

حوسبة الخط العربي بين الأصالة والتقنية: حرف الهاء في خط النسخ أمودجاً "The Digitization of Arabic Calligraphy Between Authenticity and Technology: The Letter Hā' in Naskh Script as a Model"

مختار لصقع^{1*}، د. أمال بناصر²

¹ مخبر اللغة، الخطاب وتعدد اللغات، كلية الآداب واللغات الأجنبية، جامعة أدرار (الجزائر)،

mokh.lasgaa@univ-adrar.edu.dz

² مخبر المعالجة الآلية للغة العربية، جامعة أبي بكر بلقايد تلمسان (الجزائر)، -[amal.bennacer@univ-](mailto:amal.bennacer@univ-tlemcen.dz)

tlemcen.dz

تاريخ الاستلام: 2025/03/03 تاريخ القبول: 2025/05/19 تاريخ النشر: 2025/06/05

ملخص:

تسعى هذه الدراسة إلى استكشاف إشكالية حوسبة الخط العربي، وذلك من خلال تحليل حرف الهاء في خط النسخ بوصفه نموذجاً يمثل تحديات المعالجة الرقمية للحروف العربية. تتناول الدراسة العلاقة بين الأصالة الخطية والتقنيات الحديثة في نمذجة الحروف العربية، مع التركيز على الخصائص البصرية والهندسية للحرف في السياقات الرقمية. وتعتمد الدراسة على المنهج الوصفي-التطبيقي، حيث يتم تحليل أشكال حرف الهاء في خط النسخ باستخدام أدوات حاسوبية متخصصة، مع مقارنة النتائج بالمعايير الخطية التقليدية. تهدف الدراسة إلى تقديم نموذج حاسوبي دقيق يمكن الاستفادة منه في تطوير برمجيات الخطوط الرقمية وتحسين تقنيات التعرف البصري على الحروف العربية.

كلمات مفتاحية: حوسبة الخط العربي؛ حرف الهاء؛ خط النسخ؛ النمذجة الرقمية؛ التعرف البصري.

Abstract:

This study aims to explore the computational processing of Arabic calligraphy by analyzing the isolated letter "Hā'" in Naskh script as a model that represents the challenges of digitizing Arabic letters. The research examines the relationship between calligraphic authenticity and modern technological advancements in letter modeling, focusing on the visual and geometric properties of the letter in digital contexts. The study adopts a descriptive-applied approach, utilizing computational tools to analyze the

shapes of the letter "Hā'" in Naskh script and comparing the results with traditional calligraphic standards. The goal is to develop an accurate computational model that can contribute to digital typography development and enhance optical character recognition (OCR) technologies for Arabic script.

Keywords: Arabic calligraphy digitization; letter Hā'; Naskh script; digital modeling; optical character recognition (OCR).

مقدمة:

يُعتبر الخط العربي أحد أرقى الفنون التشكيلية التي انعكست فيها روعة الحضارة الإسلامية وتاريخها العريق. فقد شهد عبر القرون جهودًا حثيثة لتطوير الحروف العربية وتحسينها، بدءًا من بدايات الكتابة في العصور الإسلامية الأولى مرورًا بتجارب الخطاطين في المدارس السنبلية والخطية المختلفة، وصولاً إلى إبداع أساليب مثل الخط الكوفي والنستعليق والنسخ. وقد سعى هؤلاء الخطاطون إلى تحقيق توازن بين الدقة الهندسية والجمالية التعبيرية، مما نتج عنه إرساء قواعد فنية صارمة ومتميزة تعكس روح الخط العربي وتراثه.

وفي العصر الحديث، ومع ظهور الثورة الرقمية، بات من الضروري إعادة النظر في هذه التجارب التاريخية ومحاولة نقلها إلى إطار تقني رقمي. فقد بدأت محاولات أولية في دمج مبادئ الخط العربي التقليدي مع تقنيات الحوسبة، مما أوجد تحديات جديدة تتعلق بالحفاظ على أصالة الشكل وجمالياته أثناء تحويله إلى نموذج رقمي. وفي هذا السياق، تأتي أهمية الدراسة الحالية التي تركز على **حرف الهاء في خط النسخ** كنموذج تطبيقي، لتبسيط الضوء على العلاقة بين التراث الفني الأصيل والتكنولوجيا الحديثة.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص البصرية والهندسية لحرف الهاء، مستندة إلى التجارب التاريخية وأساليب النمذجة الرقمية المعاصرة. ومن خلال مقارنة النتائج المستخلصة مع المعايير الخطية التقليدية، يسعى البحث إلى بناء نموذج رقمي متطور يُمكن أن يكون مرجعًا لتطوير برمجيات الخطوط وتحسين تقنيات التعرف البصري على الحروف العربية، مما يساهم في الحفاظ على إرث الخط العربي ونقله إلى العصر الرقمي بفاعلية وإبداع.

