التَّعَرُّفُ الآلي عَلى خُطُوطِ المَصَاحِفِ المَكْتُوبَةِ بالخَطِّ المَغْرِبيّ

دِرَاسَة تَطْبِيقِيّة لِعَيِّنَاتٍ خَطِّيّةٍ مَعْزُولَة

أ. سَلِيمَة يَحْيَاوِي
أ. محمّد مُسَاعِدِي

مُلخّصُ البَحْث

نحـاول في هذه الورقـة العلميّة أن نقدّم طريقـة للتّعرف الآلي على خطوط المصاحـف المكتوبة بالخط المغربيّ المبسوط؛ بوصفـه أهمّ الخطوط التي كتبت بهـا المصاحف في منطقـة المغرب العربيّ. وهذه الطريقـة في الأصل هي امتداد لبحـوث سابقة تتنـاول دراسة تطبيقيّة لحـروف عربيّة يدويّـة معزولة (الهاء، الميم)، من أجل رفع نسبة التعرّف إلى أكثر من أربعين بالمائة (٤٠٪).

ويرتكـز العمـل التطبيقي على تقنية معالجة الصـورة، وقد بدأ بمرحلة ما قبـل المعالجة (التّهيئة)، مروراً بمرحلة المعالجـة، ثم قمنا باستخراج الخصائص التّمييزيّة للحرف في مستوياته الكتابية: أوّل الكلمة، وسط الكلمة، آخر الكلمة. ولتقويـم هذه الخصائـص اعتمدنا على تقنيّة الشّـبكات العصبيّـة الإلكترونيّة (مرحلـة ما بعـد المعالجة). وعرض للنّتائج المتحصّل عليهـا والتي تؤكّد فعاليّة التّقنية، ثم تحليلها واستخلاص التّوصيات بناء على الدّراسة التطبيقيّة.

ورغـم قلة البحـوث المقدّمة في هذا الجانـب، فإنّ هـذه المحاولة ستكون منطلقنـا نحـو التّعرف على الوحـدات الخطيّة داخل الكلمة المفـردة، ثم الجملة، فالنّص القرآني المخطوط.

الكلمات المفتاحية:

الخـط العـربي اليدوي، الخط المغـربي، خطوط المصاحـف، التّعرّف الآلي، معالجة الصورة، الشّبكات العصبية الإلكترونية.

مقدّمة

حوسبة الحرف العربي في شكله المخطوط، أو ما يعرف بالتعرّف الآلي على الكتابة العربية اليدوية هو «عملية تحويلها إلى نصّ رقمي اعتماداً على صورة الكلمة المكتوبة فقط؛ بمعنى تحويل اللّغة المكتوبة من شكلها الرّسومي المعروف إملائياً إلى شكلها الرّقمي المعروف لدى أجهزة الحاسوب. والتعرّف على الكلمة المكتوبة يستوجب تقسيمها إلى الأحرف المكوّنة لها، ومن ثَمَّ التعرّف على كلّ حرف منها على انفراد»[1]، وهذا الأخير تتمّ دراسته لغرض تحديد الصّفات المميّزة له، واستخراج قاعدة المعطيات الخاصّة به.

على هذا الأساس فإنّ هذه الورقة العلمية الموسومة بـ «التّعرّف الآلي على خطوط المصاحف المكتوبة بالخط المغربيّ دراسة تطبيقيّة لعيّنات خطيّة معزولة» تسعى إن شاء الله إلى تقديم طريقة يمكننا من خلالها تطوير برنامج للتعرّف الآلي على الحروف العربية المعزولة، لتكون أرضية تنطلق منها باقي الخطوات الإجرائية المكمّلة للتعرّف على الحروف داخل الكلمة ثم الجملة فالنّص القرآني.

والخط المغربي المبسوط من أهمِّ الخطوط التي كتبت بها المصاحف المغربية القديمة، والتي أبدع فيها المغاربة، وتميّزوا بها عن إخوانهم المشارقة، ونخصّ هنا بالخط المغربي «مجموع خطوط بلاد المغرب والأندلس، أي: تلك

(١) بكر عبد الله خورشيد وآخرون: حوسبة الحرف العربي، حرف الميم المعزولة بخط النّسخ أنموذجاً، ص٥٣٥.

الرّقعة الجغرافية التي كانت تمتدّ من صحراء برقة بليبيا إلى نهر الإبرو بالأندلس»[١].

وهذا الخط ليس له قواعد محدّدة أو موازين لرسمه؛ لهذا قد يكتب الحرف الواحد في الوثيقة نفسها بأكثر من طريقة خاصّة في الوثائق القديمة، لعدّة أسباب، لعل أهمّها «الهجرات الثّقافية العديدة بين الأندلس والمغرب والمشرق، وتعدّد الدويلات في المغرب، وقصر أعمارها»[٢]، وهذا عامل رئيس قد يعيق عملية التعرّف الآلي على الحرف، بالإضافة إلى عوامل أخرى ماديّة تتعلّق بالوثيقة نفسها.

لهذا فإنّ طبيعة العمل تحتّم علينا الوقوف على عيّنة خطّية معزولة واحدة في جميع مستوياتها الكتابية المعروفة، باتّباعنا منهجاً وصفياً تحليلياً مع إجراء تطبيقي، يتضمّن:

أولاً: مدخل.

ثانياً: خطوط المصاحف المغربيّة نظرة تاريخيّة وفنّية.

ثالثاً: دراسة العيّنة الخطّية المعزولة أنموذج الدّراسة.

رابعاً: مراحل التعرّف الآلي على العيّنات الخطيّة المعزولة أنموذج الدّراسة.

وأنهينا البحث بتحليل لنتائجه وعرض لخاتمته مع الإشارة إلى مصادره ومراجعه، التي دلّت عليها الإحالات وأكّدتها المباحث.

---

(١) عمر أفا، محمد المغراوي: الخط المغربي تاريخ وواقع وآفاق، ص٢٩.

(٢) محمد بن سعيد شريفي: خطوط المصاحف عند المشارقة والمغاربة، ص٣٤٢.

أولاً: المدخل:

يشهد البحث في مجال التعرّف الآلي على الحروف (OCR) توسُّعاً كبيراً في السّنوات الأخيرة بنوعيه المباشر وغير المباشر (المتزامن وغير المتزامن)، ولا شكّ أن استعمال مصطلح (التعرّف) بدل (الفهم) مقصود بالفعل، ذلك ما وصلت إليه البحوث إلى حدّ الآن، فلم توفّق بعد في فهم وتمييز حروف الخط المكتوب من قبل الحاسوب، ومعنى ذلك محاولة فكّ رموز الرّسالة المراد تبليغها[١].

وقد وجّهت العناية الأولى من خلال هذا المشروع لخدمة المعاقين بصريا، «وتعزى أوّل محاولة ناجحة في هذا الصّدد إلى العالم الرّوسي تيورين (TYURIN) في عام ١٩٠٠م، وقد تلت ذلك محاولات فورييه دالب (FOURIER DALBE) لصناعة الآلة القارئة للحروف النّاطقة عام ١٩١٢م، والجهاز التّعويضي اللّمسي الذي بناه توماس (THOMAS) عام ١٩٢٦م»[٢].

