق(Deep Learning)[١] من خلال كم كبير من النصوص الصوتية المتنوعة للأشخاص المراد عمل استنساخ لأصواتهم تمهيدًا لإدراك طابعها الصوتي المميز لها لإعادة إنتاج مثيل لها.

وللمحاكاة الصوتية دور تعليمي مهم في رصد الأصوات اللغوية وتتبع ما يطرأ عليها من تغيير مع الظواهر الصوتية المختلفة، كما يبرز دور المحاكاة الصوتية في الارتقاء بتقنيات التزييف العميق(Deep fake) المستخدمة للتقليد الصوتي في الأعمال السينمائية والتليفزيونية.

أما فيما يتعلق بتطبيقات معالجة المعارف الصرفية فتختص تلك التطبيقات بمعالجة الألفاظ اللغوية المكتوبة حيث تُقدم حلولاً أكثر ذكاء لمشكلات الرموز الكتابية التي لا تمثل النطق الصحيح للغة وكلماتها تمثيلاً دقيقًا غالبًا، ويتجلى ذلك بوضوح في الكتابات اللغوية المعاصرة التي لا يلتزم فيها الكاتب – في كثير من الأحيان – بضبط بنية الكلمة بالحركات، وتُصنف تطبيقات معالجة المعارف الصرفية وفقًا للمهام التي تقوم بها في قسمين أساسيين، يتعلق القسم الأول بفهم الألفاظ المكتوبة، ومن أبرز مهامه:

- **<u>التدقيق الإملائي</u>:** يُعد التدقيق الإملائي من المهام اللغوية التي لا غنى عنها في تطبيقات تحرير النصوص ومعالجتها، ويعول على التدقيق الإملائي في تتبع الأخطاء الإملائية والمطبعية في النص وحصرها وتحليلها تمهيدًا لتصويب هجائها عبر طريقتين، إحداهما: أن يتم تصويب تلك الأخطاء عبر اقتراح أشكال معجمية قريبة من اللفظ الخطأ ليختار المستخدم(User) منها الصورة الصحيحة

[١] تُعد تقنية التعلم العميق إحدى التقنيات المبتكرة لمحاكاة طريقة عمل العقل البشري في قدرته على القيام بالمهام المختلفة كالرؤية وفهم الكلام وتوليده والاستماع إليه .. وغير ذلك من الأمور التي تتطلب بنية عصبية معقدة لاستيعابها، ويسعى العلماء من خلال التعلم العميق إلى بناء شبكة عصبية اصطناعية كبيرة .. انظر مدخل إلى الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة: ١٠٤.

إملائيًا، أما الطريقة الثانية: فتتمثل في استبدال اللفظ الخطأ باللفظ السليم إملائيًا بصورة آلية عبر توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وخوارزمياته المستخدمة في تحليل السياق وتتبع دلالة الكلمات في التراكيب المختلفة، وهكذا يحظى التدقيق الإملائي بقدر كبير من الاهتمام لدوره الملموس في المحافظة على الصحة اللغوية في كتابة النصوص، بالإضافة إلى دوره المهم في تطبيقات تقييم الفصاحة اللغوية المتعلقة بمهارة الكتابة.

- **فك الالتباس الصرفي:** يوصف الالتباس الصرفي بكونه نوعًا من أنواع المعالجة العميقة للوحدات الصرفية، ويختص بترتيب احتمالات معالجة الوحدات الصرفية وفقًا لشيوعها في النصوص اللغوية واختيار الملائم من بينها، وهكذا يُعد فك الالتباس الصرفي منعطفًا مهمًا في المعالجة الحاسوبية لمنظومة الصرف العربي سواء على صعيد تحليل البنية أم على صعيد توليدها، وفي هذا الشأن يذكر بعض الباحثين أن المشكلة الحقيقية في معالجة الصرف حاسوبيًا ليست في بناء النموذج الرياضي المتعلق بتكوين بنية الكلمة أو بتفكيكها والذي من الممكن تنفيذه حاسوبيًا، وإنما تكمن المشكلة الحقيقية فيما تُفرزه تلك النماذج من احتمالات وحلول متعددة، وهنا يأتي دور فك الالتباس (ambiguity) الصرفي في اختيار أكثر الحلول ملاءمة[٣٩]، وتعج للغة العربية بكثير من صور الالتباس الصرفي التي تتطلب حلولاً حاسوبية لإزالتها، ومن أبرز تلك الصور:
  - ✓ **الالتباس الناتج من تعدد مدلول الصيغة الصرفية الواحدة:** فعلى سبيل المثال لا فرق لفظي بين بعض الأفعال والحروف كـ(عَلَى)، وكذلك الوزن(مَفْعَل) يُجمع عليه اسم الزمان واسم المكان والمصدر الميمي كـ(مَقْتَل)، وهناك أوزان أخرى كـ(فعول وفعيل) تصلح لاسم الفاعل واسم المفعول والمصدر والصفة المشبهة وصيغة المبالغة، وأيضًا اسم الفاعل واسم المفعول من أفعال كـ(اختار– انقاد) لا فرق بينهما فيأتي كل منهما بصيغة واحدة (مُخْتار – مُنْقاد) .. وهكذا.
  - ✓ **الالتباس بين الكلمة نفسها ولواصقها:** وهنا يصعب التعرف على بعض الكلمات في ظل وجود سوابق أو لواحق معينة كـ(وَهِيَ) التي تُوقع في لبس

بين كونها فعلاً للمصدر(وَهْيٌ) وبين كونها ضميرًا للغائبة المفردة(هِيَ) المتصل بواو العطف(وَ).

- ✓ **<u>الالتباس الناتج عن عدم تشكيل الكلمات بحركات الضبط:</u>** ويكثر هذا النوع في النصوص المكتوبة بالعربية المعاصرة حيث يقع اللبس في بعض الكلمات غير المشكولة كـ(فقد) فيصعب تحديد نوعها بين كونها اسمًا أو فعلاً أو حرفًا للتحقيق.

أما القسم الثاني من أقسام تطبيقات معالجة المعارف الصرفية فيتعلق بإنتاج الألفاظ المكتوبة، ومن أبرز مهامه:

- **<u>التنبؤ النصي على مستوى الكلمة</u>:** يسمح التنبؤ النصي هنا بتقديم اقتراحات لباقي حروف الكملة عند الشروع في كتابة حروفها الأولى، ومع زيادة المكتوب من حروف للكلمة تصبح الكلمات المقترحة أكثر تحديدًا، وهكذا حتى يتم الوصول إلى الكلمة المطلوبة، وتعتمد تقنية التنبؤ النصي للكلمات على قاعدة بيانات معجمية ضخمة يتم تحديث وحداتها اللفظية وترتيب أولوية الاقتراح وفقًا لأكثرية الاستعمال لكل مستخدم، وبتلك الرؤية يمكن توصيف التنبؤ النصي بتقنية إدخال مستحدثة تتيح استخدامًا أقل لمفاتيح الحاسب وأزراره في عملية كتابة النصوص، فالكلمة التي تتكون من أربعة أحرف أو خمسة لا تتطلب سوى الضغط على زر أو اثنين لكتابتها؛ مما يُسهم في توفير الوقت والمجهود، بالإضافة إلى تقليل نسبة الخطأ الوارد حدوثه مع الكتابة التقليدية.