1. القراءة الآلية: استعراض لمراحل التعرف على الحرف العربي

يُعد التعرف الآلي على الحروف العربية من أهم التطبيقات التكنولوجية في عصرنا الحالي، نظرًا لتعقيد هذا الخط وجمالياته الفريدة التي تتأثر بموقع الحرف داخل الكلمة. تواجه عملية القراءة الآلية تحديات متعددة تبدأ من تحويل الصورة الرقمية إلى بيانات تحليلية دقيقة، مرورًا بتمييز الخصائص البصرية والهندسية لكل حرف. تهدف هذه الدراسة إلى استعراض المراحل المختلفة لعملية التعرف الآلي على الحرف العربي، مع التركيز على التحديات التقنية والحلول المقترحة لتجاوزها، مما يساهم في تحسين تقنيات التعرف البصري (OCR) وتعزيز دقة معالجة النصوص العربية الرقمية.

أولاً: القراءة الآلية للنص العربي وتحسينها بالمصحح الهجائي

شهدت الأبحاث الحديثة في علوم الحاسب الآلي اهتمامًا متزايدًا بتطوير تقنيات قادرة على محاكاة قدرات الإنسان في معالجة اللغة، سواء من خلال أنظمة التعرف البصري على الحروف (OCR) أو من خلال أدوات الذكاء الاصطناعي التي تعمل على تحليل وتصحيح النصوص. تُعد القراءة الآلية للنصوص العربية من بين المجالات التي تواجه تحديات تقنية ولغوية، نظرًا لما تتميز به اللغة العربية من خصائص خطية معقدة، مثل التشكيل، واتصال الحروف، وتعدد الأشكال الكتابية للحرف الواحد، مما يجعل دقة التعرف الآلي على النصوص العربية أقل مقارنةً باللغات الأخرى ذات البنية الخطية الأبسط.

لتحسين كفاءة القراءة الآلية، يتم الاعتماد على المصحح الهجائي، وهو أداة تقنية تعمل على تحليل وتصحيح الأخطاء الإملائية التي قد تنتج أثناء عملية التحويل الرقمي للنصوص. تكمن أهمية المصحح في قدرته على التعرف على الكلمات غير الصحيحة واقتراح بدائل دقيقة استنادًا إلى قواعد اللغة ومعجم الكلمات المرجعي، مما يساهم في رفع دقة النظام وتقليل نسبة الأخطاء الناتجة عن التعرف البصري.

تعتمد فكرة هذا النظام على تحويل الوثيقة المكتوبة باللغة العربية من صورة رقمية (Digital Form) إلى نص رقمي (Text Form) باستخدام برمجيات (العظيم، 0000، صفحة 185) التعرف البصري على الحروف (OCR Software)، والتي تستخرج النصوص من الصور باستخدام خوارزميات متقدمة تعتمد على تحليل الأشكال الحرفية وتحديد أنماطها اللغوية.

بعد هذه المرحلة، يقوم المصحح الهجائي بمراجعة النص وتصحيح أي أخطاء محتملة، مما يساهم في إنتاج نصوص أكثر دقة وسلاسة، يمكن استخدامها في مجالات مختلفة مثل الترجمة الآلية، وتحليل البيانات اللغوية، وأرشفة الوثائق. (العظيم، 0000، صفحة 186)

وعلى الرغم من التقدم الحاصل في هذا المجال، لا تزال هناك تحديات كبيرة تتعلق بتحسين التعرف البصري على الحروف العربية، لا سيما في ظل وجود خطوط متداخلة، وكلمات غير مشكولة، وحروف متقاربة في الشكل. لذا، فإن التكامل بين تقنيات OCR المتطورة والمصححات الهجائية الذكية يشكل خطوة أساسية نحو تحقيق قراءة آلية دقيقة وفعالة، تدعم التطبيقات المستقبلية في معالجة اللغة العربية رقمياً.

ثانياً: التحليل اللغوي لحرف الهاء في اللغة العربية

يُعد حرف الهاء من الحروف الصوتية المميزة في اللغة العربية، حيث يتميز بخصائص نطقية وتركيبية تجعله محوراً للدراسة اللغوية. يقع هذا الحرف ضمن مجموعة الحروف الحلقية، ويُعتبر من الأصوات المهموسة الرخوة التي تلعب دوراً أساسياً في بنية الكلمات العربية. كما أنه يظهر في مواقع مختلفة داخل الكلمة، سواء في البداية أو الوسط أو النهاية، مما يؤثر على نطقه وتغيراته الصوتية عند الوصل أو الوقف. ومن هنا تأتي أهمية تحليل هذا الحرف لغوياً، من حيث صفاته الصوتية، ووظيفته الصرفية، ومدى تأثيره بالسياقات اللغوية المختلفة.