يستعمل هذا المشروع في المعالجة الآلية للملفّات الإدارية، كالعقود وشهادات الميلاد، والاستبانات والشيكات البنكية والعناوين البريدية، وقد قطع شوطاً كبيراً بالنسبة للغات الأجنبية، لكنّ تطبيقاته في اللّغة العربية رغم الجهود المحمودة لبعض الجهات المختصّة، إلا أنّها تبقى دون المستوى المطلوب.

---

(١) عمر ديدوح: مقاربة توصيفية للتعرّف الآلي على الخط العربي اليدوي، ص١٩٣.

(٢) عاصم عبد الفتاح نبويّ، صبري عبد الله محمود: تمييز حروف اللّغة العربية المكتوبة آلياً باستخدام الشبكات العصبية ذات الانتشار الرجوعي، ص٣.

ويعدّ بحث منصف الشرفي والفريق المشارك معه[١]، بادرة في هذا المجال بالنّسبة للتعرّف على العناوين البريدية باللّغة العربية، والتي اعتمد فيها على تمثيل بيت بيضاوي للكتابة، وكانت النّتائج النّهائية مشجّعة، وقابلة للتّحسين مستقبلاً.

كما حظي هذا المجال بتطبيقات نماذج ماركوف الخفيّة، وبرهنت على نجاعتها في حلّ المشاكل المتعلّقة بالتّقطيع، سواء في الكتابة المطبعية أو اليدوية، بالاتصال المباشر أو غير المباشر[٢]، من جهة أخرى توصّلت البحوث إلى أنّ مرحلة تقطيع الصورة وتجزئتها هي أهمّ مرحلة للوصول بالتعرّف إلى أعلى نسبه، باستعمال خصائص تمييزية كبيرة للصورة أثناء عمليّة تدريب الشّبكات العصبية[٣]، بالإضافة إلى اعتماد بعض الأنظمة للتعرّف على الحروف العربية المطبوعة المعزولة، كتوظيف عزوم زرنيك، التي أعطت نتيجة إيجابية[٤].

ثم تعدّدت الغايات والأهداف، لتشمل مجالا من أهمّ المجالات في العصر الحديث، وهو ترقيم التّراث العربي القديم «فحوالي ثلاثة ملايين وثيقة قديمة من أصل عربي إسلامي موزّعة في أنحاء العالم مخزونة في ظروف غير ملائمة،

---

(١) ينظر منصف الشرّفي وآخرون: التعرّف الآلي على العناوين البريدية المخطوطة بالعربية باستعمال تمثيل بيت بيضاوي للكتابة.

(٢) Najoua Ben Amara, Abdel Belaïd, Noureddine Ellouze: Utilisation des modèles markoviens en reconnaissance de l>écriture arabe: Etat de l'art.

(٣) Zyad M. Shaaban: A New Recognition Scheme for Machine- Printed Arabic Texts based on Neural Networks- p: 469.

(٤) Mustapha Oujaoura, Rachid El Ayachi, Mohamed Fakir, Belaid Bouikhalene, Brahim Minaoui: Zernike moments and neural networks for recognition of isolated Arabic characters.

ويجـد الباحثـون صعوبات كبيرة للاطـلاع عليها، وتكلفـة الوسائل الرّاهنة لخزن هذه الوثائق القديمة باهظة الثّمن، ممّا يجعلها قليلة الاستعمال، لهذا فإنّ استغلال المخطوطات يبقى محدوداً جداً»[١].

وتصبـح الحاجة ملحّة أكثر عندمـا يتعلّق الأمر بالمصاحف القرآنية التي تزخـر بهـا الخزائن والمكتبـات في كل أنحاء العالم، هذا الـتّراث المخطوط الذي «بـذل العرب وسائر الأقـوام جهدا عظيما في توقيره واحترامـه، وأذاعوا نسخه واستخدمـوا كبار الخطّاطين في إظهاره بالمظهـر الجميل اللائق بحيث لا يدانيه كتاب في إتقانه»[٢].

لقـد ظهـرت جهود فرديـة وجماعيـة معتبرة لتطويـر نظم ترقيـم ومعالجة معلومات الوثائق القديمة، كالمشروع الأوروبي (Better Access to Manuscripts and Browsing of Images: BAMBI)[٣]، ومـشروع (Digital accEss to BOoks of the RenAissance: DEBORA)[٤]، الذي يمثّـل منعطفاً حاسماً في مجال رقمنة المكتبات، وهو نظام متكامل للإطلاع الرّقمي لكتب عصر النّهضة الأوروبية، وهو مشروع مشترك بين فرنسا وإيطاليا والبرتغال[٥].

---

(١) منصف الشرفي، وآخرون: إصلاح انحناء وتقوّس الكتابة في صور الوثائق العربية القديمة، ص١.

(٢) عباس العزاوي: خطوط المصاحف الشريفة والخطاط الحسن البغدادي، ص٣٢٦.

(٣) Sylvie Calabretto, Andrea Bozzi, Jean-Marie Pinon: Numérisation des manuscrits médiévaux: le projet européen BAMBI.

(٤) Nicolas Barbey, Jean Guillemain, Géraldine Péoc'h, Patrice Ract: La renaissance du livre ancien: bilan du projet DEBORA et perspectives d'avenir-p: 04.

(٥) M. Charfi, W. Boussellaa, M. Ben Halima, M. Chakroun, S. Rojbi, A. M. Alimi: A new system for digitization and processing the images on Arabic old documents.

وقد اجتمعت مراحل بعض هذه الأنظمة المطوّرة على الخطوات التّالية[١]:

- ما قبل المعالجة (pretreatment).
- التّرميم (restoration).
- ضغط الصورة (compression).
- الفهرسة (indexing).

وهناك مشروعات لترقيم المخطوطات الإسلامية هي في طور الإنجاز، تشرف عليها منظّمة اليونيسكو في إطار برنامجها (ذاكرة العالم)، لكنّها جهود محدودة غير متبوعة بمعالجة وتحليل الوثيقة، وتعدّ المنظومة التي طوّرها فريق وحدة البحث للآليات الذكيّة بتونس[٢]، التجربة الأولى بين الدول العربية في ميدان ترقيم الوثائق العربية القديمة، والخطوات التي تمّ اتباعها (شكل رقم ١) تهيّئ لمراحل أخرى مستقبلية لفهرسة الوثيقة ونشرها على الإنترنت.

أمّا بخصوص التعرّف الآلي على نوعية الخط (Optical Font Recognition OFR) يبقى مهملاً في أغلب الأحيان والدّراسات في هذا المجال بالنّسبة للّغة العربية نادرة، لكثرة أنواع وأساليب الخط المستعمل، حيث يقارب عددها (٤٥٠)[٣].

