الخوارزمية ورسم الحروف في اللغة العربية: دراسة أكاديمية في ضوء علوم الحاسوب واللسانيات الحاسوبية

المقدمة

يشهد العالم اليوم تطورًا هائلًا في مجال الحوسبة والذكاء الاصطناعي، الأمر الذي جعل التعامل مع اللغات الطبيعية جزءًا أساسيًا من التطبيقات الرقمية. وتأتي اللغة العربية في مقدمة اللغات التي تتطلب معالجة خاصة نظرًا لخصائصها الكتابية والصوتية الفريدة. ومن بين أبرز التحديات التي تواجه الباحثين والمبرمجين في هذا المجال :**خوارزميات رسم الحروف العربية**، لما تتميّز به من اتصال، وتغيّر شكلي بحسب الموقع، واستضافة العلامات الإعرابية، وتعقيد البنية الحرفية.
يهدف هذا المقال إلى تحليل العلاقة بين **الخوارزمية** كمدخل رياضي-حاسوبي، و**رسم الحروف العربية** كعملية لغوية-فنية، وذلك من خلال عرض الإطار المفاهيمي، والآليات التقنية، والنماذج المعتمدة، والتحديات، والحلول المعتمدة في التطبيقات الحديثة.

المبحث الأول: مفهوم الخوارزمية وعلاقتها بمعالجة اللغة

تُعرَّف الخوارزمية بأنها مجموعة مرتّبة من الخطوات القابلة للتنفيذ تُبنى لحل مشكلة محددة. وتُعدّ الخوارزميات العمود الفقري لعلوم الحاسوب، سواء في التحليل أو التصنيف أو البحث أو التنبؤ.

وتزداد أهمية الخوارزميات عندما تكون موضوعاتها مرتبطة بحقول لغوية، إذ تتحوّل اللغة من نظام بشري طبيعي إلى **كائن رقمي** يحتاج إلى قواعد دقيقة كي يفهمه الحاسوب. وهنا تظهر إشكالية رسم الحروف العربية، التي تمثل أول خطوة في عملية المعالجة اللغوية بدءًا من:

- تصنيف الحروف
- التنسيق الشكلي
- التعرّف البصريOCR
- التشكيل
- التصحيح الإملائي
- إنتاج النصوص العربية آليًا

كل هذه العمليات تبدأ بخوارزميات ضبط الرسم الحرفي.

المبحث الثاني: الخصائص اللسانية لرسم الحروف العربية

تتّسم الكتابة العربية بخصائص تجعل بنية الحرف أكثر تعقيدًا مقارنة باللغات اللاتينية، ومن أهمها:

1.اتصال الحروف

تتصل معظم الحروف بشكل طبيعي، مما يجعل الكلمة وحدة متصلة.

2.تعدد أشكال الحرف الواحد

لكل حرف أربعة أشكال:

- منفصل
- أولي
- وسطي
- نهائي

مثال: (ب – بـ – ـبـ – ـب).

3.اتجاه الكتابة

تُكتب العربية من اليمين إلى اليسار، وهذا يتطلّب خوارزمية مختلفة عن خوارزميات النصوص اللاتينية.

4.الحركات والضبط

الفتحة والضمة والكسرة والسكون والتنوين علامات إضافية تُرسم فوق الحرف أو تحته، مما يؤدي إلى "طبقة كتابية مزدوجة."

5.الحروف غير المتصلة

بعض الحروف لا تتصل بما بعدها، مثل:
)ا، د، ذ، ر، ز، و.(
وتُعدّ هذه الخاصية مصدرًا مهمًا لتمييز السياقات الخوارزمية.

المبحث الثالث: خوارزميات رسم الحروف – النموذج التقليدي

تعتمد الخوارزميات التقليدية على معالجة قائمة ثابتة من قواعد الاتصال والانفصال. وتتكون الخوارزمية الأساسية من الخطوات التالية:

1.إدخال النص الخام

إدخال الحروف العربية كما هي دون تشكيل أو مع إضافة الحركات.

2.تحديد نوع كل حرف

هل هو قابل للاتصال أم غير قابل؟
هل يتصل بما قبله أو بعده؟

3.تحديد الموقع السياقي للحرف

إن كان الحرف في بداية الكلمة، يُعطى الشكل الأولي.
إن كان محصورًا بين حرفين متصلين، يُعطى الشكل الوسطي.
إن كان آخر حرف في كلمة، يُعطى الشكل النهائي.

4.استرجاع الشكل الحرفي المناسب من قاعدة البيانات

تحتوي القاعدة على آلاف الرموز الرسومية للحروف.

5.رسم الكلمة وفق القواعد

مثال توضيحي على خوارزمية رسم كلمة "كتاب"

1. ك = حرف يتصل + في أول الكلمة ← شكل أولي
2. ت = حرف يتصل + بين حرفين ← شكل وسطي
3. ا = غير متصل بما بعده ← شكل وسطي
4. ب = آخر الكلمة ← شكل نهائي

المبحث الرابع: الخوارزميات الحديثة لرسم الحروف (الذكاء الاصطناعي)

شهد العقد الأخير تطورًا كبيرًا في استخدام **التعلّم العميق** في رسم الحروف والتعرّف عليها، ومن أهم التقنيات المستخدمة:

1.الشبكات العصبية الالتفافية(CNN)

تستخدم في:

- التعرّف على الحروف
- OCR
- تصنيف الخطوط العربية الرقمية

2.الشبكات العصبية العميقة(DNN)

تساعد في تحسين دقة رسم الحروف وإعادة بنائها.