2. الوحدة الخطية في اللغة العربية: مفهومها وعلاقتها بالتمثيل الصوتي والكتابي

تُعد الكتابة تمثيلاً مرئياً للوحدات الصوتية، حيث ترتبط الأصوات بالحروف في نظام لغوي منظم يعكس العلاقة الوثيقة بين النطق والخط. ومن هذا المنطلق، يمكننا تعريف الوحدة الخطية على أنها المقابل المكتوب للوحدة الصوتية، مما يجعلها عنصراً أساسياً في بنية اللغة المكتوبة.

وبناءً على هذا الترابط، يمكن الاستناد إلى مفهوم الفونيم باعتباره وحدة صوتية قادرة على إحداث تغيير دلالي عند استبداله بوحدة أخرى، إذ يتمثل دوره الأساسي في التمييز بين الكلمات والمعاني داخل النظام اللغوي. وبالمثل، تكتسب الوحدة الخطية أهميتها من قدرتها على نقل الفونيمات إلى شكل مكتوب واضح (أستيتية، 2005، صفحة 61)، ما يجعلها حجر الأساس في عملية التواصل الكتابي والتدوين.

ويمكن النظر إلى هذا المفهوم من زوايا متعددة، حيث تتداخل الخطوط، والأشكال الحرفية، والأنماط الكتابية في تكوين الوحدة الخطية، مما يؤثر على سهولة القراءة، ودقة الطباعة، وإمكانية المعالجة الآلية للنصوص. لهذا، تلعب دراسة الوحدات الخطية دورًا محوريًا في مجالات مثل علم الأصوات، وتقنيات التعرف البصري على الحروف (OCR)، والتصميم الطباعي، نظرًا لتأثيرها المباشر على وضوح النصوص وكفاءتها في البيانات الرقمية والتقليدية.

تمتلك الفونيمات طبيعة صوتية محددة زمنيًا ويتم إدراكها عبر السمع، غير أن الأمر يختلف تمامًا عند التعبير بالكتابة، حيث تُستقبل عبر البصر، مما يؤدي إلى تحويل تلك العناصر الصوتية إلى تسلسل خطي محدد يُعرف بالوحدات الخطية، وهي غير قابلة للتجزئة سواء من حيث الصوت أو الشكل، مثل: ح، ت، ك... ومن ذلك يمكن القول إن الوحدة الخطية تمثل الشكل الذي تتخذه العناصر الصوتية، وهو ما أشار إليه يلمسليف.

ويتضح من هذا أن نظرية (الغلوسماتيك) بُعثت لتتخلى عن الدراسات اللغوية المتأثرة بالفلسفة، والأنثروبولوجيا، واللسانيات المقارنة، وتقيم لسانيات علمية مبنية على أسس رياضية ومنطقية وكلية، تعني بوصف الظواهر اللغوية وتحليلها وتفسيرها بطريقة موضوعية" (أستيتية، 2005، صفحة 162).

اقترح يلمسليف استبدال ثنائية (المدلول والمدلول)، التي قدّمها دي سوسير، بثنائية جديدة تتمثل في (مستوى التعبير ومستوى المحتوى)، حيث يرى أن اللغة ليست مجرد ترابط بين شكل وصورة ذهنية، بل هي نظام متكامل يتكوّن من مستويين مترابطين. ويؤكد أن العلاقة بين هذين المستويين ليست مجرد علاقة تطابق، بل علاقة بنيوية معقدة تُعرف بـ **العلاقة اللغوية**، والتي تتيح للغة القدرة على التعبير عن المعاني من خلال أشكال متنوعة ضمن بنيتها العميقة والسطحية (مؤمن:، 2002، صفحة 162)

3. التحليل الصوتي لحرف الهاء في العربية:

تتمتع الهاء بخصائص صوتية مميزة تجعلها تجمع بين صفات الصوامت وخصائص الصوائت، مما يمنحها طبيعة صوتية فريدة. وفي هذا السياق، من الضروري التطرق إلى التصنيف الأساسي للأصوات اللغوية، والذي يشمل الأصوات الصائتة والأصوات الصامتة، لفهم موقع الهاء ضمن هذا التقسيم.