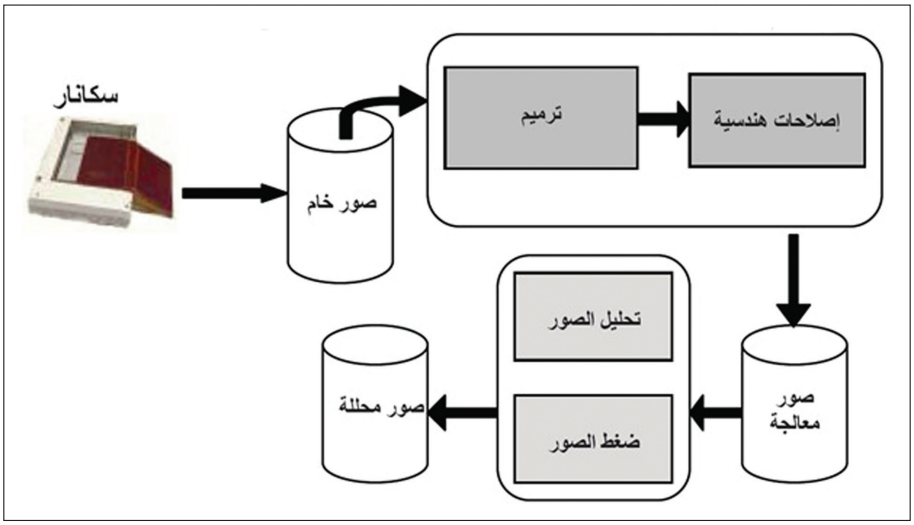
وتبقى البحوث متواصلة في هذا الجانب تستدعي الاهتمام، ولا سيما في الظروف الرّاهنة التي أصبحت فيها التّكنولوجيا سيّدة الموقف في كثير من الأعمال التي تستفيد من هذا المشروع.

---

(١) Abdel Belaïd: Document et contenu: création, indexation, navigationon.

(٢) M. Charfi, W. Boussellaa, M. Ben Halima, M. Chakroun, S. Rojbi, A. M. Alimi: A new system for digitization and processing the images on Arabic old documents.

(٣) S. Ben Moussa, M. Charfi, A. M. Alimi: Method for Optical Font Recognition Using Global Texture Analysis and Based on Fractal Geometry.



شكل (١) سلسلة تحليل ومعالجة الوثائق القديمة

ثانياً: خطوط المصاحف المغربيّة نظرة تاريخيّة وفنّية.

نشأ الخط المغربي بين ثلاث مدارس عريقة، مدرسة القيروان ومدرسة الأندلس ومدرسة المغرب، وقد اشتهر الخط في المدرسة الأولى بالخط الكوفي القيرواني، وفي المدرسة الثّانية بالخط القرطبي المبسوط، وفي الثّالثة بالخط المغربي الكوفي، «واستكمل شكله النهائي في العصر المريني، وبدا متميزاً عن الخط الأندلسي»[١]، واستقرت في هذه الفترة أصناف الخط الخمسة المعروفة[٢]، ما يهمّنا منها المغربي المبسوط الذي استعمل لكتابة المصاحف، مع العلم أن كتابتها في أول الأمر كانت بالخط الكوفي، إذ «ظلّت تكتب وتقرأ بهذا الخط

(١) ينظر عمر أفا، محمد المغراوي: المرجع السابق، ٣٩.

(٢) ذَكَر ستة خطوط اشتهر بها الخط المغربي في نهاية تطوّره هي: الخط الكوفي المغربي، خط الثّلث المغربي، الخط المبسوط، الخط المجوهر، الخط المسند، الخط الزمامي.

حقبة من الدّهر بلغت أربعة قرون، لما لهذا الخط من جمال وجلال، ولما لشكله من روعة تساير عظمة وقداسة القرآن الكريم»[١].

ومن حيث الرّسم فقد حرص المغاربة أشدّ الحرص على «مرسوم المصحف العثماني كما لقنوه وكما رأوه في المصحف الإمام، لما ارتضوا إدخال الشّكل والحروف الزّوائد رسموها بألوان مغايرة لحبر الكتابة، فخصّت الفتحة والضّمة والكسرة والحروف الزّوائد بالحمرة، والسّكون والشّد والوقف بالأزرق، والصّلة بالخضرة والهمز بالصفرة[٢]، ويبدو أنّ كتابة المصاحف المغربية الأولى كانت في الأكثر توافق رسم قراءة الإمام حمزة، التي كانت تغلب على أقطار المغرب، ثم استقرت على قراءة الإمام نافع، من رواية تلميذه ورش»[٣].

قدّم لنا الأستاذ محمد بن سعيد شريفي في دراسته القيّمة الخصائص التي تميزت بها صناعة المصاحف عند المغاربة قديما، نجملها كالآتي[٤]:

- تبتدئ جلّ المصاحف بمربّعين متقابلين بزخارف هندسية مذهّبة وملوّنة محشوّة بأشكال نباتية، ومثلها في آخر المصحف، مع زخرفة الصفحة التي تحمل التّوقيع.
- خصّص لاسم الفاتحة والبقرة وأوائل الأجزاء مستطيلات مزخرفة كتب بداخلها اسم السورة وعدد آياتها، أما بقيّة أسماء السّور فقد كتبت بالكوفي المجرّد من النّقط، وبلون الذّهب.

---

(١) محمد مرتاض: الخط العربي وتاريخه، ص٧٠.

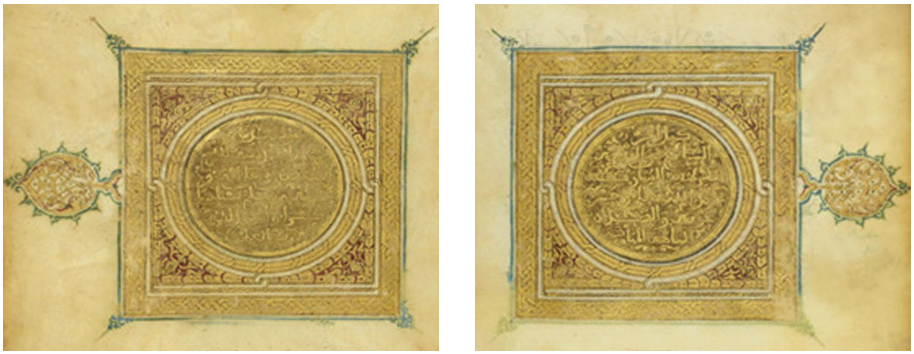
(٢) محمد بن سعيد شريفي: خطوط المصاحف عند المشارقة والمغاربة من القرن الرابع إلى العاشر الهجري، ص٣٤٣.

(٣) محمد منوني: تاريخ المصحف الشريف بالمغرب، ص١٥.

(٤) ينظر محمد بن سعيد شريفي: المرجع السابق، ص٣٤١-٣٤٤.

- رسمت فواصل الآيات والأخماس والأعشار بحليات مذهّبة متباينة، وفي الحواشي طرر مزخرفة متّصلة بأسماء السّور، وأخرى للأحزاب والسّجدات وتجزئات رمضان.

شكل (٢) بداية مصحف مغربي في العهد المريني تاريخه سنة ١٣٤٨-١٣٥٨ محفوظ بالمكتبة الوطنية الفرنسية مصلحة المخطوطات تحت رقم عربي ٤٢٣.