وعلى صعيد تطبيقات معالجة المعارف النحوية فتسعى إلى إدراك التوصيف النحوي للكلمات داخل تراكيبها اللغوية المختلفة، وللوصول إلى توصيف نحوي سليم تسلك تلك التطبيقات مسارًا تحليليًا يعتمد على القرائن اللفظية والمعنوية ومكونًا من ست مراحل متعاقبة التنفيذ تبدأ بتحديد نوع الكلمة من حيث كونها اسمًا أم فعلاً أم حرفًا، ويعقب ذلك تحديد الوظيفة النحوية لكل من الأسماء (مبتدأ– خبر – فاعل – مفعول .. إلخ) والأفعال (ماض – مضارع – أمر) والحروف (مختص وغير مختص – عامل وغير عامل)، ثم يلي ذلك بيان حالة الكلمة من حيث الإعراب(الرفع – النصب – الجر – السكون) والبناء(الضم – الفتح – الكسر – الإسكان)، ثم تحديد

علامات الإعراب والبناء(الضمة – الفتحة – الكسرة – السكون – أو ما ينوب عن تلك الحركات من علامات فرعية في حالة الكلمات المعربة)، وأخيرًا تأتي المرحلة الأخيرة في مسار التحليل النحوي لتُحدد طبيعة الإعراب (ظاهر – مقدر – محلي) وطبيعة البناء(بسبب سياقه – بسبب لفظه)، ويُسهم هذا التصنيف النحوي الدقيق لكلمات التراكيب اللغوية في تمكين الحاسوب من القيام بمهام تركيبية متعددة سواء على صعيد الفهم أم على صعيد التوليد، ومن أبرز تلك المهام على صعيد الفهم التركيبي :

- **<u>التدقيق النحوي:</u>** يعمل التدقيق النحوي على فحص نهايات الكلمات في التراكيب اللغوية المختلفة والتأكد من سلامة ضبطها بالعلامات الإعرابية المناسبة لوظيفتها النحوية، ويختص التدقيق النحوي هنا بضبط نوعين من العلامات الإعرابية حيث يتم ضبط نهاية الكلمات بعلامات أصلية كـ (الكسرة – الضمة – الفتحة – السكون)، وقد يتم ضبطها بما ينوب عن تلك العلامات الأصلية كالرفع بالواو بدلاً من الضمة في الأسماء الستة وجمع المذكر السالم، والنصب بالألف بدلاً من الفتحة في الأسماء الستة، والجر بالياء بدلاً من الكسرة في الأسماء الستة والمثنى وجمع المذكر السالم، والجزم بحذف حرف العلة في المضارع المعتل .. وهكذا، ولكل من ضبط العلامة الأصلية والفرعية أثره في الارتقاء بمعالجة اللغة حاسوبيًا، فعلى صعيد ضبط العلامة الأصلية يسهم ذلك في تمكين الحاسوب من النطق الصوتي للكلام المكتوب بصورة سليمة خصوصًا مع نطق العربية المعاصرة التي تُنطق – غالبًا – بتسكين نهاية الكلمات، أما على صعيد ضبط العلامة الفرعية فيسهم التدقيق النحوي في الحفاظ على السلامة اللغوية المتعلقة بمهارة الكتابة حيث لا تُقبل الجمل التي بها خطأ نحوي في العلامة الفرعية نحو: (حضر المسلمين)، وتصويبها: (حضر المسلمون)، حيث وقعت كلمة:(مسلمون) فاعلاً، ولكونها جمعًا مذكرًا سالمًا رُفعت بالواو نيابة عن الضمة.
- **<u>الإعراب التتبعي:</u>** يهدف الإعراب التتبعي إلى إدراك وظيفة الكلمة النحوية بصورة يتم فيها التغلب على مشكلات الإعراب النمطي المتمثلة في شيوع مظاهر الالتباس النحوي وما يترتب عليه من تعدد الاحتمالات وكثرة الوجوه، حيث لا

يُكتفى في الإعراب التتبعي بفحص الكلمة وتتبعها في تراكيب سياقية محدودة وإنما يتم التتبع هنا للمعاني النحوية للكلمة داخل المدونات الضخمة للنصوص اللغوية من أجل حصر جميع الوظائف النحوية التي من الممكن أن تؤديها الكلمة الواحدة في السياقات المختلفة اعتمادًا على فحص العلاقات التركيبية المميزة لكل سياق من تلك السياقات، وبتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي يتمكن الحاسوب عن طريق تدريبه (Training) على تلك السياقات من إدراك الفروق الجوهرية والعلامات المميزة لكل وظيفة من تلك الوظائف النحوية، ومن ثمَّ التنبؤ بالوظيفة الأكثر ملاءمة لكل كلمة في سياقات أخرى جديدة مشابهة لتلك السياقات التي تم التدريب عليها.

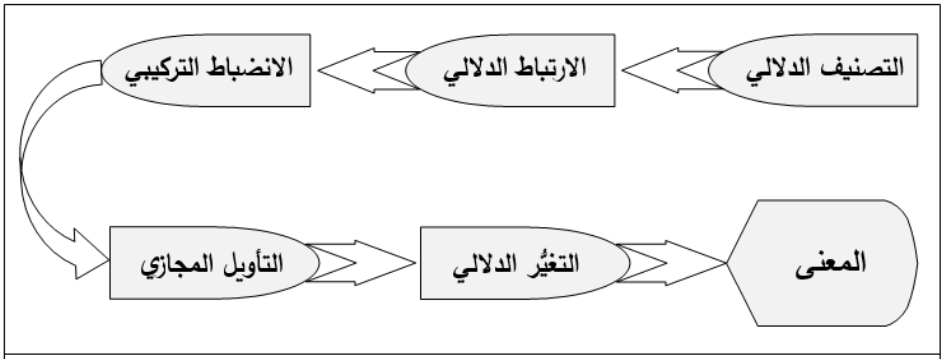
ومن أبرز المهام التي تقوم بها تطبيقات معالجة المعارف على صعيد التوليد التركيبي فيتمثل في:

- **التنبؤ الإعرابي:** يُنظر إلى التنبؤ الإعرابي بوصفه نوعًا من أنواع التنبؤ النصي الذي يختص بتقديم الاقتراحات والحلول اللغوية السليمة لضبط الكلمة بالعلامة الإعرابية عند كتابتها، وبتلك الرؤية فإن تقنية التنبؤ الإعرابي تتشابه مع تقنية التنبؤ الصرفي بيد أنها تختص بتوقع العلامة الإعرابية للكلمة في حين أن التنبؤ الصرفي يتوقع بقية أصول الكلمة، كما تتشابه تقنية التنبؤ الإعرابي مع تقنية التدقيق النحوي من حيث الغرض فكلاهما يختص بتصويب العلامة الإعرابية، ومع ذلك تختلف طبيعة العمل بين التقنيتين؛ مما يُسفر عنه تفاوت في النتائج حيث تُعد نتائج التنبؤ الإعرابي أقل دقة من نتائج التدقيق النحوي؛ لأن التنبؤ الإعرابي يتم بصورة يدوية عقب الانتهاء من كتابة الكلمة التي ربما لم يكتمل سياقها التركيبي بعد، في حين أن التدقيق النحوي يتم بصورة آلية عقب الانتهاء من المعنى وكتابة جميع كلماته في التركيب اللغوي.

أما على صعيد تطبيقات معالجة المعارف الدلالية فتُعد من أبرز مخرجات المعالجة الآلية للغة وأكثرها أهمية على الإطلاق؛ لكونها تختص بتناول المعنى اللغوي ووضع حلول لمشكلاته الدلالية المتنوعة، ومن هذا المنطلق تأتي أهمية تلك التطبيقات في الوصول إلى معالجات حاسوبية سليمة للغة في ظل تعدد قضايا المعنى الدلالي التي

تُوصف بتشابكها وصعوبة تمثيلها حاسوبيًا؛ لتطلبها تضافر مستويات اللغة وأنظمتها وقرائنها المختلفة سواء أكانت صوتية أم صرفية أم تركيبية أم دلالية من أجل توجيه الآلة إلى المعنى الدلالي المقصود للوحدة المعجمية مـن خلال الوصول إلى حقيقة تلك القضايا وإزالة مظاهر الالتباس الدلالي (Word sense Disambiguation)[١] الذي يشيع في معظم جوانبها ويؤدي إلى تعدد الاحتمالات الدلالية للوحدات المعجمية في السياقات المختلفة(٤٠).