❖ **الأصوات الصائتة (Vowels):** الأصوات الصائتة هي تلك التي تصدر دون أن يعيقها أي حاجز في مجرى الهواء، حيث يمر الهواء بحرية من الحنجرة إلى الخارج دون أن يتعرض لاحتكاك أو تضيق بين أعضاء النطق. تتميز هذه الأصوات بعدم وجود نقطة نطق ثابتة، مما يجعلها تعتمد أساسًا على وضعية اللسان وحركة الشفاه. (الغامدي، 2000، صفحة 47)

في اللغة العربية، تنقسم الصوائت إلى نوعين رئيسيين:

- الصوائت القصيرة: وتشمل الفتحة (ـَ)، الضمة (ـُ)، والكسرة (ـِ).
- الصوائت الطويلة: وتشمل الألف المسبوقة بفتحة (ـَا)، الواو المسبوقة بضمة (ـُو)، والياء المسبوقة بكسرة (ـِي).

تلعب الصوائت دورًا محوريًا في تشكيل بنية الكلمات العربية، حيث تساهم في تحديد المعاني، وتساعد في التفريق بين الكلمات المتشابهة في الصوامت، مثل الفرق بين عَلِمَ وَعَلِمَ وَعَلَّمَ، حيث يؤدي اختلاف الصوائت إلى تغيير المعنى تمامًا.

❖ **الأصوات الصامتة (Consonants):** تُعرف الأصوات الصامتة بأنها الأصوات التي تنتج عند تلامس أو تقارب عضوين من أعضاء النطق، مما يؤدي إلى حدوث عائق جزئي أو كلي في مجرى الهواء الخارج من الرئتين. تختلف هذه الأصوات عن الصوائت في أن لكل منها موضع نطق محدد، حيث تتنوع بحسب مكان وطريقة النطق (الغامدي، 2000، صفحة 48).

تُصنّف الأصوات الصامتة في اللغة العربية وفق عدة معايير، منها:

- بحسب مكان النطق: مثل الأصوات الشفوية (ب، م)، والحلقية (ع، ح)، واللهوية (ق، ك).
- بحسب طريقة النطق: مثل الأصوات الانفجارية (ب، د، ك)، والاحتكاكية (ف، ث، ز)، والمجهورة (د، ز، ر)، والمهموسة (س، ت، ك).

تعتبر الأصوات الصامتة العنصر الأساسي في بناء الكلمات العربية، حيث تتركب الجذور الثلاثية والرباعية والخماسية منها، بينما تلعب الصوائت دورًا تكميليًا يحدد دلالات الكلمة.

يستخدم اللغويون ثلاثة معايير رئيسية (الغامدي، 2000، الصفحات 21-71) لوصف الأصوات الصامتة (الصوامت) بدقة، وهي:

أ. مصدر الطاقة: (Airflow Source)

يُحدد مصدر الطاقة الذي يساهم في إنتاج الصوت، وينقسم إلى:

- رئوي (Pulmonic) حيث يُدفع الهواء من الرئتين عبر الحنجرة.
- حنجري (Glottalic) حيث يتولد الصوت نتيجة تحكم الحنجرة في تدفق الهواء.
- طبقي (Velaric) حيث يعتمد الصوت على تدفق الهواء الناتج عن حركة اللسان داخل التجويف الفموي.

ب. مخرج الصوت: (Place of Articulation)

يُحدد الموضع الذي يتم فيه إنتاج الصوت داخل الجهاز النطقي، ويشمل:

- الأصوات الشفوية (Labial) التي تنطق باستخدام الشفتين مثل (ب، م).
- الأصوات الشفو-أسنانية (Labiodental) التي تنطق باستخدام الشفة السفلى مع الأسنان العليا مثل (ف).
- الأصوات البين-أسنانية (Interdental) التي تنتج بوضع اللسان بين الأسنان مثل (ث، ذ).
- الأصوات اللثوية-أسنانية (Alveodental) التي تُنطق بتلامس اللسان مع اللثة مثل (ت، د، س، ز).
- الأصوات الحلقية (Pharyngeal) التي تصدر من الحلق مثل (ع، ح).
- الأصوات اللهوية (Velar) التي تصدر من مؤخرة اللسان مع سقف الفم مثل (ق، ك).

ج. كيفية النطق: (Manner of Articulation)

تصف هذه الخاصية كيفية تدفق الهواء أثناء إنتاج الصوت، وتشمل:

- مجهورة (Voiced) حيث تهتز الأوتار الصوتية أثناء النطق مثل (د، ز، غ).
- مهموسة (Voiceless) حيث لا تهتز الأوتار الصوتية مثل (ت، س، ك).