شكل (٣) نهاية جزء من مصحف مغربي في العهد المريني تاريخه سنة ١٣٤٨-١٣٥٨ محفوظ بالمكتبة الوطنية الفرنسية مصلحة المخطوطات تحت رقم عربي ٤٢٣.

شكل (٤) مصحف شريف محفوظ بالخزانة الحسنية بالرباط تحت رقم ٦٠٦ ج يعرف بمصحف الأمير محمد بن عبد القادر ابن السلطان محمد الشيخ السعدي، الخط: مغربي مبسوط، تاريخ النسخ: وقع الفراغ منه بتاريخ أوائل رمضان عام ٩٦٨هـ-١٥٦١م

شكل (٥) مصحف شريف محفوظ بالخزانة الحسنية بالرباط تحت رقم:د ١٣٣٠. الخط: مغربي مبسوط. الناسخ: أبو زيان محمد بن أبي حمو موسى الثاني سلطان المغرب الأوسط المتوفى سنة ٨٠٥هـ-١٤٠٢م، مكان النسخ: تلمسان، تاريخ النسخ: عام ٨٠١ هـ/٩٨-١٣٩٩م

شكل (٦) مصحف شريف محفوظ بالخزانة الحسنية بالرباط تحت رقم ٦٤٩، الخط: أندلسي مبسوط

ثالثاً: دراسة العيّنة الخطية أنموذج الدّراسة:

يُعَد الخط المبسوط أكثر الخطوط المغربية راحة للعين بأحرفه اللّينة المستقيمة، ويتميّز بالوضوح وبسهولة القراءة، وهو أشهر أنواع الخطوط المغربية، وقد استعمل قديماً في كتابة المصاحف الكريمة وكُتب الأدعية والصلوات[١].

أما بخصوص قواعد رسمه فليس للخط المغربي «قواعد قياسية مضبوطة، على شاكلة الخطوط المشرقية التي ضبطت بمقاييس نقطية استجابة لنظريّة الخط المنسوب التي وضع أسسها ابن مقلة (ت ٣٢٨هـ) »[٢]، إذ لم تشتهر رسائل في هذا الفنّ، رغم وجود مدارس لتحفيظ القرآن الكريم وتعليم الخط، وطريقة تدريس الكتابة بأسطر كاملة تدلّ على تجنّب الدّقة في رسم أجزاء الحروف[٣].

وقد تمّ الشروع في عمليّة تقعيد الخط المبسوط، «لأنه أكثر الخطوط المغربية استقامة وامتداداً، وبريادة المرحوم العلامة محمد المنوني تم الاقتراح على عدد من الخطّاطين لإنجاز محاولات تُظْهر رؤاهم لهذا العمل، فقدّم بعضهم نماذج لضبط مقاييس الحروف بالنّقط بناء على نفس الطريقة المستعملة في مقاييس الخطوط المشرقية»[٤].

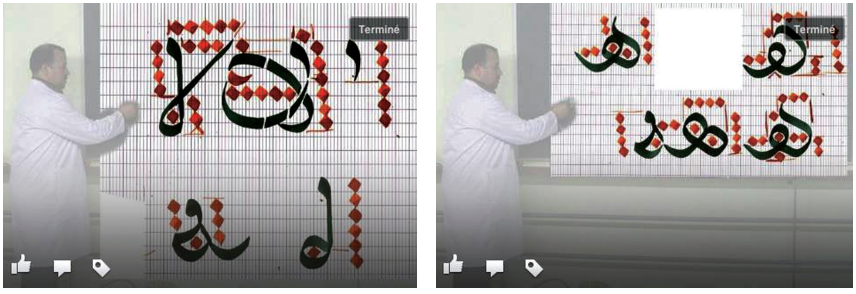
لكنّنا نجد بالمقابل في الخط المغربي حضور نوع آخر من المقاييس، وهي المقاييس البصرية التي تعتمد على احترام شكل الحرف ونسبته بين الحروف، وانسجامه التركيبي وحيويته التّشكيلية[٥].

---

(١) عمر أفا، محمد المغراوي: المرجع السابق، ص٥٨.
(٢) المرجع نفسه، ص٥٦.
(٣) محمد بن سعيد شريفي: المرجع السابق، ص٣٤٢.
(٤) عمر أفا، محمد المغراوي: المرجع السابق، ص١٦٩.
(٥) المرجع نفسه، ص٥٦.

وحرف الهاء من الحروف المهملة النّقط، وتكتب في الخطّ المغربي المبسوط بعدّة أشـكال حسب موقعها في الكلمة مفردة أو متّصلة بما قبلها أو متّصلة بما بعدهـا أو متّصلة بما قبلها وما بعدهـا، والمخطّط الموالي يبيّن لنا محاولة تقعيد لهـذا الحرف في الخط المغربي المبسوط استناداً إلى الوثائق المغربية القديمة، من إعداد الخطّاط المغربي عبد الله حمين.

شكل (٧) شرح لمراحل رسم الهاء بالخط المبسوط بقلم الخطاط المغربي عبد الله حمين



شكل (٨) نموذج من أشغال عملية تقعيد الخط المبسوط للخطاط المغربي عبد الله حمين

رابعاً: مراحل التعرّف الآلي على العيّنات الخطيّة المعزولة أنموذج الدّراسة:

لاختبار فعاليّة البرنامج المقترح، قمنا بجمع عيّنات خطية للحرف في جميع مستوياته الكتابية (٢٤٢ صورة)، وأخضعناها للمعالجة قصد استخراج الخصائص التّمييزية، ثمّ تدريب الشّبكات العصبية على هذه الخصائص.

إنّ عمليّة المعالجة الآلية للصّورة لها طرق متنوّعة ومراحل متعدّدة وفيما يخصّ الطّريقة المقترحة في هذا البحث فهي تعتمد لغة البرمجة (MATLAB)، وهي لغة اصطناعية كغيرها من لغات البرمجة.

المرحلة الأولى (ما قبل المعالجة)	المرحلة الثانية (المعالجة)	المرحلة الثالثة (ما بعد المعالجة)
استقبال الصورة وتهيئتها	التّقطيع واستخراج الخصائص	التّصنيف والتعرّف

الجدول رقم (١) الخطوات الإجرائية المتّبعة في هذا العمل

١. المرحلة الأولى (ما قبل المعالجة):

استقبال الحروف العربية وتخزينها في ذاكرة الحاسوب:

تمّت عملية المسح الضوئي بجهاز السكانر (DCP-195C) وبدرجة انحلال ٦٠٠ نقطة لكل إنش (dpi)، قمنا بتخزين الصّور داخل ذاكرة الحاسوب على الشّكل التّالي:

حرف الهاء في أوّل الكلمة حرف الهاء في وسط الكلمة حرف الهاء في آخر الكلمة

مرحلة قلب مصفوفات الصورة الضوئية (Inversion pixels):

تتمثّل هذه المرحلة في قلب مصفوفات الصورة الضوئية وذلك بتحويل النّقط البيضاء إلى نقط سوداء والعكس، تسهيلاً منّا لنقلها إلى مرحلة ما قبل المعالجة.