3.خوارزميات التعلّم العميق التوليدي(GAN – Transformers)

تستخدم في:

- توليد خطوط عربية رقمية
- تشكيل النصوص
- إعادة ترميم النصوص المخطوطة

4.خوارزميات تتبع الاتجاه(Bidirectional LSTM)

مهمة جدًا لأن العربية تُقرأ من اليمين إلى اليسار.

5.خوارزميات التحويل السياقيContextual Rendering

وهي الأحدث، حيث لا تعتمد على قواعد ثابتة، بل تتعلم عبر ملايين الأمثلة.

المبحث الخامس: التحديات التقنية في رسم الحروف العربية

تتمثل أبرز التحديات في:

1. تعدد الخطوط العربية

(النسخ – الرقعة – الديواني – الثلث – المغربي...)
كل خطّ له قواعد رسم مختلفة، مما يتطلّب قواعد متعددة.

2. التوزيع الطباعي للحركات

وجود حركة فوق الحرف وأخرى تحت يجعل عملية الترصيف معقدة.

3. السياق الإعرابي

حرف واحد قد يتغير رسمه بالحركة مثل (إعراب التنوين).

4. الحروف القريبة شكليًا

مثل:
ب – ت – ث
ج – ح – خ
د – ذ
ص – ض
وقد تسبب هذه التقاربات أخطاء OCR.

5. كتابة العربية في البرمجيات الغربية

العديد من الأنظمة بنيت للغات اليسارية، مما يجعل دمج العربية بحاجة إلى محركات خط خاصة.

المبحث السادس: التطبيقات التكنولوجية المعتمدة على الخوارزمية

1. محركات الخط العربي (Arabic Rendering Engines)

مثل:
HarfBuzz – Uniscribe – Pango
وهي المسؤولة عن ربط الحروف.

---

2. التعرف البصري على الحروف OCR

تستخدم في:

- رقمنة الكتب التراثية
- تحويل المخطوطات إلى نصوص قابلة للبحث
- التعرف على النصوص في الصور

3.التعليم الإلكتروني

خوارزميات تُعلّم الأطفال كتابة الحروف خطوة بخطوة.

4.الطباعة الرقمية

إنتاج خطوط عربية متوافقة مع الويب.

5.معالجة اللغة الطبيعيةNLP

مرحلة رسم الحروف هي الخطوة الأولى لأي نظام:

- تحليل صرفي
- تحليل نحوي
- استخراج مصطلحات

نماذج تطبيقية من خوارزميات رسم الحروف

مثال (1): خوارزمية تحديد موقع الحرف

```
إذا كان الحرف غير متصل بما بعده → الشكل المنفصل أو النهائي
إذا كان الحرف في بداية الكلمة → الشكل الأولي
إذا كان بين حرفين متصلين → الشكل الوسطي
إذا كان آخر الكلمة → الشكل النهائي
```

مثال (2): خوارزمية بسيطة للرسم في بايثون

)نموذج نظري مبسّط(

```
if letter in non_connectable:
            shape = "isolated"
  elif position == "initial":
       shape = "initial_form"
   elif position == "middle":
        shape = "middle_form"
    elif position == "final":
         shape = "final_form"
```

التمارين مع الحل

التمرين 1

السؤال:
اذكر سببًا لغويًا يجعل رسم الحرف العربي أكثر تعقيدًا من الحرف اللاتيني.

الحل:
لأن الحرف العربي يتغيّر شكله بحسب الموقع وله أربع صور، بينما الحرف اللاتيني ثابت الشكل.

التمرين 2

السؤال:
حلّل كلمة **"مدرسة "**من حيث أشكال الحروف.

الحل:

- مـ = أولي
- د = غير متصل بما بعده ← منفصل
- ر = غير متصل ← منفصل
- سـ = أولي متصل بالذي بعده
- ـة = نهائي

التمرين 3

السؤال:
اقترح خوارزمية تركّب كلمة عربية مكوّنة من ثلاثة حروف.

الحل:

1. استقبل الحروف الثلاثة.
2. افحص اتصال الحرف الأول بالثاني.
3. إن كان متصلًا ← أعط شكلًا أوليًا.
4. افحص اتصال الحرف الثاني بالثالث.
5. إن كان كلاهما متصلين ← أعط الشكل الوسطي.
6. الحرف الثالث ← يكون نهائيًا.

التمرين 4

السؤال:
ما أثر اتجاه الكتابة (يمين ← يسار) على تصميم الخوارزميات؟

الحل:
يغيّر ترتيب معالجة النصوص، ويتطلب محركات عرض خاصة تعكس الاتجاه.

الخاتمة

يتضح من هذا العرض أنّ الخوارزمية ليست مجرد أداة تقنية، بل هي إطار فكري لتنظيم المعرفة اللغوية وتحويلها إلى تعليمات قابلة للتنفيذ. وتمثل كتابة الحروف العربية تحديًا فريدًا يتطلب فهمًا مزدوجًا: لغويًا وتقنيًا. وقد نجحت الخوارزميات التقليدية والحديثة في حل جزء كبير من الإشكالات، غير أنّ التطور المتواصل للتعلم العميق يجعل مستقبل رسم الحروف العربية واعدًا، خصوصًا في مجالات التعليم الرقمي، والطباعة، والتحليل اللغوي، وإحياء النصوص التراثية