- احتكاكية: (Fricative) حيث يمر الهواء عبر تضيق جزئي مسبباً احتكاكاً مثل (ف، ث، خ).
- تكرارية: (Trill) حيث يتكرر اهتزاز العضو النطقي مثل (ر).
- مفخمة: (Velarized) حيث يتم تضخيم الصوت مثل (ص، ض، ط، ظ).
- مركبة: (Affricate) حيث يبدأ الصوت كوقفي ثم يتحول إلى احتكاكي مثل (ج في النطق المصري).
- جانبية: (Lateral) حيث يمر الهواء من جانبي اللسان مثل (ل).
- وقفية: (Plosive) حيث يتم إيقاف الهواء ثم إطلاقه فجأة مثل (ب، د، ك).

ويتبين أن صوت الهاء من الأصوات التي يصعب تصنيفها بدقة تحت فئة الصوامت أو الصوائت، إذ لا يمكن اعتباره صائناً في جميع حالاته، كما لا يمكن إدراجه ضمن الصوامت بشكل مطلق. فالهاء صوت متغير يجمع بين خصائص الفثتين، ويتأثر بطريقة نطقه والسياق اللغوي الذي يرد فيه. عند نطق الهاء، قد يبقى الوتران الصوتيان في حالة سكون دون اهتزاز، مما يجعله أقرب إلى الأصوات المهموسة. في بعض الحالات، يصاحب هذا السكون نوع من الحفيف المسموع في أقصى الحلق، وهو ما يمنحه طابعاً احتكاكياً ضعيفاً. كما أن أعضاء النطق عند نطقه تتخذ وضعاً مشابهاً للوضع الذي يكون عليه الفم عند نطق أصوات اللين، مما يزيد من طابعه المائع ويجعله وسيطاً بين الصوامت والصوائت، وفقاً لظروف النطق المختلفة (كايد، 2019).

وهذا تحليل دقيق لطبيعة صوت الهاء، مبرراً خصوصيته الصوتية التي تجعله صوتاً وسطاً بين الصوامت والصوائت، إذ لا يمكن تصنيفه بدقة ضمن أي من الفثتين بشكل مطلق. يتميز التحليل بتفسيره العلمي المستند إلى اهتزاز الأوتار الصوتية، إضافة إلى إبرازه الطابع الاحتكاكي واللين لهذا الصوت وفقاً للسياق النطقي. كما يُظهر النص وعياً عميقاً بكيفية تشكيل الهاء، حيث يوضح أن وضع أعضاء النطق عند نطقه يشبه إلى حد كبير وضعها أثناء إنتاج أصوات اللين، مما يضيف عليه طبيعة متحركة ومتغيرة. ومع ذلك، يمكن تعزيز هذا الطرح من خلال تقديم أمثلة لغوية تبرز تغير نطق الهاء في سياقات مختلفة، إضافةً إلى الإشارة إلى دراسات صوتية حديثة تناولت

تصنيفه. كما يمكن إجراء مقارنة مع لغات أخرى لمعرفة ما إذا كانت الظاهرة نفسها موجودة في أنظمة صوتية مختلفة، مما يعمق الفهم ويجعل التحليل أكثر شمولاً.

4. البنية الهندسية لرسم الهاء العربية:

يعدّ حرف الهاء من الحروف التي تخلو من النقط، ويأخذ أشكالاً متعددة في خط النسخ تبعاً لموضعه في الكلمة (فياض، 1998، صفحة 115)، سواء كان مفرداً، متصلاً بما قبله، متصلاً بما بعده، أو متصلاً من الجهتين. ومن الملاحظ أن رسم الهاء في هذا الخط يتكوّن من خطوط هندسية ذات اتجاهات مختلفة، مما يمنحه طابعاً تركيبياً دقيقاً. وانطلاقاً من هذه الخصوصية، يمكن محاولة وضع مقاييس حسابية لهذه الأشكال الهندسية استناداً إلى منهجية الخطاطين الرياضيين الذين وضعوا أسس رسم الخط العربي اليدوي بدقة متناهية. يسهم هذا التناول الهندسي في فهم الأبعاد الجمالية للحرف، كما يساعد على ضبط رسمه وفق قواعد دقيقة تتماشى مع المعايير الخطية المعتمدة.

1.4. مفهوم خط النسخ

يعد خط النسخ أحد الخطوط الستة التي ابتكرها ابن مقلة، إلا أن هناك رأياً آخر يرجّح أن هذا الخط أقدم من عصره، حيث كان مستخدماً في دواوين الكتابة. وتشير بعض المخطوطات إلى أن المصاحف المكتوبة قبل القرن الرابع الهجري كانت تعتمد الخط الكوفي وأحياناً خط النسخ، مما يدل على احتمالية اقتباسه من الخطوط العربية القديمة، خصوصاً في بيئة الكوفة، وقد أُطلق على خط النسخ تسميات عدة، منها "الخط القرآني" نظراً لاستخدامه في كتابة المصاحف، كما عُرف باسم "الثلاث الرقيق"، وهو ما جعله من أكثر الخطوط انتشاراً، حيث أصبح الخط المعتمد في نسخ الكتب والمخطوطات، نظراً لسهولة قراءته وجمال تشكيله (طه، 2002، صفحة 64).