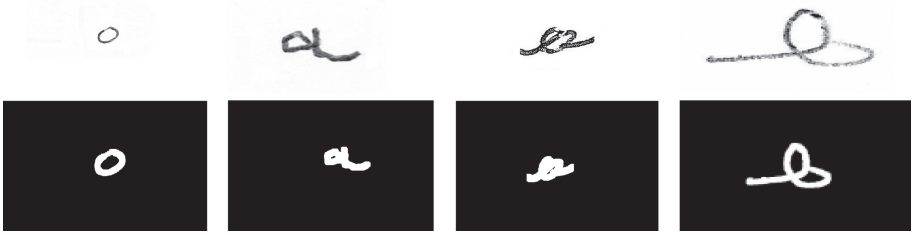
مرحلة التّرشيح (Filtrage):

تهدف هذه المرحلة إلى تهيئة صورة الهاء لتسهيل معالجتها داخل الحاسوب، وذلك بإزالة جميع الشّوائب الطّارئة، وهي عبارة عن معلومات زائدة مزاحمة للمعلومات الأصلية في الصورة، فقد تكون عبارة عن نقط سوداء وخطوط عشوائية ليس لها وظيفة في شكل الحرف ويمكن تعديل هذه المعلومات وإزالة شوائبها بعدّة طرق وذلك بحسب درجتها في الصّورة.

٢. مرحلة المعالجة (التّقطيع واستخراج الخصائص):

التّقطيع (Segmentation):

باستعمال عدّة مؤثّرات (Opérateurs) في الصّورة، والمؤثّر (Deriche canny) الأكثر استعمالا في معالجة الصورة، والأدق حساسية للشّوائب، والأكثر دقّة في تحديد محيط وحجم ومساحة الحرف لتسهيل عملية التّقطيع وإنجاحها.



شكل (٩) مرحلة التقطيع

استخراج الخصائص:

بالرّغم من وجود العديد من الصّفات المميّزة والتي يتمّ استخدامها في عمليّة التعرّف إلّا أنّ الصّفات التّالية (١٢ صفة) هي التي قد تم استعمالها في هذه المرحلة:

١. حساب المحيط:

شكل (١٠) حساب المحيط

٢. حساب مركز ثقل الصورة:

$$C_i = \frac{\Sigma x}{N*M} \quad \textbf{et} \quad C_i = \frac{\Sigma y}{N*M}$$

شكل (١١) حساب مركز الثقل

٣. حساب فرق المسافة بين مركز الثّقل ونقط المحيط:

$$m = \sqrt{\left|(x^2 - c_i^2) + (y^2 - c_j^2)\right|}$$

إحداثيات نقطة من المحيط	x
	y
إحداثيات مركز الثّقل	c_i^2
	c_j^2

حجم الصورة	$N.M$
مركز الثّقل	c_i

٤، ٥. حســاب المسافة بين مركز الثّقل وأعلى وأسفل نقطة من المحيط بالنسبة للصورة:

شكل (١٢) حساب المسافة بين مركز الثّقل وأعلى وأسفل نقطة من المحيط بالنسبة للصورة

٦، ٧. حســاب المســافة بين مركز الثّقل وأوّل وآخر نقطة من المحيط بالنسبة للصورة:

شكل (١٣) حساب المسافة بين مركز الثقل وأول نقطة وآخر نقطة من المحيط بالنسبة للصورة

٨، ٩. حساب النّسبة بين فرق ومجموع الصورة الأصلية والصورة المعكوسة:

شكل (١٤) حساب النّسبة بين فرق ومجموع الصورة الأصلية والصورة المعكوسة

١٠. حساب نسبة التّناظر المركزي للصورة بدرجة دوران ١٨٠°:

شكل (١٥) حساب نسبة التّناظر المركزي للصورة بدرجة دوران ١٨٠°

١١. حساب نسبة التناظر المحوري الأفقي للصورة:

شكل (١٦) حساب نسبة التّناظر المحوري الأفقي للصورة

١٢. حساب نسبة التّناظر المحوري العمودي للصورة:

شكل (١٧) حساب نسبة التّناظر المحوري العمودي للصورة

٣. مرحلة ما بعد المعالجة (التّصنيف والتعرّف):

ميكانيكية تعلم الكتابة في الدماغ البشري:

تُعَـدُ المنظومة العصبية للإنسان «أعقد المنظومات العصبية على الإطلاق، والـتي يتركّز معظمهـا في المخّ البشري الّذي يتميّز بطبيعـة عمل أدّت إلى تفوّق الإنسان على سائر المخلوقات الأخرى في قدرات التفهّم، التعرّف على الأشـكال والرّموز، التعلّم، التحدّث، التذكّر، الإدراك، السّيطرة الدقيقة على الجهاز الحركي، ومـا إلى ذلـك من العديد من الصّفات والقدرات التي لا يستطيع أي كائن آخر غير الإنسان الوصول إليها»[١].

كمـا يعـرّف الذّكاء البشري بأنّه «المقدرة والمهـارة على وضع وإيجاد الحلول للمشكلات باستخدام الرّموز، وطرق البحث المختلفة ومعالجة المعرفة. ونظراً لأهميـة الذّكاء البشري فإنّ الإنسان كان ولا يزال دائم البحث عن طبيعة هذا الذّكاء، وكيـف يمكـن قياسه ووضع الخطوات لمحاكاة أساليبه في شـكل برامج باستخدام الحاسبات»[٢].

يولي الباحثون في علم النّفس المعرفي أهمية كبيرة للمبادئ التي يعمل بها العقل وكيف يعمل، أي طريقته في إحراز المعرفة وتحصيلها وحفظها وتحويلها واستخدامها في إصدار واتّخاذ القرار في أداء النّشـاط العقلي، كما يتحدّد هذا الاهتمـام أساسا في البحث عن الوظائـف العقلية العليا على رأسها الإدراك[٣]،

(١) محمد علي الشرقاوي: الذكاء الاصطناعي والشبكات العصبية، ص٢٢.
(٢) المرجع نفسه، ص٢٣.
(٣) فوقية عبد الفتاح: علم النّفس المعرفي بين النظرية والتطبيق، ص٣٩.

الّذي يعـدّ بـدوره مقرّراً فيسيو نفسيا للتعلّم، ويُعَـد «جوهريا للوجود الإنساني وهو الصّخرة الصّلدة التي ترتكز عليها نظريّات علم النّفس»[١].

تقوم الخليّة العصبية المفكّرة (المثارة) بثلاث وظائف رئيسة[٢]:

٤. استقبـال الرسائل العصبية من الخلايا الأخـرى بواسطة منطقة الاستقبال أو الإدخال بالشعيرات الهيولية الدّقيقة.

٥. دمج ومعالجة الرّسائل العصبية المختلفة الواردة إليها من الخلايا أو المناطق الدّماغيـة الأخـرى للحصول على رسالـة موحّدة مفيـدة للسّلوك الإنساني بواسطة منطقة المعالجة الخلوية داخل جسم الخليّة نفسها.