وتعتمد معالجة المعارف الدلالية بصورة جوهرية على عمليات النمذجة المنطقية (Logic modeling) بوصفها الركيزة الأساسية التي تعول عليها الآلة في تمثيل المعنى وإدراك حقيقته وفهم طبيعة العلاقة بين الألفاظ ومدلولها في السياقات اللغوية المختلفة، وتستند شكل (١ – ٢) حيث يبدأ هذا المسار بمرحلة التصنيف الدلالي للكلمات تعقبها مرحلة الارتباط الدلالي ثم مرحلة الانضباط التركيبي وتليها مرحلة التأويل المجازي وأخيرًا مرحلة التغيُّر الدلالي، وذلك كما هو مبين بالمخطط الآتي:



شكل (١ – ٢) مسار النمذجة الحاسوبية للمعنى اللغوي

وتختص مرحلة **التصنيف الدلالي** – بوصفها أولى المراحل الإجرائية لنمذجة المعارف الدلالية – بحصر كلمات اللغة في مجموعات تصنيفية، لكل مجموعة منها سمات دلالية مشتركة تجمع كلماتها وتتعلق بمجال من مجالات الخبرة الإنسانية، ويتم هنا توظيف معطيات نظرية المجالات الدلالية (Semantic fields) لتصنيف الكلمات

[١] يُقصد بإزالة الالتباس الدلالي هنا: ترجيح إحدى المعاني المحتملة للوحدة المعجمية ذات المعاني المتعددة من خلال بعض القرائن اللغوية التي ترد في السياق اللغوي لتلك الوحدات .. انظر العربية والذكاء الاصطناعي: ١٢٠.

وترميزها وفقًا لمعانيها وارتباطها بمجال دلالي معين، فعلى سبيل المثال تُصنف الألفاظ : (أحمر – أزرق – أسود – أبيض – أصفر) ضمن حقل عام واحد يجمعها يتمثل في حقل الألوان، وهكذا تُصنف ألفاظ اللغة في حقول وفقًا لمعايير وضوابط دلالية معينة، وقد ينبثق من كل حقل من تلك الحقول العام حقول فرعية أخرى تشترك مع بعضها في دلالة معينة، ويتجلى ذلك من خلال إدراج الحقول المتعلقة بالإنسان والحيوان والنبات والألوان والأوزان ضمن حقل المحسوسات بوصفه الحقل الدلالي العام، أما ما يتعلق بالقيم الجمالية والأخلاقية فتندرج تحت الحقل الدلالي العام المتعلق بالمعاني(٤١).

أما المرحلة الإجرائية الثانية من مراحل النمذجة المنطقية للمعارف الدلالية فتتمثل في مرحلة **الارتباط الدلالي**، وتختص تلك المرحلة بإيضاح دلالة الكلمات وتقديم تفسيرًا دقيقًا لمعانيها في ضوء العلاقات الدلالية التي تربط تلك الكلمات ببعضها داخل الحقل الدلالي الواحد، وهكذا فإن تلك المرحلة تتناول المعنى بمنظور أوسع يعتمد على الموقع الدلالي للكلمة داخل حقلها الدلالي التي تندرج فيه، فالمعنى – كما يرى ليونز (Lyons) – ما هو إلا محصلة علاقات الكلمة بغيرها من الكلمات الأخرى داخل الحقل المعجمي(٤٢)، ونظرًا لأهمية العلاقات الدلالية في تفسير المعنى فقد خصص لها علماء اللغة المحدثون نظرية لغوية أطلقوا عليها نظرية العلاقات الدلالية (Semantic relations theory) وتندرج تحت ما يُسمى بعلم الدلالة التركيبي(Structural semantics) وتهتم بدراسة تعدد الكلمات أو تعدد معانيها[١] داخل الحقل المعجمي الواحد(٤٣)، ومن ظواهرها اللغوية الترادف(Synonymy) والاشتمال(Hyponymy) وعلاقة الجزء بالكل(Part–whole relation) والتضاد(Antonymy) والتنافر (Incompatibility)[٢] .

---

[١] قد تتعدد المعاني للفظ الواحد فيُعرف هذا بالمشترك اللفظي(Homonymy)، وهناك من الباحثين من يُفرق بين المشترك اللفظي وتعدد المعنى فيجعل المشترك اللفظي للمعاني المختلفة عن بعضها حيث تكون من حقول دلالية مختلفة ككلمة الدَّيْن فتأتي بمعنى (الحساب – الملة – الجزاء – القهر- السياسة – الداء)، أما إذا كانت المعاني قريبة من بعضها ومن حقل دلالي واحد فيُسمى بتعدد المعنى(Polysemy) ككلمة (آية) بمعنى (العلامة – الأمارة – الحجة – البرهان – المعجزة).. انظر علم اللغة بين التراث والمعاصرة: ٢٥٦ ، ٢٥٧ ، الترادف والاشتراك اللفظي والتضاد.. دراسة في آراء اللغويين وأسباب النشوء : ٨٦١ .

[٢] يتحقق الترادف بين الألفاظ المتضمنة للمعنى الواحد كما في كلمة (أم) و(والدة)، أما في علاقة الاشتمال فالتضمن يكون من جانب واحد بأن يشتمل هذا الجانب جانبًا آخر أعلى في الرتبة ككلمة (حيوان) تشتمل على (فرس) في حين أن الفرس من أعلى الحيوانات تصنيفًا، وعلى ذلك فمعنى فرس يتضمن معنى حيوان، أما علاقة الجزء بالكل فالتضمن هنا ليس في النوع وإنما في الجزء كاليد التي هي جزء من الجسم وليست

وتختص المرحلة الإجرائية الثالثة **بالانضباط التركيبي**، وهنا يتم الإفادة من معطيات النظريات الدلالية الحديثة في ضبط نمذجة المعارف الدلالية على صعيدي فهم المعنى وإنتاجه انطلاقًا من مبدأ كون اللغة نسقًا من المفردات والقواعد المتوافق على دلالتها بين أفراد الجماعة اللغوية الواحدة، ومن أبرز النظريات اللغوية التي يوظفها الباحثون لتمكين الحاسوب من التعامل مع المعنى وتوليده النظرية التوليدية التحويلية (Transformational generative theory) ومن خلالها يتم توليد جميع البنيات اللغوية السليمة مع تقديم توصيف تركيبي صوتي لكل جملة يسمح ببيان العناصر المكونة لها وتحديد وظائفها، وعن طريق القواعد التحويلية يتم إعادة النظر في تكوين الجمل سواء بإعادة ترتيب عناصرها أو حذف بعضها أو تمييز ما تحتاجه من تحويلات سواء أكانت تحويلات إجبارية كتحويل التطابق أم اختيارية كتحويل الصلة(٤٤).

أما على صعيد فهم المعنى وتفسيره فيتم توظيف نتائج النموذج اللغوي لكاتز وفودور (Katz & Fodor) المقترح عام ١٩٦٣م وكاتز وبوسطل (Katz & Postal) المقترح عام ١٩٦٤م وإدماج المكون الدلالي مع المكون التركيبي والصوتي لتفسير المعنى الدلالي لعناصر الجملة.