4.2. تمثيل الهاء العربية بخط النسخ:

يعد حرف الهاء من الحروف التي لا تحمل نقاطاً، ويتغير شكلها في خط النسخ تبعاً لموقعها داخل الكلمة، حيث تأتي مفردة، أو متصلة بما قبلها، أو متصلة بما بعدها، أو متصلة من الجهتين (علي، 1992، الصفحات 68-69)، في طريقة كتابتها، يبدأ رسم الهاء بسحب القلم من اليسار نزولاً نحو اليمين بمقدار ثلاث نقاط مع انحدار نقطتين، ليأخذ شكلاً يشبه بداية حرف الدال لكنه أقصر بمقدار نقطة. بعد ذلك، يتم سحب القلم من اليمين صعوداً نحو اليسار بمسافة نقطة واحدة وبطول ثلاث نقاط مع انحناء في الوسط. ثم يُرفع القلم إلى الأعلى بقوس مائل من اليسار إلى اليمين

ليشبه في شكله حرف الفاء الوسطى، وتظهر داخله نقطة صغيرة تُعرف باسم عين الهرّ؛ أما الهاء الوسطى، والتي تسمى "أذن الفرس"، فتمتاز بشكلها المستدير، بينما الهاء الأخيرة المدغمة تتخذ شكلاً أكثر اندماجاً. وتختلف طريقة رسم الهاء المفردة، حيث تأتي مثلثة الشكل أو مجمعة، بينما تُكتب الهاء الملحققة الرادفة بأسلوب خاص يظهر تداخلها مع الحروف الأخرى (علي، 1992، صفحة 67).

إضافة إلى ذلك، هناك أشكال متنوعة مثل الهاء المدغمة المشقوقة والتي تعد وسطية الشكل، وكذلك الهاء المخطوفة والهاء المدغمة الميمية، التي تختلف حسب طبيعة الخط ومستوى الاندماج مع الحروف المجاورة.

5. الكشف عن حرف الهاء العربية باستخدام الشبكات العصبية الإلكترونية

تتعدد طرق المعالجة الآلية للصور، وتخضع لسلسلة من المراحل الإجرائية التي تهدف إلى تحليل واستنتاج البيانات بدقة. في هذا البحث، تم تطبيق المعالجة باستخدام لغة البرمجة MATLAB، وهي لغة اصطناعية متخصصة تحتوي على علبة أدوات حسابية تتيح تنفيذ مختلف العمليات البرمجية بدقة وكفاءة؛ ويتم اختيار طريقة المعالجة المناسبة بناءً على طبيعة العينة المدروسة، حيث تؤثر خصائص الصورة في تحديد المراحل التالية. وتشمل هذه المراحل عمليات مثل تحليل البنية الخطية للحرف، واستخراج الميزات المميزة، وتحديد الأنماط المتكررة باستخدام الشبكات العصبية الإلكترونية (AlainDEITERLEN, 0000, p. 48)، مما يسمح بتصنيف الحروف بدقة وفقاً لنماذج محددة مسبقاً.

وتُعدّ معالجة الصورة من الفروع الأساسية في علوم الحاسوب، حيث تهدف إلى تنفيذ عمليات برمجية على الصور الرقمية بغرض تحسين جودتها وفق معايير محددة أو لاستخلاص معلومات ذات دلالة منها. وتتم هذه المعالجة باستخدام خوارزميات متقدمة تُطبق على الصور لتحقيق أهداف مثل تقليل التشويش، تحسين التباين، واستخراج السمات المميزة، مما يجعلها تقنية أساسية في الذكاء الاصطناعي والتعرف البصري على الأنماط. (AlainDEITERLEN, 0000, p. 45)

ويتألف نظام معالجة الصورة من ستة مراحل كما يأتي:

أولاً: استقبال الهاء العربية وتخزينها في ذاكرة الحاسوب:

بعد جمع عينات متنوعة لحرف الهاء العربية بخط النسخ، يتم مسحها ضوئياً للحصول على صور رقمية يمكن تمثيلها ضمن مصفوفات رقمية. تحتوي كل نقطة ضوئية (Pixel) في الصورة على إحداثيات رقمية (س، ع) تحدد موقعها، إلى جانب قيمة شدة ضوئية وكثافة موزعة عبر مساحة الصورة. تُنظم هذه النقاط داخل مصفوفة مؤلفة من صفوف وأعمدة، حيث تتميز كل وحدة ضوئية بتموضعها الفريد داخل المصفوفة (Alain DEITERLEN, 0000, p. 73)، مما يسمح بمعالجتها وتحليلها في أنظمة الذكاء الاصطناعي والتعرف البصري على الأحرف.