٦. توجيـه الخلايـا العصبيـة المعالجـة إلى الخلايـا والمناطق الدّماغيـة المعيّنة الأخرى بواسطة منطقتي الضّخ والإخراج الأكسونية.

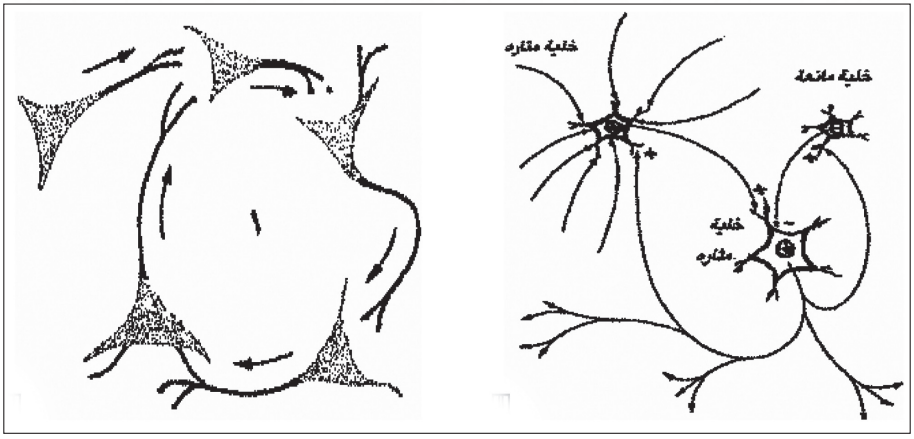
ويؤكّـد «دونـالد هـب (Donald Hep) عالـم النّفـس الأمريكـي بـأنّ إحساس الفرد بمعرفة أو مفهوم أو خبرة تثير لديه ما يسمّى بـ: الجعبة العصبية (Neural Package)؛ فإدراك حرف الهاء مثلا (إثارة بصرية) ينشّط في الدّماغ أنواعا متعدّدة من الخلايا تخصّ شكل حرف الهاء ومواصفاته (خلايا بصرية) واسمهـا (خلايا التّسمية)، ثم الانطبـاعات الفكرية النّفسية المرتبطة بحرف الهاء والتي تحفّز الفرد لكتابة الحرف أوّلا (استجابة حركية) يكون التّحفيز على الكتابة حينئذ في المنطقة النّفسية في الصّدع الأمامي من الدّماغ»[٣].

---

(١) علي حسين حجاج، عطية محمود: نظريات التعلّم دراسة مقارنة، ص١٥.

(٢) المرجع نفسه، ص١٣.

(٣) محمـد زياد حمدان: الدمـاغ والإدراك والذكاء والتعلم دراسة فيسيولوجيـة لماهيتها ووظائفها وعلاقاتها، ص٢٨.



شكل (١٨) خلية عصبية مثارة

شكل (١٩) تمثيل بياني لجعبة عصبية

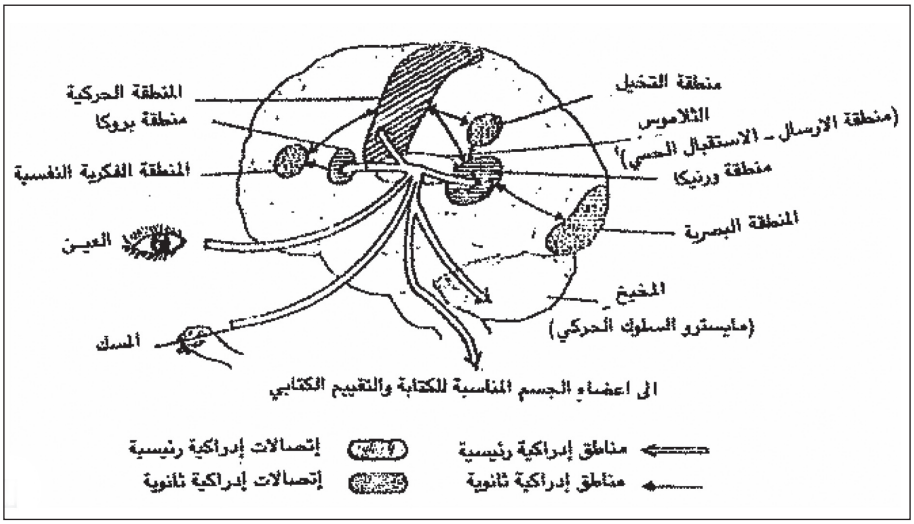
وفيما يلي مثال توضيحي لعملية إدراك الكتابة في الدّماغ البشري[١]:

تلتقـط العين ذبذبـات الطّاقة الضّوئية الصّادرة عن المـادّة اللّغوية للتعلّم وكذلك اليد لذبذبات الضّغط الميكانيكية لها.

- تكوّن الأعصاب الحسّية للعين واليد السّيالة العصبية الممثّلة لمادّة التعلّم الكتابية.
- يستقبـل الثلاموس السّيالـة العصبية الحسّية المركّبة ثـمّ يرسلها للمناطق اللّغوية (منطقة الكلام الحسّي ومنطقة الكلام الحركي).
- تستوعب أو ترفض المناطق اللّغوية والحركية بالتّعاون مع المنطقة البصرية ومناطـق التخيّل والمناطق الفكرية النّفسية السيالة العصبية اللّغوية لمادّة التعلّم المكتوبة.

(١) ينظر محمد زياد حمدان: نحو نظرية فيسيو نفسية حديثة للذكاء والتعلم، ص٣٤.

- ترسل المناطق اللّغوية بالتنسيق مع المخيخ الرّسالة العصبية المناسبة للثّلاموس ومن ثمّ لأعضاء الجسم المعيّنة.

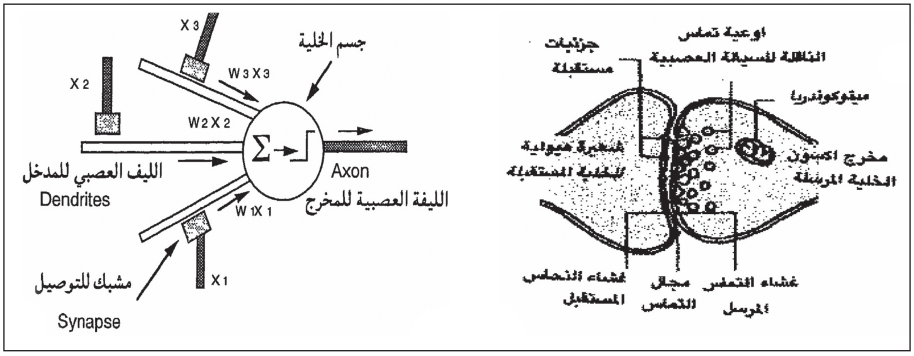


شكل (٢٠) رسم توضيحي لعملية إدراك الكتابة في الدماغ البشري

ميكانيكية التعلّم في الشّبكات العصبية الالكترونية:

تمّ تطوير نموذج عنصر حسابي (Processing Element) مكافئ للنيرون الطّبيعي والموضح في (الشكل رقم ٢٢)، والّذي «يمثّل عنصر المعالجة الّذي يقوم بعمل محاكاة النّيرون الطّبيعي من تجميع للإشارات الموزنة عند المدخل (X) ثمّ مقارنة المجموع بقيمة حدّية داخلية، حيث يعطي عنصر المعالجة نبضة في المخرج (XW) إذا زاد المجموع عن القيمة الحدّية ولا يعطي أيّ نبضات إذا كان أقلّ منها، ولقد استخدم عنصر المعالجة في بناء الشّبكات العصبية الإلكترونية»[١].