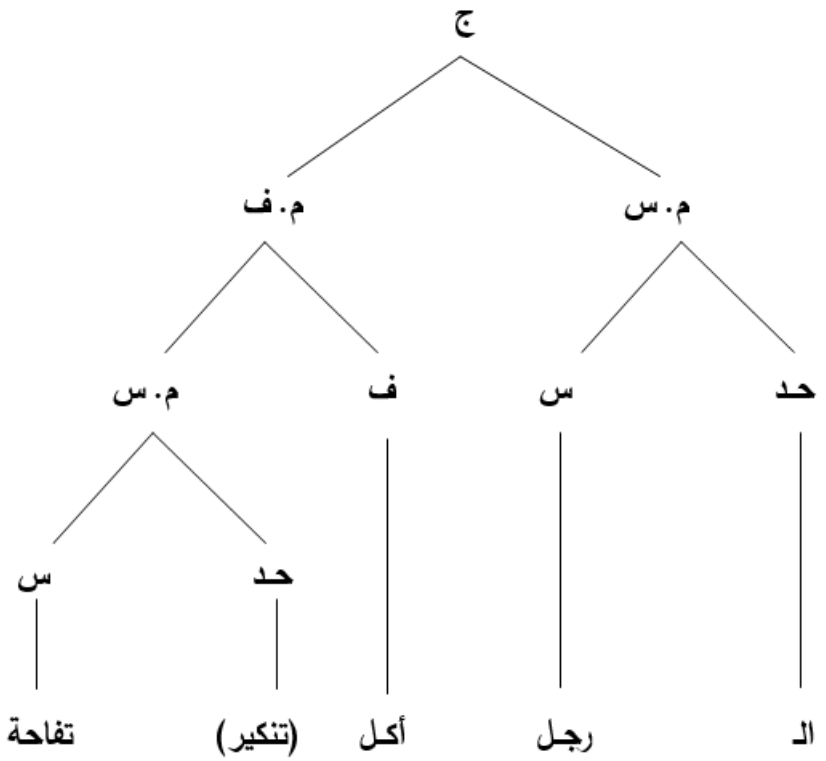
وهكذا فإن تفسير دلالة الكلمات يمر عبر آلية للتأويل مكونة من عنصرين، هما: القاموس وقواعد الإسقاط، فأما القاموس فيتمثل دوره بإعطاء المفردات المكونة للجملة المعاني والتأويلات الدلالية عن طريق تحديد جميع المداخل المعجمية التي تحتوي عليها تلك المفردات تمهيدًا لتطبيق قواعد الاسقاط التي تُسهم في إبراز التأويل الدلالي المرتبط بالجملة ككل عبر قواعد الضم التي تسعى إلى بيان المدلول الشامل للجملة من خلال ضم مدلول كل مفردة في الجملة إلى دلالات المفردات الأخرى الموجودة في الجملة نفسها.

وتخضع عملية الضم لقيود انتقاء يتم بمقتضاها تجنب توليد جمل فاسدة لا معنى لها، وتختص قيود الانتقاء بالمحمولات كالأفعال والمشتقات والحروف، ولكل محمول

نوعًا له بخلاف الفرس الذي هو نوع من الحيوان وليس جزءًا منه، أما التضاد فيُقصد به هنا التقابل بين الألفاظ، وقد يكون التضاد حادًا كما بين الكلمتين (ذكر - أنثى)، وقد يكون متدرجًا كما بين الكلمتين(ساخن - متجمد) حيث يمكن وضع كلمات بينهما مثل (دافئ – معتدل – بارد – قارس)، وهناك نوع من التضاد يُسمى العكس ويكون بين أزواج من الكلمات مثل (باع – اشترى)، أما علاقة التنافر فتتعلق بفكرة النفي أيضًا وتتحقق داخل الحقل الدلالي الواحد حين لا يتضمن أي من الألفاظ الآخر ولا يشتمل عليه كـ(قط – كلب).. انظر علم الدلالة لأحمد مختار عمر: ٩٨ : ١٠٦ .

موضوعات ذات سمات محددة، فعلى سبيل المثال يفرض الفعل(شرب) في فاعله أن يكون حيًا (+حي) وفي مفعوله أن يكون سائلاً(+ سائل) شروبًا (+ شروب)، ولذلك لا تصح تلك الجمل: (شرب القلم ماءً – شرب محمد سمكًا)، وهكذا فإن قيود الانتقاء تضمن سلامة الجمل وعدم شذوذها دلاليًا، وتعتمد قيود الانتقاء في تطبيقها على نوعين من القيود أحدهما تركيبي لضمان أن تتم عملية الضم وفقًا لسلمية العلاقات التركيبية، والآخر دلالي لملاءمة دلالات المفردات المضمومة مع بعضها([٤٥])، ولمزيد من التوضيح يتم تحليل جملة: (أكل الرجل تفاحة) في ضوء ما سبق كالآتي:

أولاً: القيد التركيبي:



ثانيًا: القيد الدلالي:

عناصر الجملة	التصنيف الدلالي
رجل	(اسم، مفرد، مذكر، عاقل، بالغ .. إلخ)
أكل	(فعل، متعد، عن طريق الفم، فا[+حي] ، مفع[+طعام] .. إلخ)
تفاحة	(اسم، نكرة، مفرد، طعام، أحمر..إلخ)

ثالثًا: قيود الانتقاء:

- (م. س) في (ج) ← (حد) + (س) ← (الـ) + (رجل) ← (اسم، مفرد، مذكر، عاقل، بالغ ..)
- (م. س) في (م. ف) ← (تنكير) +(س) ← (تفاحة) ← (اسم، نكرة، مفرد، طعام، أحمر..)
- (م. ف) في (ج) ← (ف) + (م. س) ← (أكل تفاحة) ← (فعل، متعد،عن طريق الفم، فا[+حي]،مفع[+طعام] ..)

✓ تأويل (ج) ← تأويل (م. س) في (ج) + تأويل (م. ف) في (ج)

وتأتي مرحلة **التأويل المجازي** بوصفها المرحلة الرابعة من مراحل النمذجة المنطقية للمعارف الدلالية؛ لتُقدم تصورات ورؤى لمعالجة خرق قواعد الضم وقيود الانتقاء المتعلق بظاهرة المجاز التي تُعد من أهم الوسائل البيانية لإيضاح المعنى، فمن خلال المجاز يخرج المعنى متصفًا بصفة حسية فيُسهم في دقة التعبير وعمق دلالته، ويعتري المجاز كل جملة بها لفظ مستعمل في غير ما وضع له، ويستلزم المجاز استبعاد المعنى الحقيقي الأصلي والتأويل بمعنى مجازي لوجود علاقة كالمشابهة مرتبطة بقرينة لفظية أو حالية دالة على عدم إرادة المعنى الأصلي، نحو: (رعت الماشية الغيث)، (رأيت أسدًا يتكلم)، ففي الجملتين تم اختراق قيود الانتقاء، فالغيث في الجملة الأولى: أي المطر، والمطر لا يُصنف دلاليًا ضمن ما تأكله الماشية، والمراد هنا: (النبات) فكان الغيث سببًا في إيجاد النبات الذي تأكله الماشية والقرينة هنا لفظية يدل عليها الفعل (رعت)، وفي الجملة الثانية استعارة وأصل الكلام: (رأيت رجلاً شجاعًا كالأسد يتكلم) فحُذف المشبه: (رجل) ، والأداة : (الكاف) ، ووجه الشبه (الشجاعة)، ودلت قرينة الفعل (يتكلم) على أن المقصود صفة من صفات الأسد وهي الشجاعة وليس المقصود الأسد نفسه(٤٦).