قمنا بتخزين الصورة بشكلها ومصفوفتها داخل ذاكرة الحاسوب على الشكل التالي:



التخزين الحوسبي

ثانياً: مرحلة قلب مصفوفات الصورة الضوئية (Inversion des pixel):

تتمثل هذه المرحلة في قلب مصفوفات الصورة الضوئية وذلك بتحويل التّقط البيضاء إلى نقط سوداء والعكس، تسهيلاً منّا لنقلها إلى مرحلة ما قبل المعالجة:

حرف الهاء بعد قلب المصفوفات	حرف الهاء بعد عملية المسح الضوئي

ثالثاً: مرحلة الترشيح (Filtrage):

تهدف هذه المرحلة إلى تهيئة صورة الهاء لتسهيل معالجتها داخل الحاسوب، وذلك بإزالة جميع الشوائب الطارئة، والتي هي عبارة عن معلومات زائدة مزاحمة للمعلومات الأصلية الموجودة في الصورة، فقد تكون عبارة عن نقاط سوداء وخطوط عشوائية ليس لها وظيفة في شكل الهاء ويمكن تعديل هذه المعلومات وإزالة شوائبها بعدة طرق وذلك بحسب درجتها المتواجدة في الصورة (Alain DEITERLEN, 0000, p. 129).

❖ الترشيح الخطّي:

يتمثل في شكل مصفوفة تلتفّ على مصفوفة الصورة المخزنة في ذاكرة الحاسوب بطريقة رياضية لتعديل نوعيتها اللونية والشكلية بطريقتين:

للترشيح الخطّي المرتفع.

للترشيح الخطّي المنخفض: هو عبارة عن مصفوفة حسابية تسمى (المادة الملتفة) تحسب مع مصفوفة الصورة الرقمية لصورة الهاء لحساب معدلات ترشيحها وتعويض قيمة النقاط الضوئية في الصورة بالنتيجة المتحصّل عليها لاستخراج مصفوفة جديدة في شكل صورة ذات واجهة أكثر وضوحاً:

$$\begin{array}{ccc|ccccc} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 11 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 11 \end{array}$$

فأخذ لحساب النقطة الضوئية المعبر عنها بالقيمة 1 في المصفوفة 08 ونعوضها بالنتيجة

المتحصّل عليها كالآتي:

$$\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & \\ 0 & 1 & 0 & = \text{ص} \\ 1 & 0 & 1 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 1 & 1 & & & \\ 1 & 1 & 1 & = & م & \\ 1 & 1 & 1 & & & \end{array}$$

م: المادّة الملتقّة للمرشّح المنخفض = $1/9$.

$$\begin{array}{ccc|ccc} 1/9 \times 1 & 1/9 \times 0 & 1/9 \times 0 & & & \\ 1/9 \times 1 & 1/9 \times 1 & 1/9 \times 0 & = & م \times ص & \\ 1/9 \times 1 & 1/9 \times 1 & 1/9 \times 1 & & & \end{array}$$

$0.66 = 6/9 =$

نعوّض القيمة 0.66 في المصفوفة لنحصى علي:

$$\begin{array}{ccc|ccccc} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.66 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

ونعيد العمليّة نفسها لباقي النقط الصّويّة حتّى نحصل على مصفوفة مرشّحة وبقيم جديدة.

رابعا: التّقطيع (Segmentation):

عمليّة تقطيع أو تجزئة مناطق الصّورة إلى مناطق متساوية لمقارنتها مع بعضها البعض ثمّ تحديد جميع الخصائص العامّة لصورة الحرف من حيث الشّكل والمحيط واستخراج مكوّناها الأساسيّة باستعمال عدّة مؤثّرات (Opérateurs) على الصّورة.

والمؤثّر (Derichecanny) المستعمل في عملنا التّطبيقيّ هو الذي ساعدنا على عمليّة التّقطيع وإنجاحها لأنّه الأكثر استعمالا في مجال الآليّة للصّورة والأدقّ حساسيّة للشّوائب والأكثر دقّة في تحديد محيط وحجم ومساحة الحرف لتسهيل عمليّة التّعيين.