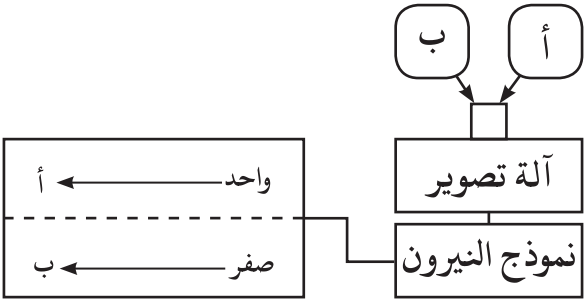
(١) محمد علي الشرقاوي: المرجع السابق، ص٢٥٩.



شكل (٢١) مشبك عصبي

شكل (٢٢) النّمذجة الرّياضية لعمل العصبون الطّبيعي

وبدراسة النّموذج الحسابي للنّيرون، نجد أنّه من المناسب أن نجعله يتعلّم من أخطائه وذلك بإعطائه في البداية أوزان عشوائية عند المدخل، ثمّ يقوم بعملية الجمع الموزن للمداخل ثمّ مقارنة المجموع بالقيمة الحدّية، فإذا كان المجموع أكبر بالقيمة الحدّية فإنّ الخرج سيكون الواحد الصحيح (١+)، ويصبح التعرّف على الحرف (أ) ممكنا، وإذا كان المجموع أقلّ من القيمة الحدّية فإنّ الخرج يكون (صفرا) ولا يتمّ التعرّف[١].



شكل (٢٣) تمثيل لكيفية تدريب الشّبكات العصبية

(١) محمد علي الشرقاوي: المرجع السابق، ص: ٢٧٦.

رابعاً: تحليل النّتائج:

لبناء قاعدة المعطيات اعتمدنا على ثلث العيّنات الموضوعة للدّراسة للتّدريب، وللاختبار الثّلثين المتبقى، مع الاحتفاظ بنفس عدد الخصائص التّمييزية المشار إليها سابقا في التّدريب والاختبار.

العينةالإجمالية	عدد الأصناف	كل صنف يحتوي	عيّنة التّدريب لكلّ صنف	عيّنة الاختبار لكلّ صنف
٢٤٢ صورة	٤ أصناف	٦٠ صورة	٣/١=ثلث=٢٠ صورة	٣/٢=ثلثين=٤٠ صورة

وبعد عدّة محاولات مع قيم المداخل، ومع التّغيير في كل مرّة عدد النّيرونات وعدد الطّبقات الخفيّة، بعدد تكرار (٥٠٠٠) وبدالة خطئ مسموح تساوي، ٤-١٠، تحصّلنا على النّتائج (الخرج المطلوب مقارنة مع الخرج الحقيقي)، ممثّلة في الجدول كالآتي:

نسبة التعرّف المتحصّل عليها	عدد الطّبقات الخفيّة	وقت التّدريب
٪٤٩,٠٥	طبقة خفية واحدة تحتوي على ٨ نيرونات	دقيقة واحدة

خاتمة

لكلّ أمّة من الأمم خطٌّ يميّزها عن سائر الأمم، وقد تفنّن المغاربة في كتابة مصاحفهم وأجادوا في ذلك، فظهرت بأسلوب رفيع يُظْهر ذوقهم وفنّهم ومدى تفوّق حضارتهم.

وحرصاً منّا على حماية هذا التّراث الهام، جاء هذا العمل تطويراً وامتداداً لبحوث سابقة في مجال حوسبة الحرف العربي المخطوط، وقفنا فيه على عينة خطّية مختارة، وكانت نتيجته التّقنية مشجّعة، هذا ما يؤكّد فعاليّة النّظام مع هذا النّوع من الحروف المهملة النّقط، وكان من نتائجه ما يلي:

- مرحلة التّقطيع من أهمّ مراحل البحث التي ساعدت على استخراج الخصائص، لكنّ هذه الخصائص تبقى دون المستوى المطلوب الذي يسهّل عمليّة التّصنيف.
- ساهمت الشّبكات العصبية الإلكترونية في التّعرف على الحروف نسبيا، لكنها قابلة للدّعم مع أنظمة أخرى كسلاسل ماركوف الخفية والمنطق الضبابي، للرّفع من نسبة التعرّف.
- تبيّن من خلال هذا البحث أن الخطوة الأساسية اللاحقة في التعرّف على الكتابة العربية هي التعرّف على المقطع، للتّشابه الحاصل بين أشكال بعض الحروف، كما هو الشّأن بالنّسبة لحرفي الهاء في الأوّل ووسط الكلمة، وحرفي الهاء في آخر الكلمة.

- وأخيراً نشـير إلى أهمّية هذا العمل، الذي لا يمكن بأي حال من الأحوال أن يتحقّـق بجهد فرد واحد، بل هـو مسؤولية كل الأطراف من حاسوبيين ولغويين ومكتبيين ومؤرخين وعلماء دين وغيرهم، وبذلك فإنّنا سنساهم في عمـل حضـاري، يفتح مجـال الشراكة مع مؤسسـات حكومية وخاصّة، تستفيـد من هذا المشروع في خدمة القرآن الكريـم، الذي وَعَد الله تعالى بحفظـه إلى أن يرث الأرض ومن عليها، وجعل من أمّة نبيّه محمد ﷺ خير أمّة أخرجت للنّاس، تحمل رسالته وتعمل بمحكمه.

قائمة المصادر والمراجع

الكتب المطبوعة:

١. أنطوان زكري: مفتاح اللّغة المصرية القديمة وأنواع خطوطها وأهمّ إشاراتها ومبادئ اللّغتين القبطية والعبريّة، مكتبة مدبولي، مصر، ط١، ١٤١٧هـ-١٩٩٧م.

٢. خالد قطيش: الخطّ العربي وآفاقه وتطوّره، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، د. ط، ١٩٨٦م.

٣. سليمان بن عبد الرحمن الذييب: قواعد اللغة النبطية، مكتبة الملك فهد الوطنية، ط٢، الرياض، المملكة العربية السعودية، ١٤٣٢هـ-٢٠١١م.

٤. شعبان عبد العزيز خليفة: الكتابة العربية، دار الثقافة العلمية، مصر، د. ط، د. ت.

٥. عمر أفا، محمد المغراوي: الخط المغربي تاريخ وواقع وآفاق، مطبعة النجاح الجديدة، الدار البيضاء، ط١، ٢٠٠٧م.