أما المرحلة الخامسة والأخيرة من مراحل النمذجة المنطقية للمعارف الدلالية فتختص بتتبع ظواهر **التغيُّر الدلالي** للمفردات في السياقات المختلفة ووضع تفسير رقمي لها يسمح

بفهم طبيعتها المتغيرة نتيجة انتقال الوحدات المعجمية إلى مجالات دلالية أخرى غير التي شاعت فيها، والتغير الدلالي أحد مظاهر التغير اللغوي بجانب التغير الصوتي والصرفي والتركيبي بيد أن الدلالة أكثر الجوانب اللغوية عرضة للتغير؛ لأن المفردات دائمًا ما تكتسب دلالات جديدة فلا تستقر على حال نتيجة لعوامل اجتماعية ولغوية متعددة، ومن أبرز صور التغير الدلالي(٤٧):

- تضييق المعنى: يكون بتحويل المعنى الكلي للكلمة إلى المعنى الجزئي ككلمة (حرامي) المنسوبة إلى الحرام وقد خصصت دلالاتها لتعني اللص.
- توسيع المعنى: يكون بتعميم معنى الكلمة وتحويله من المعنى الجزئي إلى المعنى العام، فكلمة الورد تطلق على الزهور في حين أنها في الأصل نوع منه.
- انتقال الدلالة: يكون بانتقال الكلمة من معناها الأصلي إلى معنى آخر تربطه به علاقة ما كالمشابهة أو المجاورة مثل كلمة(الظعينة) وهي المرأة في الهودج ثم انتقلت لمعنى آخر وهو البعير الحامل للهودج.
- انقراض اللفظ نفسه: ويكون في بعض الكلمات التي تفقد قدرتها في التعبير عن المعنى، فيهملها أهل اللغة وبمرور الزمن تنقرض وتنزوي وتحل مكانها ألفاظ جديدة.

وبإنجاز المراحل الإجرائية السالف ذكرها يكون قد اكتمل مسار عملية النمذجة المنطقية للمعارف الدلالية مما يسمح بناء تطبيقات حاسوبية مهمة يعول عليها في القيام بعدة مهام نوعية تتعلق بالمعنى الدلالي سواء على صعيد فهم المعاني أم على صعيد توليد المعاني، فعلى صعيد المهام المتعلقة بفهم المعنى فتتمثل في الآتي:

- **التنقيب الدلالي**: يُعد من المهام الأساسية التي تسعى معالجة المعارف الدلالية من خلالها إلى تحقيق نتائج أكثر فعالية على صعيد الكشف عن شبكة المعاني الدلالية في النص اللغوي، وتحديد وسائل الربط بين المعاني المتعددة المكونة لفكرة النص؛ مما يسمح بتتبع الأفكار والآراء الواردة في النص واستخلاص مضمونها الدلالي، وقد تمكنت الحواسيب الآلية بفضل توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي من الوصول إلى نتائج مرضية (لا بأس بها) في هذا الحقل المعرفي الوليد، ومع ظهور تقنيات التعلم العميق والمعزز (Deep &]

Reinforcement] Learning) الذي واكبه زيادة المحتوى اللغوي المنشور في مواقع الويب ووسائل التواصل الاجتماعي أصبحت الحواسيب قادرة – إلى حد ما – على تحليل الأفكار والآراء وتتبعها في مجتمع معين من أجل الوصول إلى عدة إنجازات تتعلق بجوانب الحياة البشرية المختلفة حيث تمكنت تطبيقات التنقيب الدلالي من تحديد ميول المجتمع واتجاهاته الاجتماعية والسياسية والأيدولوجية والثقافية والاقتصادية[١] .

- **<u>الاقتباسات الأدبية</u>:** تُصنف الاقتباسات الأدبية ضمن المهام المتعلقة بتحليل ملكة الأسلوب اللغوي لدى الأشخاص وصور انحرافها(Stylistic deviation)، ويتم ذلك في ضوء مجموعة من المعايير الموضوعية والضوابط الإحصائية التي تسمح ببناء نماذج منطقية تُمكن الحواسيب الآلية من رصد الخصائص اللغوية لكل أسلوب وفهم طبيعته الدلالية تمهيدًا لتكوين بصمة أسلوبية محوسبة تتألف من السمات الأسلوبية المميزة لكل شخص والتي يوظفها في التعبير عن المعاني والأفكار المختلفة[٢] ، ويعول على تطبيقات الاقتباسات الأدبية في الحكم على نسبة النصوص الأدبية لأصحابها الحقيقيين، وهنا تُوظف تلك التطبيقات كأداة تُستخدم قضائيًا لفض المنازعات المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية في تأليف الأعمال الأدبية كالشعر والقصة والرواية وغيرها من صنوف الأدب وفنون، بالإضافة إلى إمكانية التعويل على تلك التطبيقات في تناول قضايا تتعلق بالانتحال الأدبي ودراسة الأحاديث الشريفة وتصنيفها.

أما على صعيد المهام النوعية التي تقوم بها تطبيقات معالجة المعارف الدلالية والمتعلقة بإنتاج المعنى فتتمثل في الآتي:

- **<u>التنبؤ الدلالي</u>:** يُعد التنبؤ الدلالي نوعًا من أنواع التنبؤ النصي المتعلق بتَوَقُّع الكلمات والعبارات المحتمل ورودها مع لفظ بعينه، وتعتمد تطبيقات التنبؤ الدلالي

[١] يتم توظيف التنقيب الدلالي اقتصاديًا من خلال التسويق الالكتروني للمنتجات، وهنا يتم حصر الرغبات الشرائية للفئات المجتمعية المختلفة؛ لاقتراح المناسب من السلع عليها.

[٢] هناك تفاوت بين شخص وآخر في الأسلوب الذي يتخذه وسيلة للتعبير عن أفكاره، ومن مظاهر ذلك: اختياره ألفاظ وتراكيب معينة في النص، واستعماله الأكثر شيوعًا لبعض المعاني والألفاظ ، وطبيعة استشهاداته واسقاطاته الأدبية بالإضافة إلى استجلابه للألفاظ الغريبة والأعجمية داخل النص، وغير ذلك من السمات الأسلوبية سواء المتعلقة بالشكل أو تلك التي تتعلق بالمضمون .

في عملها على تحليل الألفاظ وتصنيفها وفقًا لدلالتها السياقية وتماسكها النصي في ضوء مظاهر التصاحب اللفظي بين الكلمات في السياقات اللغوية[١] وكذلك التعبيرات الاصطلاحية المسكوكة[٢] ، وللتنبؤ الدلالي دور مهم في تطبيقات عديدة كتطبيقات معالجة النصوص وتحريرها وتطبيقات التذكير الآلي[٣] حيث يوفر الوقت والمجهود المبذول في ضبط الكتابة وانتقاء الألفاظ المناسبة لسياق معين.

- **التكوين النمطي الدلالي:** يوظف التكوين النمطي الدلالي معطيات النظريات اللغوية الحديثة كالنظرية التوليدية التحويلية والحقول الدلالية وقيود الانتقاء والعلاقات الدلالية ونظرية السياق من أجل الوصول إلى النمط الدلالي الأمثل للفكرة المراد صياغتها، ومن ثمَّ إنتاج جمل وعبارات سليمة من الناحية الدلالية والتركيبية، وهكذا يمكن للتكوين النمطي الدلالي الإسهام بصورة جوهرية في تطوير تقنيات التأليف وصياغة المحتوى التي يمكن الإفادة منها في تطبيقات تحرير النصوص وتطبيقات التحدث الآلي ومعالجة الحوار الصوتي، كما تُسهم تقنية التكوين النمطي الدلالي في تنمية مهارتي الكتابة والتحدث لدى مستخدمي تلك التقنية عن طريق إبراز دور المعنى في الوصول إلى أفضل صياغة لأفكارهم وآرائهم.
- **التلخيص الآلي:** يسعى مطورو تطبيقات المعارف الدلالية من خلال تقنية التلخيص الآلي إلى اختزال النص المكتوب أو المنطوق إلى أبسط صورة لغوية تُحقق المضمون وتنقل الفكرة، وتتم عملية التلخيص الآلي للنصوص اللغوية بإحدى طريقتين، فإما أن تتم بصورة استخراجية عن طريق حذف عناصر تركيبية

---

[١] هناك من الباحثين من قسم التصاحب اللفظي قسمين، فهناك التصاحب الحر: ويتحقق حين تقع الكلمة في صحبة كلمات غير محدودة ككلمة: (أصفر) مع أنها ملازمة لكلمات مثل: (رمل، ليمون، وجه) غير أنها يمكن أن توصف بها كلمات أخرى غير محدودة، وهناك التصاحب المنتظم: ويلاحظ كثيرًا في السياقات اللغوية عندما تلازم الألفاظ بعضها بصورة يصعب معها فصل تلك الألفاظ عن بعضها كـ(رمضان كريم) فلا يُقال: (عيد كريم) كما لا يُقال: (رمضان سعيد) .. انظر صناعة المعجم الحديث: ١٣٤.