. خاتمة البحث ونتائجه:

بعد دراسة وتحليل حرف الهاء العربية من الجوانب الصوتية والخطية والحوسبية، توصلنا إلى مجموعة من النتائج المهمة، يمكن تلخيصها فيما يلي:

1. **التصنيف الصوتي لحرف الهاء:** يتميز حرف الهاء بخصائص تجعله صوتًا هجينًا بين الصوامت والصوائت، حيث يختلف نطقه تبعًا لموقعه في الكلمة والسياق الصوتي المحيط به.
 2. **الخصائص الخطية للهاء في خط النسخ:** يأخذ حرف الهاء أشكالًا هندسية متنوعة في خط النسخ، سواء كان منفردًا أو متصلًا، مما يجعله من الحروف التي تتطلب دقة في الرسم اليدوي والرقمي على حد سواء.
 3. **تمثيله الرقمي في الحوسبة:** يمكن تمثيل حرف الهاء داخل مصفوفات رقمية تحدد موقع كل نقطة ضوئية (Pixel) بدقة، مما يتيح تحليله ومعالجته آليًا.
 4. **إمكانية التعرف عليه باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية:** عند معالجة صور حرف الهاء ببرمجيات مثل **MATLAB**، يمكن تدريب الخوارزميات للتعرف عليه بشكل دقيق، وهو ما يعزز التطبيقات الحديثة في التعرف الضوئي على الحروف (OCR).
 5. **تأثير جودة الخطوط على التعرف الرقمي:** تختلف دقة التعرف على حرف الهاء بناءً على جودة الخط المستخدم، مما يتطلب تحسين نماذج الشبكات العصبية لتعويض الفروقات الناجمة عن تنوع الخطوط اليدوية والرقمية.
 6. **أهمية المعالجة الآلية للصورة في دراسة الخط العربي:** أظهرت الدراسة أن تحليل الحروف العربية يحتاج إلى مناهج حسابية دقيقة تتبع تقنيات الذكاء الاصطناعي ومعالجة الصورة للوصول إلى نتائج أكثر دقة.
 7. **إمكانية تطوير نماذج أفضل لتحليل الحروف العربية:** لا تزال هناك حاجة إلى تحسين تقنيات التعرف الآلي على النصوص العربية من خلال دمج أساليب الذكاء الاصطناعي المتقدمة، مثل التعلم العميق، لتحسين نتائج تحليل الحروف العربية، ومنها حرف الهاء.
- التوصيات:**
- ✚ إجراء مزيد من الدراسات حول الاختلافات الصوتية لحرف الهاء في اللهجات العربية المختلفة.
 - ✚ تطوير خوارزميات معالجة متقدمة قادرة على التعرف على الحروف العربية في مختلف أنماط الكتابة.

تحسين برمجيات OCR الخاصة بالخط العربي، مع التركيز على معالجة التشوهات البصرية للحروف.

الاستفادة من التقنيات الحديثة في الذكاء الاصطناعي لدعم التطبيقات الخاصة بالتعرف على النصوص العربية.

تفتح هذه النتائج آفاقاً جديدة في مجال تحليل الخط العربي رقمياً، ما يسهم في تطوير أدوات متقدمة للبحث اللغوي وتطبيقات الذكاء الاصطناعي في فهم ومعالجة النصوص العربية.

قائمة المراجع:

- (1) أحمد مؤمن.: (2002). اللسانيات النشأة والتطور-. بن عكنون. الجزائر: ديوان المطبوعات الجامعية.
- (2) الرواي عبد الباسط محمد علي. (1992). الخط العربي نشأته تطوره قواعده (خط الثلث والنسخ) (الإصدار 1). القاهرة: دار منشأة المعارف-.
- (3) حازم عبد العظيم. (0000). القراءة الآلية تلتهم العربي. القاهرة: المركز القزمي للبحوث.
- (4) حسن طه. (2002). : قابلية التحوير كخاصية فنية في الخط العربي ومدخل لإثراء التصميمات الزخرفية - رسالة ماجستير في التربية الفنية- قسم التصميمات الزخرفية- مصر: كلية التربية الفنية- جامعة حلوان.
- (5) سليمان فياض. (1998). - استخدامات الحروف العربية معجمياً- صوتياً، صرفياً، نحوياً، كتابياً (الإصدار 1). المملكة العربية السعودية: دار المريخ.
- (6) سمير شريف أستيية. (2005). : اللسانيات المجال والوظيفة والمنهج. الأردن: عالم الكتب الحديث.
- (7) منصور بن محمد الغامدي. (2000). : الصوتيات العربية-. المملكة العربية السعودية: مكتبة الملك فهد الوطنية-.

8) Alain DEITERLEN : (0000). *Traitement d'image- cours 1* .-
Mulhou :laboratoire MIPS- Université de Haute Alsace.

9) ابراهيم كايد. (5 12، 2019). *المنتدى العربي الموحّد*. تم الاسترداد من صوت الهاء في العربية:
www.4uarab.com