٦. فوقية عبد الفتاح: علم النّفس المعرفي بين النّظرية والتطبيق، دار الفكر العربي، مصر، د. ط، ١٤٢٦هـ-٢٠٠٥م.

٧. محمد بن سعيد شريفي: خطوط المصاحف عند المشارقة والمغاربة من القرن الرّابع إلى العاشر الهجري، الشركة الوطنية للنشر والتوزيع، الجزائر، ط١، ١٩٨٢م.

٨. محمد حماد: تعلّم الهيروغليفية لغة مصر القديمة وأصل الخطوط العالمية، الهيئة المصرية العامة للكتاب، مصر، ط١، ١٩٩١م.

٩. محمد مرتاض: الخط العربي وتاريخه، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، ط١، ١٩٩٤م.

١٠. يحيى وهيب الجبّوري: الخط والكتابة في الحضارة العربية، دار الغرب الإسلامي، لبنان، ط١، ١٩٩٤م.

الدّوريات:

١١. بكر عبد الله خورشيد، محمد مساعدي، سليمة يحياوي: حوسبة الحرف العربي حرف الميم المعزولة بخط النّسخ أنموذجاً، المؤتمر العلمي الدولي الأول للّغات، كلية الآداب واللغات، جامعة الموصل، العراق، ٢٢ آذار٢٠١١م.

١٢. عاصم عبد الفتاح نبويّ، صبري عبد الله محمود: تمييز حروف اللّغة العربية المكتوبة آلياً باستخدام الشّبكات العصبية ذات الانتشار الرجوعي، مجلة جامعة الملك سعود، المجلّدة ٩، علوم الحاسب والمعلومات، الرياض، ١٤١٧هـ-١٩٩٧م.

١٣. عباس العزاوي: خطوط المصاحف الشريفة والخطاط الحسن البغدادي، مجلة المجمع العلمي العراقي المجلد الثامن، ١٣٨٠هـ-١٩٦١م.

١٤. عمر ديدوح: مقاربة توصيفية للتعرّف الآلي على الخط العربي اليدوي، الأثر، مجلّة الآداب واللّغات، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، العدد السادس، مايو، ٢٠٠٧م.

١٥. محمد المنوني: تاريخ المصحف الشريف بالمغرب، دعوة الحقّ، مجلة شهرية تصدر عن وزارة الأوقاف والشؤون الإسلامية، الرباط، المغرب، العدد الرابع، شعبان/رمضان ١٤٠١هـ، يونيو/يوليو ١٩٨١م.

المؤتمرات:

١٦. منصف الشرفي، وفاء بوصلاعة، محمد عادل العليمي: إصلاح انحناء وتقوّس الكتابة في صور الوثائق العربية القديمة، المؤتمر الدولي الرابع لممارسات علوم الحاسب، الدّوحة، قطر، ٤/١ إبريل ٢٠٠٨م.

١٧. منصف الشّرفي، منجي خير الله، عبد الكريم البعتي، محمد عادل العليمي: التعرّف الآلي على العناوين البريدية المخطوطة بالعربية باستعمال تمثيل بيتا بيضاوي للكتابة، المجلة العربية لعلوم وهندسة الحاسوب، العدد الأول، ط١، ٢٠٠٧م.

السّلسلات:

١٨. علي حسين حجاج، عطية محمود: نظريّات التعلّم دراسة مقارنة، سلسلة عالم المعرفة، العدد ٧٠، أكتوبر ١٩٨٣م.

١٩. محمد زياد حمدان: الدّماغ والإدراك والذكاء والتعلّم دراسة فيسيولوجية لماهيتها ووظائفها وعلاقاتها، سلسلة المكتبة التربوية السريعة- الرسالة ٤٩، دار التربية الحديثة، عمان، الأردن، ١٤٠٦هـ-١٩٨٦م.

٢٠. نحو نظرية فيسيو نفسية حديثة للذكاء والتعلّم: سلسلة المكتبة التربوية السريعة، الرّسالة ٥١، دار التربية الحديثة، عمّان، الأردن، ١٤٠٦هـ-١٩٨٦م.

٢١. محمد علي الشّرقاوي: الذّكاء الاصطناعي والشّبكات العصبية، سلسلة علوم وتكنولوجيا حاسبات المستقبل، مطابع المكتب المصري الحديث، د. ط، د. ت.

المراجع باللغة الأجنبية:

22. Abdel Belaïd: Document et contenu: création, indexation, navigation- CNRS-Département Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication Réseau thématique pluridisciplinaire, Février 2004.

23. M. Charfi, W. Boussellaa, M. Ben Halima, M. Chakroun, S. Rojbi, A. M. Alimi: A new system for digitization and processing the images on Arabic old documents, The 3rd International Conference on Computer Science Practices in Arabic (CSPA <06) , Co-Located with the ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA'06) , Dubai-Sharjah, 08-11 march 2006, philips publishing, pp: 189-205.

24. Mustapha Oujaoura, Rachid El Ayachi, Mohamed Fakir, Belaid Bouikhalene, Brahim Minaoui: Zernike moments and neural networks for recognition of isolated Arabic characters, International Journal of Computer Engineering Science (IJCES) , Volume 2 Issue 3, March 2012.

25. Najoua Ben Amara, Abdel Belaïd, Noureddine Ellouze: Utilisation des modèles markoviens en reconnaissance del'écriture arabe: Etat de l'art, www. loria. fr/~abelaid/publis/cifed00_najoua. pdf

26. Nicolas Barbey, Jean Guillemain, Géraldine Péoc'h, Patrice Ract: La renaissance du livre ancien: bilan du projet DEBORA et perspectives d'avenir, DCB 11, Mémoire de recherche, 2002.

27. S. Ben Moussa, M. Charfi, A. M. Alimi: Method for Optical Font Recognition Using Global Texture Analysis and Based on Fractal

Geometry, the 4th International Conference on Computer Science Practice in Arabic (CSPA'08) , Co-Located with the ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications AICCSA'08, Doha Qatar, 1-4 April 2008.

28. Sylvie Calabretto, Andrea Bozzi, Jean-Marie Pinon: Numérisation des manuscrits médiévaux: le projet européen BAMBI, Actes du colloque Vers une nouvelle érudition: numérisation et recherche en histoire du livre, Lyon, décembre, 1999.

29. Zyad M. Shaaban: A New Recognition Scheme for Machine, Printed Arabic Texts based on Neural Networks, World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol: 17, 2008.

فهرس الموضوعات

الموضوع	الصفحة
ملخص البحث	٢٧٢١
مقدمة	٢٧٢٣
أولاً: المدخل	٢٧٢٥
ثانياً: خطوط المصاحف المغربية: نظرة تاريخية وفنية	٢٧٢٩
ثالثاً: دراسة العينة الخطية، أنموذج الدراسة	٢٧٣٤
رابعاً: مراحل التعرف الآلي على العينات الخطية المعزولة، أنموذج الدراسة	٢٧٣٦
الخاتمة	٢٧٤٧
قائمة المصادر والمراجع	٢٧٤٩