[٢] يُقصد بالتعبيرات الاصطلاحية المسكوكة تلك التراكيب اللغوية التي يصعب استنتاج معناها من مفرداتها؛ نظرًا لاكتسابها معاني أخرى زائدة على معنى مفرداتها نحو تعبير : (السوق السوداء) الذي يطلق على التعاملات التجارية غير القانونية .. انظر صناعة المعجم الحديث: ١٣٥.

[٣] التذكير الآلي: نوع من التطبيقات الحاسوبية (المقترحة) تعمل على تتبع الكلام الصادر من المتحدث أثناء النطق به وتذكيره بنطق بعض الكلمات والعبارات في حالة نسيانها أو التلعثم في نطقها.

زائدة من السياق اللغوي، وهنا يتم انتقاء العناصر من جمل وعبارات وفقًا لأهميتها وتأثيرها في المعنى، وإما أن تتم عملية التلخيص بصورة توضيحية عن طريق إعادة بناء النص وصياغته من جديد بنسق لغوي بسيط يتضمن فكرة النص الأصلي ومضمونه(٤٨)، وتُعد تقنية التلخيص الآلي من التقنيات الأبرز في معالجة المعارف الدلالية لما تمثله من أهمية في توجيه تلك المعالجة بالحكم على صحتها من عدمه حيث تتطلب فهمًا جيدًا للنص قبل التعامل معه وتلخيصه؛ ويتم توظيف تلك تقنية التلخيص الآلي في تطبيقات الفهرسة الدلالية للكتب والمقالات والمقاطع الصوتية حيث يعتمد عليها مستخدمو تلك التطبيقات في الحصول على ملخصات موجزة توفر الوقت والمجهود المبذول في قراءة النص الأصلي أو الاستماع إليه.

- **<u>الترجمة الآلية</u>**: يدور مفهوم الترجمة الآلية حول نقل معاني الألفاظ من لغة إلى أخرى بصورة تلقائية عبر تطبيقات حاسوبية ذات تقنيات برمجية متقدمة تمكنها من التغلب على مشكلة الترجمة الأساسية المتمثلة في تعذر إيجاد لفظ ما في لغة ما مطابق للفظ آخر في لغة أخرى[١] ؛ لذلك تنطلق الترجمة الآلية من منظور أرسطي جوهره أن المعاني تتقابل من لغة إلى أخرى، فلكل لفظ ما يرادفه من المعاني في اللغات الأخرى مع الأخذ في الاعتبار الاختلاف الطبيعي بين اللغات وبعضها(٤٩)، وتعتمد تطبيقات الترجمة الآلية على طرق متعددة للوصول إلى المعنى الدلالي المقصود للوحدات المعجمية في السياق أبرزها أربع طرق أساسية حيث يوجد معالجات قائمة على القواعد اللغوية، وهناك معالجات قائمة على مدونات الأمثلة المترجمة، وهناك معالجات قائمة على النماذج الإحصائية، كما يوجد معالجات للترجمة الآلية قائمة على تقنيات التعلم العميق(٥٠)، وتتعدد مجالات توظيف تطبيقات الترجمة الآلية، فمنها ما يتعلق بترجمة النصوص والصور، ومنها ما يتعلق بترجمة مقاطع الصوت والفيديو، وتضطلع الترجمة

[١] لا يمكن حدوث التطابق بين لفظين من لغتين مختلفتين؛ لاختلاف اللغات في تصنيفها، وكذلك تختلف اللغات في الثقافات والعادات الاجتماعية، وأيضًا تختلف في استخداماتها اللغوية للظواهر المجازية والتخيلية والتصورية.. انظر علم الدلالة لأحمد مختار عمر: ٢٥١.

الآلية بدور محوري في إزالة عائق اللغة عند التواصل مع أفراد آخرين من جماعات لغوية مختلفة مما يُسهم في نقل الخبرات والمهارات والثقافات والعلوم بين الأفراد والجماعات.

- **التدقيق السياقي**: يختص التدقيق السياقي بتتبع الأخطاء الدلالية الشائعة في الاستعمال اللغوي وتصويبها بصورة مباشرة عبر استبدال الخطأ تلقائيًا دون تدخل بشري، وقد يكون التصويب غير مباشر وهنا يتم تقديم اقتراحات بديلة للألفاظ التي يعتريها الخطأ الدلالي ليختار المستخدم منها الأفصح، وتُسهم تقنية التدقيق السياقي في تنمية المهارات اللغوية خصوصًا ما يتعلق بمهارة الكتابة من خلال التدريب على عمليات التدقيق اللغوي والاطلاع على نتائجها، وتُعد تطبيقات تحرير النصوص وتصويب الكلام من أبرز التطبيقات الحاسوبية التي تعول على تقنية التدقيق السياقي في الحفاظ على السلامة اللغوية.

❖ نتائج البحث وتوصياته :

تمكن البحث من توظيف أدواته التحليلية من أجل الوصول إلى رؤية جديدة للفكر الحاسوبي المعاصر تقوم على تحديد معالم هذا الفكر وعناصر منظومته التقنية المكونة من أربعة عناصر أساسية هي: (المحفز – الفكرة – الآلية – النتاج)، وقد تبين من خلال دراسة تلك العناصر الصلة الوثيقة بينها وارتباطها بعلاقة تتكامل فيها الأدوار وتتضافر من أجل ابتكار تقنيات منطقية تقبلها الأنظمة الآلية وتتعامل معها بصورة تمكنها من القيام بمهام نوعية تُحاكي العقل البشري – قدر المستطاع – في معالجاته للظواهر المعرفية.

وبتتبع مراحل تطور الفكر الحاسوبي وحصر إنجازاته التطبيقية تبين أن أبرز ميادين هذا الفكر وأكثرها أهمية ما يتعلق بالمعالجات الآلية للغات الطبيعية وسُبل الارتقاء بها، وقد تناول البحث ما يتعلق بمعالجة اللغة العربية – بوصفها إحدى تلك اللغات الطبيعية – من خلال تتبع مخرجات تلك المعالجة وإلقاء الضوء على مراحل تطورها وسُبل توظيفها معرفيًا عبر منظومة الفكر الحاسوبي المعاصر، وتأتي تلك المحاولة البحثية في إطار الإسهام في تأسيس نظرية معرفية لمعالجة اللغة العربية آليًا تُحدد الطريق وتحقق الأهداف وتجمع الرؤى في مسار واحد آخذة في الاعتبار الطبيعة الخاصة للغة العربية التي تتطلب

ضرورة تكامل مستوياتها اللغوية حيث لا تستقيم معالجة أي من تلك المستويات بمعزل عن الآخر، فاللغة عند تناولها الحاسوبي كلٌ لا يتجزأ .

وبنظرة تحليلية فاحصة للمسارات المعرفية الثلاثة المتعلقة بالمعالجة الحاسوبية لتلك المستويات اللغوية تبين أن هناك مجالات كثيرة تُعول على مخرجات معالجة اللغة العربية من خلال توظيف تطبيقات تلك المعالجة للقيام بمهام نوعية متعددة، وقد قدم البحث حصرًا لتلك التطبيقات ومجالات التوظيف المعرفي لكل منها، كما اقترح البحث مهام وظيفية جديدة يمكن أن تقوم بها الحواسيب الآلية في ضوء الإسهامات التكنولوجية الهائلة لتقنيات الذكاء الاصطناعي، منها:

- ✓ على صعيد المستوى الصوتي: البحث الصوتي عن الألفاظ في المقاطع الصوتية المسجلة، والمضمون الصوتي وتلخيص المحادثات، والتذكير الصوتي الآلي.
- ✓ على صعيد المستوى الصرفي: أسلوب البحث النمطي في النصوص اللغوية.
- ✓ على صعيد المستوى النحوي: التنبؤ الإعرابي، والتكوين النمطي للجمل.
- ✓ على صعيد المستوى الدلالي: التوليد النمط الدلالي، والبحث النمط الدلالي .

ولتنضبط رؤية المعالجات الآلية للغة العربية صوب وجهتها الصحيحة يوصي البحث بضرورة تأسيس قاعدة عمل بحثية منظمة وفق منهج علمي منضبط الرؤية مُحدد الأهداف يقوم على الإفادة من الفكر الحاسوبي وإعادة قراءته في ضوء المعطيات الحديثة من أجل الخروج بالمعالجات الآلية للغة العربية من إطار الفردية إلى آفاق العمل الجماعي ومن إطار السطحية إلى رحاب أوسع وأعمق في التناول، وهذا من شأنه أن يُسهم في الوصول إلى نظرية علمية شاملة يُعول عليها في وضع معايير تلك المعالجة الآلية للغة وضوابطها المعرفية على أساس مبدأ تطويع الآلة للغة وليس العكس.

كما يوصي البحث بأهمية إدراج المعالجات الآلية للغة العربية على رأس الأولويات العلمية للبلاد العربية عبر التوسع في إنشاء المراكز البحثية والأقسام العلمية المختصة بدراسة تقنيات تلك المعالجة بوصفها وسيلة العصر للارتقاء باللغة القومية لتلك البلاد، وفي إطار ذلك يقترح البحث مبادرة علمية لزيادة الوعي بأهمية هذا المجال المعرفي وترسيخ دعائمه العلمية من أجل استثماره اقتصاديًا من خلال ابتكار التقنيات التكنولوجية

المختلفة وتسويقها؛ مما يُسهم في تغيير الانطباعات عن هذا المجال المعرفي ليصبح مجالاً استثماريًا واعدًا يُحفز الشركات والمؤسسات للعمل على تطويره والارتقاء به.

وفي النهاية لا يسعني سوى أن أحمد ربي وأشكره على ما انتهيت إليه في هذا البحث، فإن وفقتُ فمن الله عز وجل وإن أخفقتُ فمن نفسي، وصل اللهم وسلم على سيدنا محمد ﷺ النبي الأمي المبعوث رحمة للعالمين وعلى آهله وصحبة أجمعين.

❖ **مراجـع البحـــث :**

أولاً : المراجع العربية :

- بسيوني، م. عبد الحميد، **مقدمة الذكاء الاصطناعي للكمبيوتر**، القاهرة، دار النشر للجامعات المصرية، ١٩٩٤م.
- جحفة، عبد الحميد، **مدخل إلى الدلالة الحديثة**، الدار البيضاء، دار توبقال للنشر، ٢٠٠٠م.
- الجرجاني، علي بن محمد بن علي الزين الشريف، **كتاب التعريفات**، تحقيق: مجموعة من العلماء بإشراف الناشر، بيروت، دار الكتب العلمية، ١٩٨٣م.
- جون، ماكيش، **العدد من الحضارات القديمة حتى عصر الكمبيوتر**، ترجمة: د. خضر الأحمد وآخرون، مجلة عالم المعرفة، العدد٢٥١، نوفمبر ١٩٩٩م.
- جيتس، بيل، **المعلوماتية بعد الإنترنت**، ترجمة: عبد السلام رضوان، الكويت، عالم المعرفة، العدد ٢٣١، ١٩٩٨م.
- جيل، برتران، **موسوعة تاريخ التكنولوجيا**، ترجمة: هيثم اللمُع، بيروت، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، ١٩٩٦م.
- الحازمي، أبو عبد الله، أحمد بن عمر بن مساعد، **شرح القويسني على السلم المنورق للأخضري**، http://alhazme.net، د.ت .
- الحلبي، علاء، **العالم قبل الطوفان**، http://sykogene.com ، د.ت.
- الحمداني، د.رفاه شهاب، **مهارات الحاسوب**، عمَّان، دار المناهج للنشر والتوزيع، ٢٠٠٢م.
- رشوان، د.محسن وآخرون :
  - **تطبيقات أساسية في المعالجة الآلية للغة العربية**، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز لخدمة اللغة العربية، الرياض، ٢٠١٩م.
  - **مقدمة في حوسبة اللغة العربية**، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز لخدمة اللغة العربيةالرياض، ٢٠١٩م.
  - **المعالجة الآلية للنصوص العربية**، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز لخدمة اللغة العربيةالرياض، ٢٠١٩م.

- **الموارد اللغوية الحاسوبية**، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز لخدمة اللغة العربية، الرياض، ٢٠١٩م.

- السعيد، د. المعتز بالله وآخرون، **العربية والذكاء الاصطناعي**، مركز الملك عبد الله بن عبد العزيز لخدمة اللغة العربية، الرياض، ٢٠١٩م.
- ابن سيده، أبو الحسن علي بن إسماعيل، **المحكم والمحيط الأعظم**، تحقيق: عبد الحميد هنداوي، بيروت، دار الكتب العلمية،٢٠٠٠م.
- الشنقيطي،محمد الأمين بن محمد المختار الجكني ، **آداب البحث والمناظرة**، تحقيق: سعود بن عبد العزيز العريفي،ط٥، الرياض، دار عطاءات العلم، ٢٠١٩م.
- الشيول، ياسين أحمد، **الإلكترونيات المعاصرة**، عمَّان، مكتبة المجتمع العربي للنشر، ٢٠٠٥م.
- عبد المتعال، م. أحمد:

- **الإلكترونيات الرقمية وتطبيقاتها العملية**، القاهرة، دار النشر للجامعات، ٢٠٠١م.
- **إلكترونيات القدرة وتطبيقاتها العملية**، القاهرة، دار النشر للجامعات، ١٩٩٨م.

- عزاقة، د.محمد عبد السلام، **مقدمة في تنظيم ومعمارية الحاسب الآلي**، ط٢، طرابلس، مكتبة طرابلس العلمية العالمية، ٢٠١٨م.
- علي، د.نبيل:

- **الثقافة العربية وعصر المعلومات عالم المعرفة** ،العدد ٢٦٥، الكويت ،٢٠٠١م.
- **المعلوماتية**، موسوعة حصاد القرن (المنجزات العلمية والإنسانية)، مجلد٣ (العلوم الأساسية والتكنولوجيا)، مؤسسة عبد الحميد شومان، عمَّان، ٢٠١١م.

- عمر، أحمد مختار.

- **صناعة المعجم الحديث**، ط٢، القاهرة، عالم الكتب، ٢٠٠٩م.

- **علم الدلالة**، ط٥، القاهرة، عالم الكتب، ١٩٩٨م.
- **معجم اللغة العربية المعاصرة**، القاهرة، عالم الكتب، ١٤٢٩هـ – ٢٠٠٨م.

- غنيمي، د.محمد أديب رياض، **مستقبل الحاسبات**، القاهرة، المكتبة الأكاديمية، ٢٠٠١م.
- فايجينباوم،إدوارد إيه وآخرون، **الجيل الخامس للحاسوب**، ترجمة: مدحت محفوظ، القاهرة، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٩٦م.
- فهمي ، د.محمد، **الحاسب والذكاء الاصطناعي** ، القاهرة، مطابع المكتب المصري الحديث ، ١٩٩٤م.
- كاري، داود/ بلايث،جيمس، **الحاسبة الإلكترونية**، ترجمة: وجيه السمان وآخرون، مكتبة لبنان، ١٩٨٢م.
- لحلح، محمد، **مدخل إلى الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة**، القاهرة، أكاديمية حسوب، ٢٠٢٠م.
- مجمع اللغة العربية بالقاهرة، **المعجم الوسيط**، ط٤، القاهرة، مكتبة الشروق الدولية، ٢٠٠٤م.
- محمود، د. محمد رأفت، **تقنيات المعالجة الآلية للغة وتطورها**، مجلة كلية الآداب بقنا –جامعة جنوب الوادي، العدد ٥٤، ج١، يناير ٢٠٢٢م.
- مدكور، د. عاطف، **علم اللغة بين التراث والمعاصرة**، القاهرة، دار الثقافة للنشر والتوزيع، ١٩٩٨م.
- المقوشي، عمر علي، **الترادف والاشتراك اللفظي والتضاد .. دراسة في آراء اللغويين وأسباب النشوء**، حولية كلية الدراسات الإسلامية والعربية للبنات بالإسكندرية، العدد: ٣٣ ، مجلد ٣ .د.ت.
- ابن منظور، محمد بن مكرم الأفريقي المصري، **لسان العرب**، بيروت دار صادر، د.ت .
- المومني، محمد علي العكاشة، **دوافع السلوك الإنساني بين الإسلام ومدارس علم النفس** ، عمَّان, دار الكتاب الثقافي ، ٢٠١٣م.

- ناصيف، م. أحمد، **علم إلكترونيات الحاسب**، دمشق، دار الكتاب العربي، ١٩٩٠م.
- الهاشمي، السيد أحمد، **جواهر البلاغة في المعاني والبيان والبديع**، بيروت، المكتبة العصرية، د.ت.

ثانيًا: المراجع الأجنبية :

- Clements, Alan, **Principles of Computer Hardware** (Fourth ed.), Oxford University Press, 2006.
- George M. Calhoun , **Third Generation Wireless Systems**, London, Artech House ,2003.
- Guillemin, Amédée, **The Applications of Physical Forces**, Translation : Winifred James Lockyer, London : Macmillan and Company, 1877.
- Homer, Steven and Alan L, **Computability and Complexity Theory**, new york , Springer Science ,2001.
- Turner , Gerard L'Estrange , **Nineteenth-Century Scientific Instruments** ,USA, University of California Press, 1985.

❖ هوامــش البحــث:

(١) انظر موسوعة تاريخ التكنولوجيا : ٧٧٨ .
(٢) انظر لسان العرب: مادة (فكر): ٥/ ٦٥، المعجم الوسيط: مادة (فكر): ٢/ ٦٩٨، معجم اللغة العربية المعاصرة: مادة (فكر): ٣/ ١٧٣٤.
(٣) انظر معجم اللغة العربية المعاصرة: مادة (حفز): ١/ ٥٢٢ .
(٤) انظر دوافع السلوك الإنساني بين الإسلام ومدارس علم النفس : ١٨.
(٥) انظر المحكم والمحيط الأعظم لابن سيده: (فكر): ٧/٧ ، لسان العرب: مادة (فكر): ٥/ ٦٥.
(٦) انظر التعريفات: ١٦٨ ، آداب البحث والمناظرة: ١٥/١ ، شرح القويسني على السلم المنورق للأخضري: ١/ ٧ .
(٧) انظر العالم قبل الطوفان : ٢/ ١٨ .
(٨) العدد من الحضارات القديمة حتى عصر الكمبيوتر: ١٨٠ .
(٩) انظر المرجع نفسه : ١٦٢ .
(١٠) انظر موسوعة تاريخ التكنولوجيا: ٧٧٨ ، ٧٨٠ .
(١١) انظر الحاسبة الإلكترونية: ٦ ، المعلوماتية بعد الإنترنت: ٣٨ ، موسوعة تاريخ التكنولوجيا: ٧٨٠ .
(١٢) انظر المعلوماتية بعد الإنترنت: ٣٩ .
(١٣) See Third Generation Wireless Systems: Post-Shannon signal : 30 architectures
(١٤) See Computability and Complexity Theory:35
(١٥) انظر موسوعة تاريخ التكنولوجيا: ٧٨٠ .
(١٦) انظر مقدمة في معمارية الحاسب الآلي: ٣٥ ، ٣٦ .
(١٧) انظر موسوعة تاريخ التكنولوجيا: ٧٨٠ ، مقدمة في معمارية الحاسب الآلي: ٣٦ : ٣٩ .
(١٨) انظر موسوعة تاريخ التكنولوجيا: ٧٨١ ، ٧٨٢ .
(١٩) الجيل الخامس للحاسوب: ١٧ .
(٢٠) انظر معجم اللغة العربية المعاصرة: مادة (أ و ل): ١/ ١٤٠ .
(٢١) انظر مهارات الحاسوب: ١٨ .
(٢٢) انظر مقدمة في معمارية الحاسب الآلي: ٢٩، مهارات الحاسوب: ١٨.
(٢٣) انظر مقدمة في تنظيم ومعمارية الحاسب الآلي: ٢٠ ، ٧٣ .
(٢٤) انظر مستقبل الحاسبات: ٣٠ .
(٢٥) انظر تقنيات المعالجة الآلية للغة وتطورها: ٥٤٣ .
(٢٦) انظر المرجع نفسه : ٥٤٥، ٥٤٧ .
(٢٧) انظر المرجع نفسه : ٥٦٦ .
(٢٨) انظر معجم اللغة العربية المعاصرة: مادة (نتج): ٣/ ٢١٦٤ .
(٢٩) انظر حصاد القرن : ٣/ ٣٣٨ .
(٣٠) انظر الثقافة العربية وعصر المعلومات: ٧١ .
(٣١) انظر مقدمة في حوسبة اللغة العربية: ١٠١ ، ١٠٢ .
(٣٢) انظر العربية والذكاء الاصطناعي: ١١٦ .
(٣٣) انظر حصاد القرن : ٣/ ٣٣٩ .
(٣٤) الثقافة العربية وعصر المعلومات: ٧١ .
(٣٥) انظر مقدمة الذكاء الاصطناعي للكمبيوتر: ١٩، الحاسب والذكاء الاصطناعي:٢٨: ٤٤ ، حصاد القرن: ٣/ ٣٣٩.

(٣٦) انظر الحاسب والذكاء الاصطناعي : ٤٣ ، مقدمة الذكاء الاصطناعي للكمبيوتر: ٤٥ .
(٣٧) انظر العربية والذكاء الاصطناعي: ١٩٨، ١٩٩ .
(٣٨) انظر تطبيقات أساسية في المعالجة الآلية للغة العربية: ٧٧ ، ٧٨ .
(٣٩) انظر العربية والذكاء الاصطناعي: ٧٥ ، ١٠٧ .
(٤٠) انظر مقدمة في حوسبة اللغة العربية: ٢٠ ، العربية والذكاء الاصطناعي: ١٢٠ ، ١٢١ .
(٤١) انظر علم اللغة بين التراث والمعاصرة: ٢٣٥ .
(٤٢) انظر علم الدلالة لأحمد مختار عمر : ٩٨ .
(٤٣) انظر علم اللغة بين التراث والمعاصرة: ٢٤٥ .
(٤٤) انظر مدخل إلى الدلالة الحديثة: ٦٠ .
(٤٥) انظر المرجع نفسه: ٦٠ : ٦٥ .
(٤٦) انظر جواهر البلاغة في المعاني والبيان والبديع : ٢٥١ ، ٢٥٢ ، ٢٥٨ .
(٤٧) انظر علم اللغة بين التراث والمعاصرة: ٢٧١، ٢٨٣ : ٢٩٣ .
(٤٨) انظر العربية والذكاء الاصطناعي: ١٩٨ .
(٤٩) انظر علم الدلالة لأحمد مختار عمر: ٢٥١ .
(٥٠) انظر المعالجة الآلية للنصوص العربية: ٦٠ .

* * * * * * * * * * * * * * * *